

1 Einleitung

Die Materialwissenschaft behandelt den Zusammenhang von Mikrostruktur und den Eigenschaften aller Werkstoffgruppen. Insbesondere das Verhalten der Metalle wird bereits seit langer Zeit ausgiebig untersucht, da bei diesen die hohe Festigkeit bei guter Verformbarkeit der Materialien eine enorme Bandbreite von Anwendungen ergibt.

Bei Metallen erfolgt die Verformung durch die Erzeugung und Bewegung ein-dimensionaler Defekte im Kristallgitter, den sogenannten Versetzungen. Diese Bewegung ist im mikroskopischen Maßstab stark diskontinuierlich, da die Versetzungen durch andere Defekte wie z. B. Korngrenzen oder immobile Versetzungen aufgehalten werden und erst nach Überwindung dieser Hindernisse mit hoher Geschwindigkeit (nahe der Schallgeschwindigkeit im Material) zum nächsten Hindernis „fliegen“. Makroskopisch jedoch erscheint die Verformung trotz der lokalisierten Bewegung einzelner Versetzungen durch deren riesige Anzahl und die stochastische Verteilung der Dehnungsereignisse meistens gleichmäßig, man spricht daher von „plastischem Fließen“.

Zur Steigerung der Festigkeit wird den reinen Metallen Fremdmaterial (meist ein oder mehrere weitere Metalle) zugefügt, welches ebenfalls als Behinderung der Versetzungsbewegung fungiert. Bei genügend hoher Temperatur diffundieren die Fremdatome zu den an den Hindernissen auf Aktivierung wartenden Versetzungen und verankern diese zusätzlich (Reckalterung), so daß zur weiteren Verformung eine höhere äußere Spannung erforderlich ist.

Dies kann in bestimmten Intervallen von Temperatur und Verformungsrate zu einem unerwünschten Effekt führen: Die makroskopisch homogene Verformung geht durch kollektives Verhalten der Versetzungen und damit der Ausbildung von Versetzungslawinen über in eine räumlich inhomogene und zeitlich instabile Verformung. Dies resultiert in ungleichmäßig verfestigten Proben und rauen Oberflächen.

Der Effekt wurde experimentell bereits etwa Mitte des 19. Jahrhunderts von *F. Savart* [136] und *A.P. Masson* [100] beobachtet. Nach Arbeiten von *A. LeChatelier* [94] untersuchten in den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts *A. Portevin* und *F. LeChatelier* diesen Effekt systematisch [124], so daß er nach jenen Portevin-LeChatelier-Effekt (PLC-Effekt) genannt wird.

Speziell bei Aluminium-Legierungen ist der PLC-Effekt von großer Bedeutung. Diese Legierungen werden häufig als Ersatz für Stahl verwendet, da sie bei geringem Gewicht eine hohe Festigkeit aufweisen, wenn sie durch geeignete Ausscheidungen einer zweiten Phase gehärtet werden. Allerdings tritt bei Aluminium-Legierungen der PLC-Effekt bei Raumtemperatur in einem weiten Spektrum von Dehnraten auf, was die Anwendung solcher Legierungen in der Praxis erschwert (rauhe Oberflächen, ungleichmäßige Verfestigung). Ziel der Untersuchungen zum PLC-Effekt ist es daher einerseits, Bereiche von Dehnraten und Temperatur zu definieren, in denen der Effekt auftritt, um diese dann auf Anwenderseite gezielt vermeiden zu können. Auf der anderen Seite dienen diese Untersuchungen allgemein dem Verständnis plastischer Verformung, um gegebenenfalls Wege zur Unterdrückung des PLC-Effekts zu finden.

In dieser Arbeit soll untersucht werden, ob der PLC-Effekt in Legierungen mit deutlichem Auftreten von Spannungsfluktuationen bereits bei Raumtemperatur durch das Einbringen von Keramikpartikeln als nicht schneidbare Hindernisse verhindert oder zumindest verringert werden kann.

Die Grundidee ist nicht neu, das Einbringen von Hindernissen kann zum Beispiel auch durch gezieltes Erzeugen von Ausscheidungen durch thermische Behandlung erfolgen. Ähnliche Beispiele außerhalb der Materialwissenschaft sind künstlich angelegte Wälder als natürlicher Schutz vor Lawinen (einem der kollektiven Versetzungsbewegung sehr ähnlichen Phänomen), die im Gebirge einerseits die Bildung von Schneebrettern durch Schneeverwehungen verhindern, zum anderen aber auch die Wucht eines Lawinenabganges bremsen sollen.

Wichtig ist hierbei, daß die Hindernisse die Lawinen effektiv aufhalten können. So müssen die Bäume zunächst durch weitergehende Maßnahmen geschützt werden, bis sie hinreichend groß sind, um der Wucht einer solchen Lawine widerstehen zu können. Ebenso müssen die Versetzungshindernisse eine bestimmte Stärke aufweisen, da das Durchschneiden einer Ausscheidung die Überwindung des Hindernisses für nachfolgende Versetzungen auf derselben Gleitebene erleichtert (vergleichbar mit einer Schneise im Wald).

In dieser Arbeit werden Legierungen AA5754 (AlMg3) und AA6061 (AlMg1SiCu) verwendet. Erstere weist eine schwache Tendenz zur Bildung von Ausscheidungen auf und dient daher zur Untersuchung der Auswirkung der Al_2O_3 -Partikel allein. Anhand der Legierung AA6061 wird wegen deren Aushärtbarkeit durch Ausscheidungsbildung die kombinierte Wirkung von Ausscheidungen und Al_2O_3 -Partikeln untersucht.

In Kapitel 2 wird zunächst der PLC-Effekt vorgestellt, gefolgt von einem Überblick über die in dieser Arbeit verwendeten Modelle. Kapitel 3 behandelt die experimentellen Grundlagen dieser Arbeit sowie weitere Meßverfahren zur Untersuchung lokalisierter Verformung, insbesondere dabei das von *L. Casarotto* am Institut für Produktionsmeßtechnik (IPROM, TU BS) entwickelte und

bei Messungen am Institut für Physik der Kondensierten Materie (IPKM, TU BS) angewandte optische Extensometer zur direkten Beobachtung der PLC-Bandfronten während der plastischen Verformung.

In Kapitel 4 werden dann eigene Meßergebnisse vorgestellt und für eine möglichst übersichtliche Darstellung bereits in den einzelnen Unterkapiteln diskutiert. Die in Zusammenarbeit mit *S. Forest* und *S. Graff* am Centre des Matériaux der École des Mines de Paris durchgeführte Modellierung des Werkstoffverhaltens wird in Kapitel 5 behandelt. Die Arbeit wird in Kapitel 6 mit einer vergleichenden Diskussion unter Berücksichtigung aller vorgestellten Ergebnisse abgeschlossen.