

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

# **Plastische Deformation ultrafeinkörniger Materialien bei geringen homologen Temperaturen**

Diplomarbeit im Fach Materialphysik

vorgelegt von

Jörn Leuthold

Institut für Materialphysik

Januar 2010

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Theorie</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1      | Der atomistische Aufbau von Kupfer . . . . .                         | 3         |
| 2.1.1    | Die Gitterstruktur . . . . .   | 3         |
| 2.1.2    | Orientierungen von Kristallen . . . . .                              | 4         |
| 2.1.3    | Korngrenzen . . . . .  | 6         |
| 2.2      | Die Verformung von kubisch flächenzentrierten Materialien . . . . .  | 9         |
| 2.2.1    | Die Elastizität von Metallen . . . . .                               | 9         |
| 2.2.2    | Die Plastizität von kubisch flächenzentrierten Materialien . . . . . | 11        |
| 2.2.3    | Festigkeitssteigerung durch Kornfeinung . . . . .                    | 18        |
| 2.3      | Erholung und Rekristallisation . . . . .                             | 19        |
| 2.3.1    | Quergleitung von Schraubenversetzungen . . . . .                     | 19        |
| 2.3.2    | Kornwachstum . . . . .   | 20        |
| 2.4      | Kriechen . . . . .   | 21        |
| 2.4.1    | Potenzgesetz und Dehnratensensitivität . . . . .                     | 21        |
| 2.4.2    | Mechanismen des Kriechens . . . . .                                  | 22        |
| <b>3</b> | <b>Herstellung der Proben</b>  | <b>29</b> |
| 3.1      | High Pressure Torsion . . . . .                                      | 29        |
| 3.1.1    | Aufbau der High Pressure Torsion Anlage . . . . .                    | 29        |
| 3.1.2    | Bestimmung der eingebrachten Dehnung . . . . .                       | 30        |
| 3.1.3    | Formgebung der Proben . . . . .                                      | 32        |
| <b>4</b> | <b>Versuchsaufbau</b>  | <b>35</b> |
| 4.1      | Planung und Konstruktion der Zugapparatur . . . . .                  | 35        |
| <b>5</b> | <b>Durchführung der Experimente zur plastischen Verformung</b>       | <b>41</b> |
| 5.1      | Zugversuche an gewalztem und HPT-behandeltem Kupfer . . . . .        | 41        |
| 5.1.1    | Bestimmung der Streckgenze einer HPT-Kupferprobe . . . . .           | 44        |
| 5.2      | Kriechmessungen . . . . .  | 44        |
| 5.3      | Bestimmung der wahren Aktivierungsenergie . . . . .                  | 48        |
| <b>6</b> | <b>Charakterisierung der Mikrostruktur</b>                           | <b>51</b> |
| 6.1      | Rasterelektronenmikroskopie . . . . .                                | 51        |
| 6.2      | Rückgestreute Elektronenbeugung . . . . .                            | 51        |
| 6.3      | Messungen mit rückgestreuter Elektronenbeugung . . . . .             | 56        |
| 6.3.1    | Untersuchung der Texturierung von gewalztem Kupfer . . . . .         | 57        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 6.3.2    | Die Mikrostruktur von Kupfer nach der Verformung durch HPT . . .            | 59         |
| 6.3.3    | Textur von HPT-Verformten Kupfer . . . . .                                  | 63         |
| 6.3.4    | Entwicklung der Mikrostruktur nach der Zugverformung . . . . .              | 64         |
| 6.4      | Zugexperimente mit aufgebrachtten Markierungen . . . . .                    | 68         |
| 6.5      | Untersuchung der Bruchfläche . . . . .                                      | 72         |
| 6.6      | Nanoindentation . . . . .   | 75         |
| 6.6.1    | Nanoindentationstests . . . . .   | 76         |
| 6.6.2    | Messung und Auswertung der Nanoindentationstests . . . . .                  | 76         |
| 6.6.3    | Änderung der Mikrostruktur bei lokalen Härtemessungen . . . . .             | 78         |
| <b>7</b> | <b>Diskussion</b>   | <b>83</b>  |
| 7.1      | Die Eigenschaften von Kupfer nach dem HPT Prozess . . . . .                 | 83         |
| 7.2      | Identifizierung des ratendeterminierenden Prozesses beim Kriechen . . . . . | 85         |
| 7.2.1    | Rekristallisation unter mechanischer Spannung . . . . .                     | 85         |
| 7.2.2    | Korngrenzgleiten . . . . .  | 86         |
| 7.2.3    | Korngrenzendiffusion . . . . .  | 87         |
| <b>8</b> | <b>Fazit und Ausblick</b>   | <b>91</b>  |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>   | <b>93</b>  |
|          | <b>Anhang</b>   | <b>97</b>  |
|          | <b>Danksagung</b>   | <b>101</b> |