

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	超微細粒銅の塑性変形挙動に及ぼす温度と応力の影響
Title(English)	
著者(和文)	大久保智
Author(English)	Satoshi Ookubo
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9835号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:加藤 雅治,尾中 晋,木村 好里,寺田 芳弘,藤居 俊之
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9835号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：材料物理学 専攻
Department of
学生氏名：大久保 智
Student's Name

申請学位(専攻分野)：博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)：加藤 雅治
Academic Advisor(main)
指導教員(副)：尾中 晋
Academic Advisor(sub)

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

サブミクロンサイズの非常に小さな結晶粒を持つ超微細粒材料は、従来材よりも数倍も高い強度を示し、注目を集めている。一方で、超微細粒材料は従来材には現れない特異な力学特性を示すことが知られており、その原因の解明が課題となっている。本研究では、モデル材として超微細粒銅を用い、77 K–393 K の広い温度範囲で塑性変形挙動を調査し、超微細粒材料の変形機構を明らかにすることを目的とした。

超微細粒銅の力学試験として 323 K–393 K の温度範囲でクリープ試験および 298 K, 323 K, 393 K の温度で引張試験を行い、変形前後の内部組織変化を透過型電子顕微鏡観察、走査型電子顕微鏡観察、電子線後方散乱回折測定を用いて評価した。力学試験の結果から、ひずみ速度の応力依存性を示す応力指数は応力が 200 MPa の前後で大きく変化することがわかった。すなわち、200 MPa 以下で応力指数の値は従来材と同程度の 4 となり、200 MPa 以上では 8 以上の非常に大きな値となった。一方、変形後の結晶粒径は 280 MPa 以下では変形前から変化せず、280 MPa 以上では応力の増加にともない減少した。これらの結果から、超微細粒銅には応力レベルに対応した 3 つの異なる変形挙動が現れることを明らかにした。すなわち、低応力域 (200 MPa 以下)、中応力域 (200 MPa–280 MPa)、高応力域 (280 MPa 以上) の 3 つ変形領域が存在し、それぞれの領域の変形機構は異なる。

変形機構を特定するために、実験により変形の活性化エネルギーを見積もった。その結果、低応力域および中応力域の変形の活性化エネルギーはそれぞれ転位芯自己拡散の活性化エネルギーと粒界自己拡散の活性化エネルギーと同程度の値となった。一方、高応力域の活性化エネルギーは応力増加にともない減少する傾向となった。さらに、応力急変試験により中応力域の変形は回復律速であることが明らかとなった。これらの結果から、低応力域の変形機構は、従来材にも現れる、転位芯自己拡散が律速する転位クリープであり、中応力域の変形機構は、従来材よりも非常に大きな応力指数を示す粒界自己拡散が律速した転位クリープであると結論した。また、高応力域では転位の障害物の乗り越えが変形を律速すると結論した。

高応力域の変形機構をより詳細に調べるために、77 K–373 K の温度範囲でひずみ速度急変試験を行い、超微細粒銅の変形の活性化体積を見積もった。その結果、温度が 200 K 以下では活性化体積は温度の増加にともない増加し、200 K 以上では温度の増加にともない減少した。従来材では活性化体積が温度の増加関数となることから、200 K 以下での超微細粒銅の変形機構は従来の林立転位の切り合い機構であると結論した。一方、室温下での超微細粒材料の変形中のその場透過型電子顕微鏡観察により、結晶粒界から粒内への転位の放出が確認されている。また、超微細粒材料の変形機構として、粒界から粒内に張り出した転位が粒界上の障害物を depinning するモ

デルが提案されている。このモデルでは、活性化体積は温度の減少関数となり、実験結果とも一致する。これらから、200 K 以上での超微細粒銅の変形機構は粒界からの転位の張り出しと **depinning** 過程であると結論した。さらに、より詳細な議論をするために、変形中の転位密度の測定の必要性が示唆された。

超微細粒銅の引張変形中の転位密度変化を測定するため、大型放射光施設 **SPring-8** にて変形中その場 X 線回折 (**in-situ XRD**) 実験を行った。放射光施設の X 線源を用いることで高い時間分解能の XRD 測定が可能となり、本実験では 1つの XRD プロファイルを測定するのに必要な時間はわずか1秒であった。XRD プロファイル解析には **Williamson-Hall** 法を用いて転位密度を算出した。その結果、引張変形中の転位密度は弾性変形域で増加し、塑性変形域ではおよそ飽和し、破断にともない大きく減少した。この弾性変形域での転位密度の増加は、応力増加にともなう転位線の伸長により説明することができた。一方、塑性変形域以降の転位密度変化を説明するには、転位の増殖、回復機構の解明が必要であり、これらの解明が今度の研究課題となった。

以上のように、本研究では超微細粒銅の塑性変形挙動を詳細に調査し、それらの挙動の応力依存性と温度依存性についてまとめた。さらに、それぞれの挙動に対する変形機構について議論した。この研究により、超微細粒材料の力学特性に関する基礎的な知見が得られたとともに、今後の超微細粒材料の応用への貴重かつ重要な情報が得られた。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻：	材料物理科学	専攻	申請学位（専攻分野）：	博士	（工学）
Department of			Academic Degree Requested	Doctor of	
学生氏名：	大久保 智		指導教員（主）：	加藤 雅治	
Student's Name			Academic Advisor(main)		
			指導教員（副）：	尾中 晋	
			Academic Advisor(sub)		

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Ultrafine-grained (UFG) metals with very small grain size between 100 nm to 1 μ m show higher strength compared with conventional coarse-grained metals, and are much attracted materials. UFG metals also show some unique mechanical properties. Then, it is needed to understand the deformation mechanisms of UFG metals. In this study, several mechanical properties of UFG copper were investigated with wide ranges of temperature and stress, and the deformation mechanisms were discussed.

From the results of creep and tensile tests, UFG copper was found to show three different deformation modes depending on the stress level. At the low stress region (< 200 MPa), the deformation is controlled by dislocation pipe self-diffusion, and the mechanism is consistent with the conventional dislocation creep mechanism. At the intermediate stress region (200 – 280 MPa), the rate-controlling mechanism is dislocation recovery at grain boundaries (GB) promoted by GB self-diffusion. At the high stress region (> 280 MPa), the deformation is controlled by the dislocation motion overcoming obstacles.

Activation volume of the deformation of UFG copper at the high stress region was evaluated by strain rate jump tests. The activation volume increases with increase in temperature at temperatures lower than 200 K. On the other hand, at temperatures higher than 200 K, the activation volume decreases with increase in temperature. These results indicate that the conventional forest cutting mechanism is operative at lower temperatures, and that dislocation bowing-out and depinning from obstacles on GB are the rate-controlling thermally activated process at higher temperatures.

Dislocation density of UFG copper during tensile deformation was evaluated by X-ray line profile analysis using the Williamson-Hall method. From this analysis, it was found that the dislocation density increased at the elastic deformation stage, almost saturated at the plastic deformation stage, and finally dropped down with fracture.

As described above, plastic deformation behavior of UFG copper was investigated in detail, and the deformation mechanisms were discussed. This study gives us fundamental information on mechanical properties of UFG metals and is useful for the application of UFG metals.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).