

研究成果報告書

研 究 題 目		多結晶金属材料の集団的塑性変形開始条件に関する検討	実 施 年 度
			2024年度
代 表 研 究 者	所 属	岡山大学・学術研究院・環境生命自然科学学域	
	氏 名	多田 直哉	印
1. 研究の目的・背景			
多結晶金属材料に引張等の力学的負荷を与えると、微視的に不均一変形が生じ、それが引張破壊や疲労破壊の原因となる。不均一変形が生じる原因は、材料を構成する個々の結晶粒が弾性および塑性変形異方性を有しているからである。したがって、多結晶金属材料において不均一変形やそれに伴う損傷を避けることは出来ない。 不均一変形に関しては、多くの研究者が精力的に研究を実施してきた。多結晶金属材料の引張破壊や疲労破壊では、結晶学的すべりが材料の一部分に集中することによってき裂やくびれが発生し、それが最終的な破壊を導くことが知られており、すべりの発生や拡大条件を明らかにすることが重要となる。最も一般的なすべり発生を予測するパラメータはシュミット因子 SF である。これは、材料全体に均一な応力が作用すると仮定し、候補となるすべり面に作用するせん断応力を基準としている。最近では、後方散乱電子線回折 (EBSD) 法によって材料表面の結晶粒形状や結晶方位を比較的容易に求めることが出来るため、このシュミット因子を求めることも難しくはない。しかしながら、同因子は、それぞれの結晶粒が独立で変形することを仮定しているため、互いに力学的影響を及ぼしながら発生、拡大する微視的塑性変形を正確に予測することは難しい。 以上の背景を考慮し、本研究では、各結晶粒のシュミット因子 (SF) と結晶の力学的特性である臨界分解せん断応力 ($CRSS$) によって構成される「結晶粒内因子」と、隣接結晶粒へのすべりの伝ばや応力の伝達を反映した「隣接結晶粒因子」の両方を加味した新たな予測因子を提案し、その精度と妥当性について検討した。なお、本研究では、試験片に純チタンを用いたが、不均一変形やそれに起因する破壊は、アルミニウム等の別の結晶構造を有する材料でも共通の現象であるため、当該技術は他材料にも適用可能であると考える。			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

厚さ 0.1 mm の第一種純チタン薄膜からワイヤーカット放電加工により平行部長さ 4mm，平行部幅 2 mm，全長 38 mm の試験片を切り出して引張試験を実施した．試験前には，応力除去焼鈍，電解研磨，化学腐食を行い，試験片表面の観察には，走査型電子顕微鏡，3D 測定レーザー顕微鏡を用いた．

引張試験は，試験片表面の状況を観察しながら実施し，観察領域内の大部分の結晶粒にすべり線が入った段階で試験を終了した．発生したすべり線の様子を図 1 に示す．

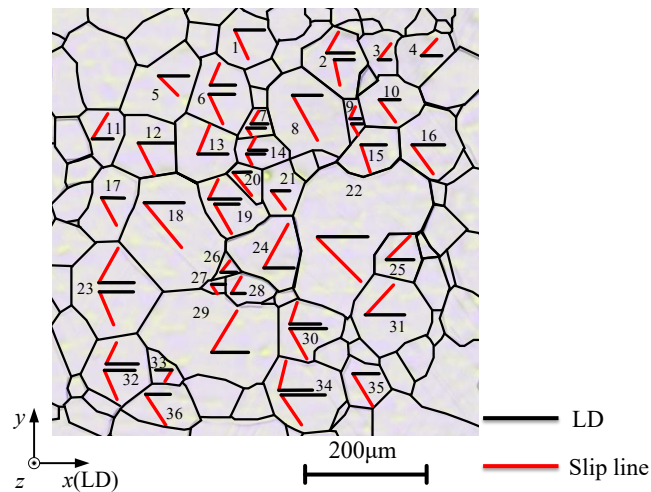


図 1 観察領域内のすべり線発生状況

本研究では，シュミット因子 SF ，シュミット因子を各すべり系の臨界分解せん断応力で除した修正シュミット因子 MSF に加え，隣接結晶粒からの影響を幾何学的適合因子 m' もしくは応力伝達係数 N として導入した新たな因子を用いて活動すべり系の予測を試みた．具体的に導入した因子は， $\max$ （対象結晶粒の MSF ，隣接結晶粒の MSF と幾何学的適合因子 m' の積）， $\max$ （対象結晶粒の MSF + 隣接結晶粒の MSF と幾何学的適合因子 m' の積）， $\max$ （対象結晶粒の MSF ，隣接結晶粒の MSF と応力伝達係数 N の積）， $\max$ （対象結晶粒の MSF ，隣接結晶粒の MSF と応力伝達係数 N の積 / 対象結晶粒の $CRSS$ ）である．

結果として，予測因子を SF から MSF に切り替えることにより，予測率は 78% から 94% と大幅に向上し，さらに，幾何学的適合因子と応力伝達係数を用いた因子では 97% まで増加した．しかしながら，試験片の採取方向を変えた試験片では，このような予測率の向上が見られなかった．

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

申請時の予定では、試験実施に必要な引張圧縮小型材料試験機を購入する予定であったが、助成金の減額によりそれが困難になった。そのため、試験機の購入を断念し、大学内の工作センターに試験機の設計と製作を依頼した。その関係で、全体的に試験の実施が遅くなったものの、最終的には、引張試験の実施が可能となった。

消耗品に関しては、試験片と試験治具用の素材や試験時の変位を測定するための測定器とその付属品等に支出した。

旅費に関しては、当初の計画よりも多い回数となったが、関連学会の講演会での発表や研究調査に使用した。得られた結果を国際会議で発表する機会があり、その結果を論文として投稿することが出来た。その論文投稿の準備として英文校正を行ったため、その費用を本経費から支出した。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究では、対象結晶粒と隣接結晶粒の両方の力学量を考慮した予測因子について検討した。具体的には、従来の理想的な均一応力状態下にある対象結晶粒のみを考慮したシュミット因子と修正シュミット因子に加え、隣接結晶粒からの影響を幾何学的適合因子と応力伝達係数の形で導入した。通常の試験片採取方向では、良い結果が得られたが、試験片の採取方向を変えると芳しい予測結果が得られず、更なる検討が必要であることも明らかとなった。走査型電子顕微鏡および結晶方位解析装置を用いた分析のスピードは、ここ数年で飛躍的に向上している。したがって、測定装置に適切な予測因子の計算プロセスを導入すれば、材料の強度や加工性を数分程度で予測できると考えられる。今後、提案技術の装置への導入を目指し、より適切な予測因子について継続して検討していく予定である。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

- ・ 隣接結晶粒からの影響を考慮した純チタン薄膜の活動すべり系予測に関する検討
長谷川博章，多田直哉，上森武，坂本惇司
軽金属学会中国四国支部第 16 回講演大会講演概要集，p. 10（2024-10）
- ・ 円孔付き純チタン平板試験片の弾性および塑性域引張における表面高度変化
緒方隆太，多田直哉，上森武，坂本惇司，泓田翔馬
日本機械学会中国四国支部第 63 期総会・講演会予稿集，01A5（2025-3）
- ・ Crystal Grain Rotation during Tensile Test of Polycrystalline Pure Titanium Thin Sheet Based on Surface Height and Crystal Orientation
Naoya TADA, Hiroaki OHASHI, Takeshi UEMORI and Junji SAKAMOTO
Journal of Physics: Conference Series, Vol.2892, 012002(2024-11)