

13th International Conference on the Mechanical Behaviour of Materials(ICM13)

熊本大学 先進マグネシウム国際研究センター
教授 安藤 新二
(平成 30 年度 国際会議等参加助成 AF-2018063-X2)

キーワード：マグネシウム，圧痕，分子動力学シミュレーション，曲げ試験，結晶方位依存性

1. 開催日時

2019年6月11日～6月14日

2. 開催場所

RMIT University, Melbourne, Australia

3. 国際会議報告

3・1 会議の概要

この国際会議は、材料の強度や変形、疲労といった機械的性質に関する国際会議である。多くは金属材料の塑性変形機構に関する基礎的研究から、輸送機器等の構造部材などの合金開発に関するものであるが、それだけでなくセラミックスや高分子材料、複合材料などの幅広い材料を含むものである。1971年に京都から始まったものであり、4年ごとに世界各地で開催されており48年の歴史がある。

今回は、全体で442件の研究発表があり、参加国はオーストラリアを始め、ドイツ、イギリス、フランス、アメリカ、カナダ、中国、韓国、ブラジル、スウェーデン、イタリア、インド、ロシア、チェコ、ペルー、スロベニア、ブルガリア、イランであり、日本からは43件の発表があった。

3・2 発表概要-マグネシウムにおける圧子圧入試験における変形挙動の分子動力学シミュレーション-

今回は博士前期課程の学生を1名同行し、2件の研究発表を行った。まず筆者は、Molecular Dynamics Simulation of Dislocation Structure around Indentation in HCP Crystal (HCP 結晶の圧痕周囲の転位構造の分子動力学シミュレーション) というタイトルで口頭発表を行った。

マグネシウム合金は軽量であることから、近年、自動車や飛行機の材料として注目されている。しかし、結晶構造がHCP構造であることから、結晶対称性が低く、荷重軸方位によって変形挙動が大きく異なるという方位依存性を示す。高精度な材料の加工においては、材料の変形特性を方位ごとに明らかにすることは重要なことである。これまでの当研究室の研究において、球状の圧子をマグネシウム結晶の表面に押し込むと、結晶面によって圧痕形状が円形あるいは楕円形になるなど、結晶方位によって大きく異なることが報告されている¹⁾。そのような形状がどのようにして生じるかを直接観察することは難しい。そこで本研究では、分子動力学シミュレーションにより、球状圧子を押し込む過程を再現し、圧子直下での転位の活動を可視化

し、その変形機構を検討することを目的とした。

一片が約14nm、厚さ約5nmで60,000個の原子を含むモデル結晶を作成し、球状領域にある原子を押し出すことによる仮想的な圧子をモデル結晶に押し当てることで、圧子圧入下の変形をモデル化した。Lennard-Jones型2体間ポテンシャルを用い、モデル結晶の温度を293Kに設定した。

図1に(0001)面における圧痕形状を示す。マグネシウムの実験と同じ円形の圧痕が得られた。その内部に発生した転位の分布を図2に示す。その結果、最初、内部の(0001)面に沿って転位ループが発生し(a)、その後、非底面転位が交差すべりし(b)、近接するすべり面にすべりが伝播する機構が生じていることがわかった。

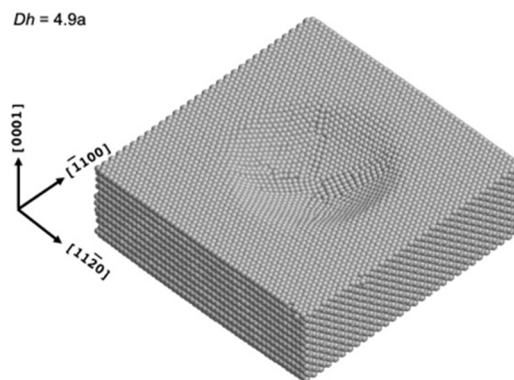


図1 (0001)面における圧痕形状

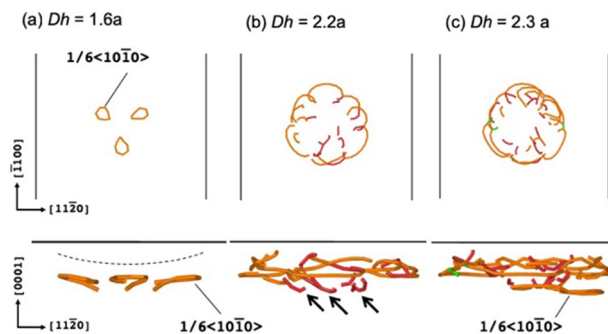


図2 (0001)圧痕下における転位分布

3・3 発表概要-マグネシウム圧延材の曲げ変形挙動-

同行した大学院生は、Bending deformation behavior

of rolled magnesium sheets (マグネシウム圧延板材の曲げ変形挙動) というタイトルでポスター発表を行った。

マグネシウムの主な変形機構は底面すべりおよび $\{10\bar{1}2\}$ 双晶である。しかし、底面に垂直および平行な引張や圧縮では底面すべりは活動できず、底面に垂直な圧縮や平行な引張では $\{10\bar{1}2\}$ 双晶は活動できない。ここで曲げ変形では、1つの試験片に引張と圧縮の2つの応力が同時に作用するため、マグネシウムにおける変形挙動はより複雑になると考えられる。これまで単結晶試験片を用いた3点曲げ試験を行った結果、方位により底面すべりおよび双晶により異なる変形挙動が観察された²⁾。一般にマグネシウムは圧延を行うと強い底面集合組織を持つことから、マグネシウム圧延材を曲げ加工する場合に、圧延方向に対する変形の異方性が現れると予想される。そこで本研究では、純マグネシウムの圧延材の曲げ変形挙動について圧延方位および結晶粒径に対する依存性を調査した。

熱間圧延と焼鈍により、粒径約20, 50, 100 μm の圧延材を作製した。圧延材は $\{0001\}\langle 11\bar{2}0\rangle$ 集合組織を示した。これより図3に示す2種類²⁾の多結晶試験片を作製した。RD, ND, TDはそれぞれ圧延方向、圧延面垂直方向、幅方向である。試験片寸法は3x3x25mmとし、スパン $L=14\text{mm}$ で3点曲げ試験を行った。

図4に3点曲げ応力-変位曲線を示す。降伏応力は、いずれも粒径20 μm では約85MPa, 100 μm では約50MPaとなり、ホールペッチの関係を示した。TN試験片では降伏後ほぼ直線的に加工硬化するが、TR試験片では降伏後の加工硬化はTN試験片より緩やかで、至7%程度で加工硬化の傾きが高くなるという違いが生じた。

図5に曲げ変形における試験片形状を示す。TN試験片では圧縮側で双晶が発生し、その双晶が中立軸を超えて引張側まで広がっていた。TR試験片では、圧縮側の双晶に加えて、支持部間全体で底面すべりが発生していた。このように2つの変形機構が活動できるため、加工硬化の程度が低くなったと考えられる。またTN試験片はV字型であるが、TR試験片は支持部のところでも折れ曲がりが生じ、「ひ」の字型の形状を示していた。これはTR試験片では底面すべりが、支持部の間でのみ活動したためであり、単結晶試験片で見られたもの²⁾と同様の機構であると考えられる。これによって生じたGull arm angle θ は、結晶粒系が大きいほど大きくなった。

以上のようにマグネシウム圧延板材を曲げ加工する場合には、結晶粒径および集合組織の影響により、曲げ変形後の形状に違いが生じることがわかった。

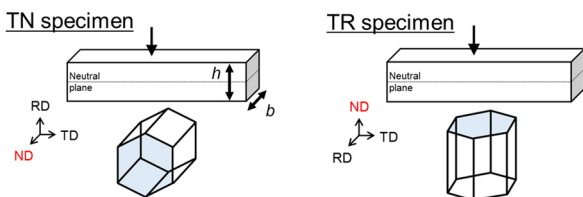


図3 純マグネシウム圧延板材の3点曲げ試験片

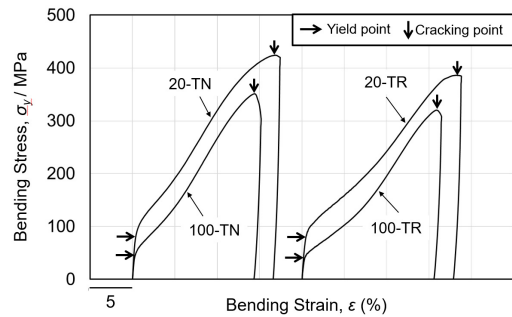


図4 純マグネシウム圧延材の3点曲げ応力-変位曲線

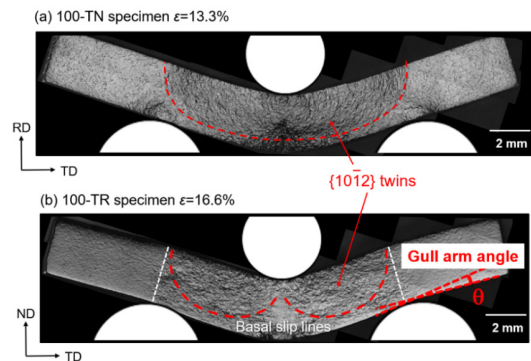


図5 曲げ試験時の試験片形状

図6は同行した大学院生のポスター発表の様子である。海外の研究者に対し英語による発表および議論することを学生の今後の研究において良い経験になったといえる。

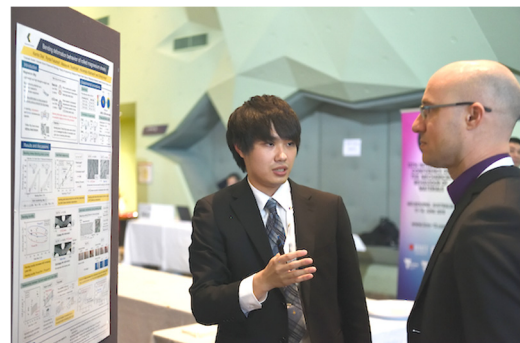


図6 学生のポスター発表の様子

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人天田財団平成26年度一般研究開発助成(AF-2015037)により実施したものである。本国際会議等参加助成と合わせて、深い感謝の意を表す。

参考文献

- 1) H. Kitahara, T. Mayama, K. Okumura, Y. Tadano, M. Tsushida and S. Ando, Acta Materialia, 78 (2014), pp. 290-300.
- 2) 北原弘基, 津志田雅之, 安藤新二: 日本金属学会誌, 80 (2016), 102.