

材料強度の原子論と格子欠陥制御工学

Atomistic of material strength and lattice defect control engineering

教授 丸山 公一

Professor
Koichi Maruyama



准教授
吉見 享祐
Associate Professor
Kyosuke Yoshimi



助教
鈴木 真由美
Assistant Professor
Mayumi Suzuki

Weight saving and mechanical property development of materials are very important issues for the reduction of environmental burdens and the construction of infrastructure for the sustainable society. Maruyama group is challenging to create new structural materials with the viewpoint of atomistic approaches of material strength and deformation and lattice defect engineering in crystals.

フラーレンを使ったプラズマ溶射による炭素膜作製

C₆₀に代表されるフラーレンは第三番目の炭素同位体であり、新材料として様々な用途が検討・開発されている。さらに我が国ではフラーレンの大量合成技術が確立され、大型プラントによってフラーレンを安定的に供給することが可能となっている。したがって、天然資源の乏しい我が国にとってフラーレンは我が国が産出する豊富な人工資源であり、このことは資源戦略の観点からも重要である。そこで当研究グループでは、フラーレン合成メーカーと共同で、フラーレンを使った応用技術の一つとしてプラズマ溶射による炭素膜合成技術の検討を行った。これまでプラズマ溶射法では、グラファイトがプラズマトーチ中で溶融しないため、炭素単体の溶射膜の作製は不可能とされてきた。しかし我々は、フラーレン分子性結晶の低い流動応力と優れた可塑性によってプラズマトーチ中でフラーレン顆粒が固体でありながら液滴のように振る舞うものと予測し(図1)、減圧プラズマ溶射装置で成膜を試みた。その結果、ある溶射条件にて、緻密で強固な炭素膜を作製することに成功した。図2に、作製された炭素膜および基板(純鉄)の断面写真を示す。膜中の炭素構造は、溶射条件によってフラーレンからナノ結晶化グラファイト、さらにアモルファスカーボンへと変化することが分かり、プラズマ溶射法による単相炭素膜作製の可能性が示された。

この成果は、2008年に開催されたThe 17th international federation for heat treatment and surface engineeringおよび、米国Oak Ridge国立研究所のMaterials Science & Technology Division's Seminarで報告された他、特許申請も進められている(特開2007-146274号)。

多軸鍛造加工における金属材料の組織微細化過程

多軸鍛造(Multiple Directional Forging, MDF)は形状不変加工法の一つであり、適切な形状比の直方体試料を用いることで、理論上無限に加工を行うことが可能である。そのため、ECAP法、ARB法、HPT法等と同様、巨

大ひずみ加工を種々の材料に対して行うことが出来る。加えて、上記加工法と異なり加工中の流動応力と加工ひずみの情報が得られるため、加工中の組織変化や強度変化について詳細な検討が可能であるという特徴を持つ。本研究室では純度の異なる金属アルミニウムに対して室温下でMDF加工を行い、加工中の組織微細化過程や機械的性質について調査を行っている(図3, 4)。

アルミニウム巨大ひずみ加工材の組織および強度は純度に大きく影響し、純度が高くなるとその組織微細形成能は大きく低下する。この理由として、純度が高くなることで各バッチ処理後に急速に生じる静的回復挙動が無視できなくなることで、加工中の転位が容易に移動・合一消滅しやすくなるが挙げられる。特に純度99.999%のアルミニウムでは室温で著しい静的再結晶が生じ、巨大ひずみ加工を付与しても顕著な結晶粒微細化は生じない。また、結晶粒微細化が生じる比較的低純度のアルミニウムでは、微細化の前段階として、旧結晶粒内の複数の方向にせん断帯が発達し、その交点から新しい高角粒界が形成することがわかった。従ってMDF加工においては、マイクロせん断帯の形成が結晶粒成長に大きく寄与していると考えられる。

以上の成果は国内・国際会議にて発表されている。なお、本研究は科学研究費補助金(特定領域研究)の支援によって遂行されている。

材料リスク評価のためのクリープ損傷機構解明

地球温暖化防止に向けたCO₂排出の抑制は、人類の重要な課題である。我が国のCO₂の30%は化石燃料を燃やす火力発電プロセスから排出されている。石炭は他の化石燃料より単位発電量当りのCO₂排出が多いにもかかわらず、多くの国々で石炭火力の利用が増している。今後も石炭火力を利用するには、CO₂の分別回収と、発電プラントの高効率化が不可欠である。このような観点から近年、石炭火力の高効率化に向けた複数のNEDOプロジェクトが始まった。当研究グループも、その1つ「鉄鋼材料

の革新的高強度・高機能化基盤研究開発」に参加し、「長時間寿命推定法」の研究を担当している。

火力発電プラントを長期間安全に運転するには、破壊に至る損傷プロセスを解明し、キーとなる損傷の発達を監視していく必要がある。損傷機構解明は、損傷の発達を防止したより高強度な高温材料の提供を可能にし、高効率、省資源な火力発電プラントの実現にも助けとなる。

このような観点から、先進高Crフェライト鋼のクリープ

損傷機構の解明を行なった。高Crフェライト鋼では図4(a)のような、高密度の転位を含むラスマルテンサイト組織を取る。この材料を650°Cで10⁴h放置した後の組織を図4(b)に示す。長期間高温にさらすとマルテンサイト組織の回復が進行し、これがこの種の鋼で最も重要な損傷機構であり、それに基づいて高Crフェライト鋼のクリープ損傷がすべて解明できることを立証した。これらの研究に対して本年度は(社)軽金属学会功績賞が授与された。

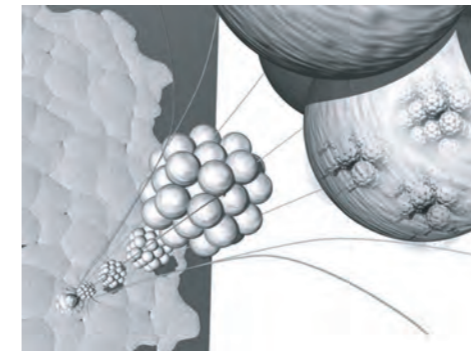


Fig.1 Schematic illustration of the plasma spray coating of fullerenes.

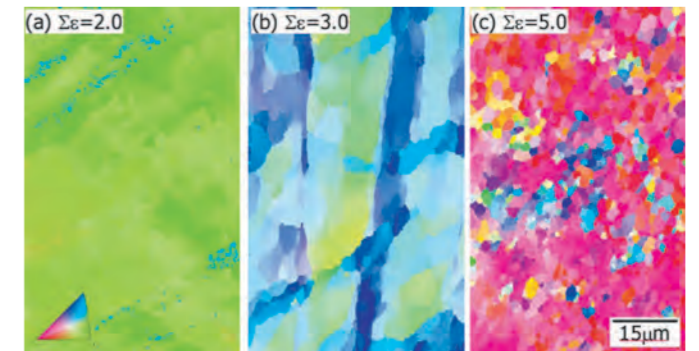


Fig.4 EBSD orientation maps of MDFed 4N aluminum with 0.5 strain increment. (a) Σε=2.0 (b) Σε=3.0 (c) Σε=5.0

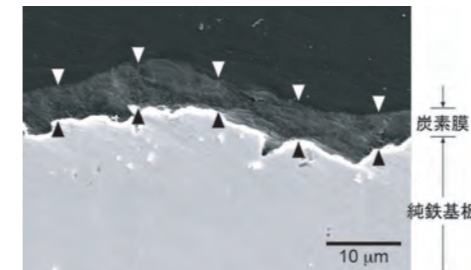


Fig.2 Microstructure of a carbon coat on an iron substrate by the plasma spray coating process.

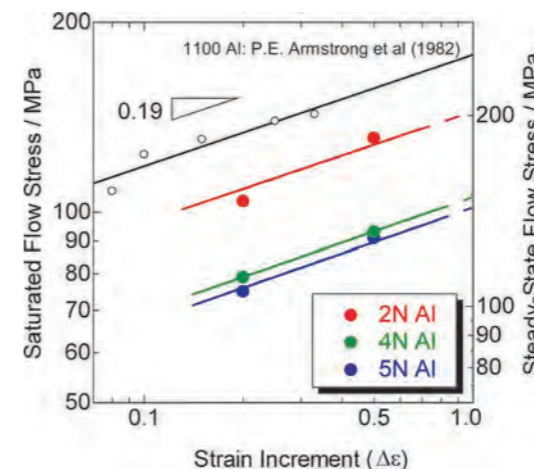


Fig.3 Strain increment dependence of the saturated flow stress in aluminums varying purity.

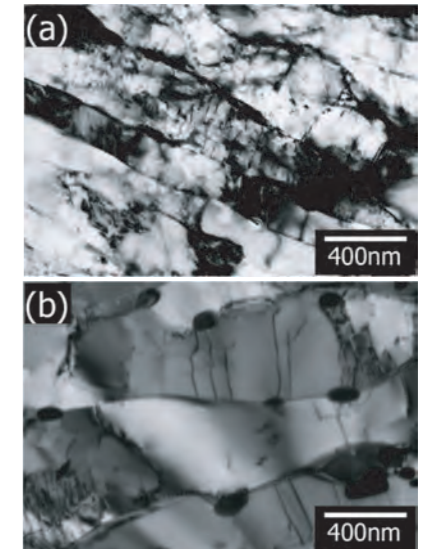


Fig.5 Lath microstructure of 10.5Cr-2W-0.4Mo-1Cu-VNb steel after aging at 650°C for (a) 11 h and (b) 10000 h.

特筆すべき業績

1. Award of 6th Light Metal R&D Furtherance Medal, K. Maruyama, on 10/5/2008.
2. 114th outstanding poster award of the Japan Light Institute of Metals, A. Shibata, M. Suzuki and K. Maruyama, "Effects of Heat-treatments on Microstructures of Mg₉₆Zn₂Y₂ Thixomolded@ Alloy", on 10/5/2008.