

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 of 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.

安全なプラント運転のための材料診断

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%は火力発電プロセスから排出されている。火力発電の燃料として、石炭、石油とLNGを使うが、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。それにもかかわらず、多くの国々で石炭火力の利用が増している。石炭火力を今後も利用するには、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。石炭火力が発電に占める割合は、米国50%、インド70%、中国80%であり、石炭火力の高効率化は、これらの国でもCO₂排出抑制にも貢献する。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、その一つ「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。

火力発電プラントでは、高温で運転して高効率化すればCO₂排出が抑制でき、長期間使えば省資源化につながる。しかしこのことは、プラントの破損リスクを増し、材料の破損確率上昇を予測することは、プラントの安全な運転に必須である。図1(b)に示すように、材料の高温強度と使用時間の関係の直線は、一点鎖線の境界より長時間で低下割合が増す。この領域では、高Crフェライト鋼の強度を支えるマルテンサイト組織が劣化し、組織劣化しない場合に比べて破損の可能性が増す。当グループでは、図1(a)に示すように、無負荷部の硬度測定からこの組織劣化を非破壊的に予測することを提案した。これらの研究に対して(社)日本金属学会増本量賞が授与された。

フラレンと金属の反応による新合金化プロセス

C₆₀に代表されるフラレンは、電荷移動により金属表面に対して強い吸着性を示すことがよく知られている。しかしながら、その後の金属表面上での分解、拡散等による

合金化プロセスについてはほとんど調査されていない。本研究グループでは、新規炭素源としてのフラレンと鉄ならびに鉄鋼材料との反応性について研究を進め、フラレンを使った新規合金化プロセスの可能性についていくつかの新たな知見を得た。鉄鋼材料に対して固相グラファイトを反応させるいわゆる固相浸炭では、900°C以上の高温下で反応が進行することがよく知られている。この方法は日本刀を作り込む過程でも利用されており、古くから受け継がれた鋼を高強度化する技術である。ところがフラレンは、図2に示すように600°Cで純鉄表面に鉄炭化物(Fe₃C)を生成することが確認され、300°Cも低い温度から反応が開始していることが明らかとなった。また、反応温度に対して硬さの変化を調査したところ、図3に示すように800°Cで硬さのピークを示し、過飽和炭素による鋼の高強度化の可能性が示唆された。このように、フラレンは鉄と高い反応性を有し、鉄鋼材料に対する新しい炭素源として利用可能であることが示された。

以上の成果は特許申請中であり、また学会等でも発表されている。

新規耐熱 Mg 合金の組織制御と高強度化

マグネシウム(Mg)はその軽量性から携帯・輸送機器への応用が期待されており、近年Mg-TM-RE(TM:遷移金属, RE:希土類元素)の三元合金が優れた強度を示すことで注目されているが、これらの合金の内部には積層欠陥を伴う長周期相、あるいは積層欠陥が導入されていることが大きな特徴である。本研究室ではMg-Y-Zn三元合金に種々の第四元素を微量添加することで、その積層欠陥形成能(サイズ、密度)を変化させ、組織やクリープ強度に及ぼす影響を調査している(図4,5)。これらの成果として、微細な積層欠陥の導入はクリープ強度の増加に大きく寄与することと、積層欠陥の制御には熱処理よりもむしろ積層欠陥形

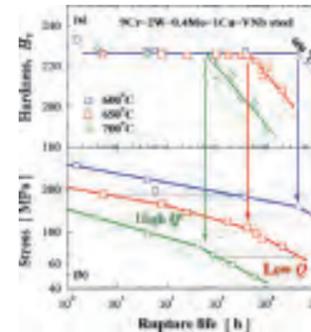


Fig. 1 (a) Vickers hardness measured after high temperature exposure, and (b) creep rupture data of 9Cr steel.

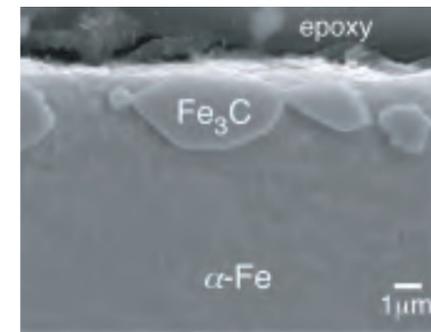


Fig. 2 SEM micrograph of fullerenes/iron substrate interface carburized using fullerenes at 600°C for 10h.

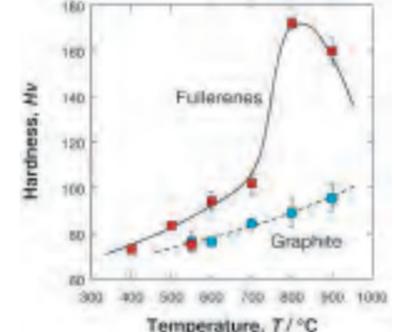


Fig. 3 Carburization temperature dependence of hardness of iron substrate surface carburized for 10h under an Ar atmosphere.

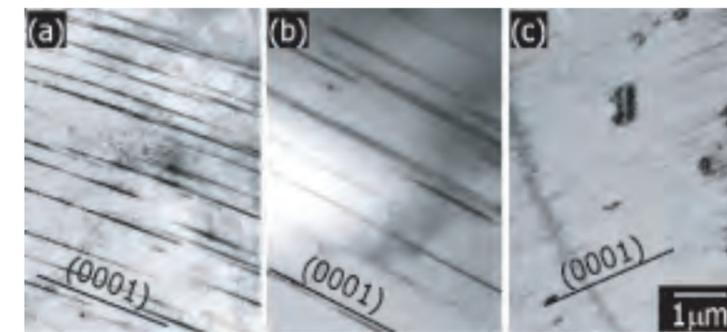


Fig. 4 TEM Microstructure of Mg-Y-Zn based alloys (650K 4h aged) (a)base alloy, (b)Ni-added alloy, and (c)Ca-added alloy

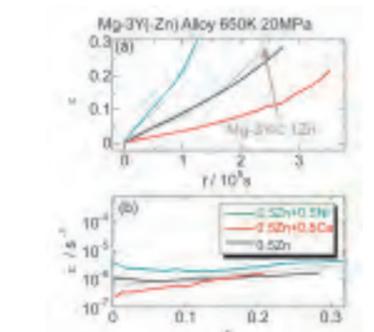


Fig. 5 Creep curves of Mg-Y-Zn based alloys (650K 20MPa, Compressive)

成能を変化させる微量元素の添加が効果的であることを明らかにした。

一方、自動車分野で既に応用が始まっているMg-Al-Ca系 鋳造合金に関しては、鋳造性とクリープ強度の両特性を同時に改善出来る可能性のある、ストロンチウムの微量添加 に関しての調査を行った。その結果、50ppm以下の極微量のストロンチウム添加はクリープ強度を増加させるが、過剰にストロンチウムを添加すると、塊状のAl-Sr系化合物が形成されるため、粒界上での晶出物の連続性が低下し、逆に強度は劣化することがわかった。この効果は本系合金へのREの添加と同様の傾向であり、Mg-Al-Ca系合金では、母金属であるマグネシウムのみならず、溶質元素であるカルシウムやアルミニウムとの化学的相互作用を特に考慮した合金設計が必要であることがわかる。これらの成果は国内外の学会等で報告されている。なお、本研究は日本学術振興会科学研究費補助金(若手研究(B))の支援によって遂行されている。

特筆すべき業績

1. 8th outstanding poster award of the Japan Institute of Metals, H. Magara, M. Tsunekane, K. Yoshimi, S. Tsurekawa and K. Maruyama, "Self-assembling behavior of supersaturated thermal vacancies in rapidly solidified NiAl ribbons" on 27/3/2007.
2. 9th outstanding poster award of the Japan Institute of Metals, M. Tsunekane, D. Watanabe, K. Yoshimi, T. Sugawara, T. Shishido and K. Maruyama, "Self-assembling behavior of supersaturated thermal vacancies in B2-type intermetallic compounds", on 20/9/2007.