

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

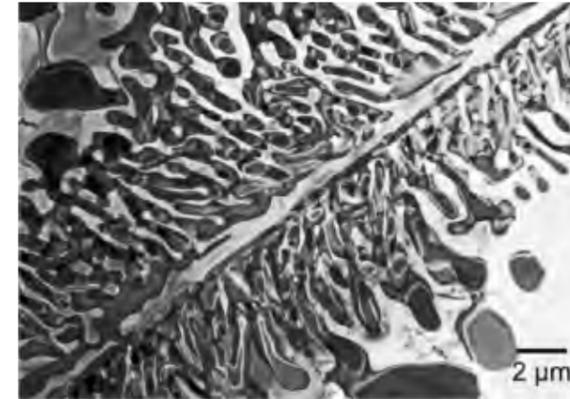


Fig.1 Electron microscopic image of an eutectic structure of Mo_5SiB_2 intermetallic compounds and Mo solid solution.



Fig.3 TEM microstructure of the LPSO (Long Period Stacking Ordered) type $\text{Mg}_{85}\text{Y}_9\text{Cu}_6$ alloy.

とが、TiAl合金の強度向上に大きく貢献する。界面転位の導入制御は、多くの異相界面を含むナノデバイスでも重要な問題であり、本研究の成果は、これらの分野にも貢献できる。これらを含めたこれまでの成果に対して、H21年9月に、日本金属学会 功労賞と日本鉄鋼協会 学生ポスター発表賞が贈呈された。

特筆すべき業績

- The Japan Institute of Metals Distinguished Achievement Award (Science), K. Maruyama, on 15/09/2009.
- Outstanding poster award of the Iron and Steel Institute of Japan, R. Chen, H. Ghassemi Armaki and K. Maruyama, "Microstructural stability of P91 steels during long-term creep exposure", on 15/09/2009.
- 1st Award of Light Metal Woman Future Prize, M. Suzuki on 14/11/2009.

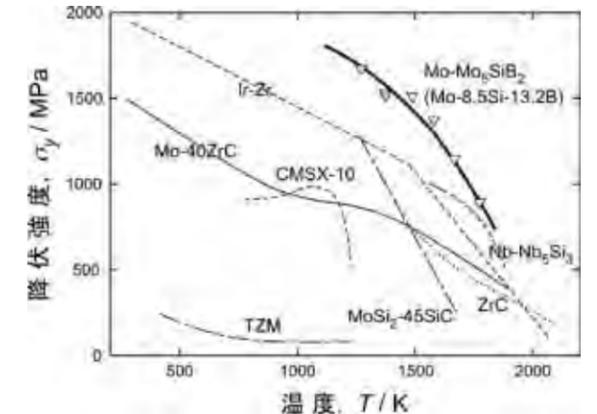


Fig.2 Comparison of yield stress between the Mo-8.5Si-13.2B alloy and typical high temperature materials.

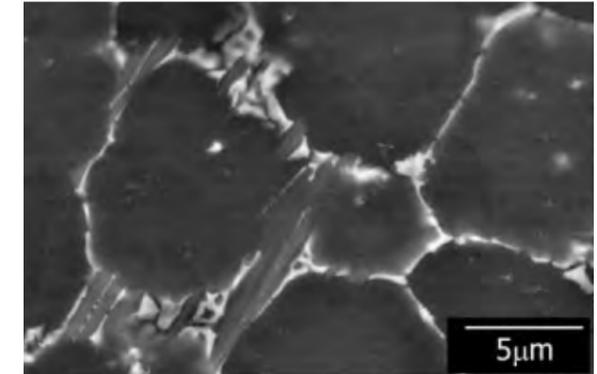


Fig.4 SEM microstructure of an Mg-Zn-Y Thixomolded alloy.

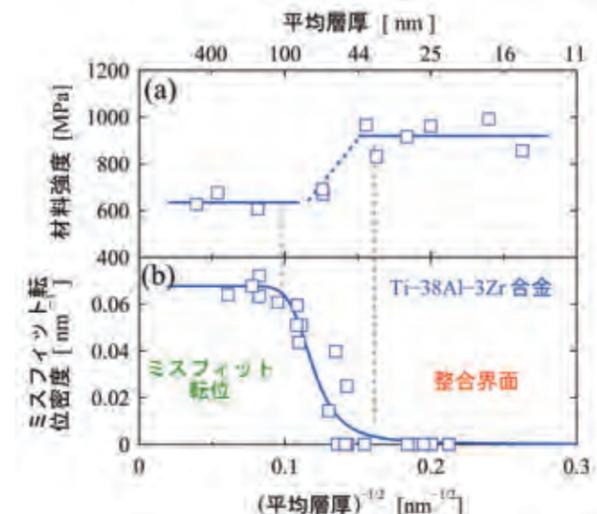


Fig.5 Effects of average lamellar width on (a) material strength and (b) misfit dislocation density on interface between γ and α_2 phases in fully lamellar TiAl alloys.

次世代内燃機関を担う超高温材料 Mo-Si-B合金の状態図研究

内燃機関の基本原理解から、燃焼ガスの温度を高くすればするほど熱効率は上昇することがよく知られているが、実際の熱効率は熱力学が示す理想的な値に比べてかなり低い。これは、内燃機関内で理想的な断熱仕事が行われていないためであり、その主たる原因は目的に適った高温で高強度な材料が提供できていないことにある。この問題は古くから懸念されており、現在人類が直面している石油資源の枯渇問題を回避するためには、超高温材料を使った新しい内燃機関の提案が急務である。そこで当グループでは、高融点金属であるモリブデンの高融点、高強度、低密度そして資源の豊富さに着目し、Mo-Si-B三元合金の状態図および金属組織学的研究、粉末材料プロセスの検討、さらには超高温特性の調査等々を進めた。Mo濃度が50%以上の合金では Mo_5SiB_2 という金属間化合物が生成し、Mo固溶体と共晶反応によって凝固する(図1)ことが知られているが、Mo-Si-B三元系合金の凝固経路や平衡状態図に関しては未だに議論が混沌としている。しかし当グループは、これまで複数の研究グループが報告してきた凝固経路の矛盾点を解明した。また、Mo-8.5at% Si-13.2at% B合金は、降伏強度が1500°Cでおよそ1 GPaと、極めて高強度であることを明らかにした(図2)。これらを含めたこれまでの成果に対して、平成22年3月には日本金属学会功績賞が授与される他、同年12月に開催予定のMaterials Research Societyでシンポジウムのオーガナイザーを務める。尚、本研究は科学研究費補助金(基盤研究B)の支援によって遂行されている。

Mo濃度が50%以上の合金では Mo_5SiB_2 という金属間化合物が生成し、Mo固溶体と共晶反応によって凝固する(図1)ことが知られているが、Mo-Si-B三元系合金の凝固経路や平衡状態図に関しては未だに議論が混沌としている。しかし当グループは、これまで複数の研究グループが報告してきた凝固経路の矛盾点を解明した。また、Mo-8.5at% Si-13.2at% B合金は、降伏強度が1500°Cでおよそ1 GPaと、極めて高強度であることを明らかにした(図2)。これらを含めたこれまでの成果に対して、平成22年3月には日本金属学会功績賞が授与される他、同年12月に開催予定のMaterials Research Societyでシンポジウムのオーガナイザーを務める。尚、本研究は科学研究費補助金(基盤研究B)の支援によって遂行されている。

高強度耐熱マグネシウム基铸造合金の強化機構

マグネシウムは実用金属材料中最も軽量であり、省エネルギー・地球温暖化防止の観点から輸送媒体への応用が期待されている材料であるが、実用化のためには更なる高温強度の改善が必要である。マグネシウムにある種の希土類元素と遷移金属を同時添加するとその強度は著しく向上することは特に興味深いトピックであり、近年種々の研究が精力的に進められている。特にマグネシウムにイットリウムと亜鉛を同時添加した合金は铸造材および展進材で優れた機械的性質を示す。当グ

ループではこれらの合金のクリープ強度を調査すると共に、その強化機構についての調査を行っており、イットリウムと亜鉛の同時添加に伴う合金内の物理量(積層欠陥エネルギー)の変化と転位の移動度の関係を変形組織観察結果から検討している。本系合金では積層欠陥エネルギーの低下に伴い、高温での回復機構の一つである転位の上昇運動速度が著しく抑制される。またイットリウムと亜鉛の濃度を適切に設定すると粒内には積層欠陥が規則的に導入された長周期積層構造が導入されるが、亜鉛を銅で置換した長周期型 $\text{Mg}_{85}\text{Y}_9\text{Cu}_6$ 合金(図3)においては、この効果が特に期待される。また、長周期積層構造相を粒界に連続的に導入させたチクノモルディング®成形材(図4)も優れたクリープ強度を示す。以上の成果は国内外の学会および研究会で発表されており、上記内容を含む研究成果について第一回軽金属女性未来賞が授与された。

TiAl合金：次世代軽量高温材料

比重2.7のAlと4.5のTiからなるTiAl合金は、航空機エンジン(タービン翼)や自動車エンジン(ターボチャージャー)用の次世代軽量高温材料である。ヨーロッパでは燃費の良いディーゼル車が人気で、ディーゼル車ではターボチャージャーが必須である。ターボチャージャーの性能を決める翼車の特性向上のために、軽くてしかもより高温に耐える軽量高温材料の開発が推進されている。日本のガソリン車の空燃比は、理想値より低いところに設定されている。理想値に近づければ、燃費は向上するが、排ガス温度が上昇し、それに耐える材料が必要になる。当グループでは、ターボチャージャーの高性能化や排ガス温度の高温化に対応できるように、TiAl合金の高強度化を目指した基礎研究を行っている。

TiAl合金は、 γ TiAl相と α_2 Ti₃Al相という2種類の化合物相がナノ〜サブミクロンサイズの層状組織を形成している。 γ 相と α_2 相からなるTiAl合金中には、 γ/α_2 界面と γ/γ 界面が存在する。この層状組織の設計によってその強度を種々制御することができる。図5に示すように、界面の間隔を微細化すると、格子ミスフィットを補う転位を含む γ/α_2 界面から、含まない整合界面へ構造変化する。整合な γ/α_2 界面の周囲では、結晶格子が大きく弾性変形しており、それが原因で、材料強度(降伏応力)が上昇する。このように、界面転位の導入を抑制するこ