



令和 8 年 4 月 15 日

報道機関 各位

熊本大学
九州大学
名古屋大学

電気を一瞬流すだけで金属が強くしなやかに ～数ミリ秒でチタン合金の限界を超える新加工法～

(ポイント)

- パルス電流を用いた高速・低エネルギー材料処理法を開発
- 結晶組織を非平衡的に制御^{*1}し、チタン合金の靱性^{*2}を大幅に向上
- 電流の非熱的効果^{*3}を活用した新しい材料設計戦略に期待

(概要説明)

熊本大学 先進マグネシウム国際研究センターの顧 少杰 (グ シャオジェ) 助教、同大学 大学院先端科学研究部の徳 悠葵教授および森田 康之教授、九州大学 大学院工学研究院の木村 康裕准教授、名古屋大学 大学院工学研究科の崔 羿(スイ イ)准教授、浙江大学の巨 陽 (ジュ ヤン) 主幹教授 (熊本大学客員教授)らの研究グループは、わずか数ミリ秒という極めて短時間の電流処理によって、チタン合金を大幅に強靱化する新手法を開発しました。

本研究では、二相チタン合金に対し、「高密度パルス電流^{*4} (HDPEC) 処理」を適用することで、非平衡な原子拡散と相変態を瞬時に誘発し、組織の微細化および多相化を実現しました。その結果、材料の靱性を最大 30%向上させることに成功しました。従来の熱処理とは異なり、本手法は、電流中を流れる電子が原子を直接押し動かす電子風力 (非熱的効果) を活用する点が特徴です。これにより、エネルギー消費を 50%以上削減することにも成功しています。

本成果は、航空機構造材や人工関節などに用いられる高性能チタン材料の、革新的かつ省エネルギーな加工プロセスとしての応用が期待されます。

なお、本研究成果は令和 8 年 4 月 13 日、国際学術誌 「*Nature Communications*」に掲載されました。

本研究は、科学技術振興機構 (JST) による研究費、日本学術振興会 (JSPS) 科研費、ならびに熊本大学先進マグネシウム国際研究センターの支援を受けて実施されました。

(説明)

[背景]

チタン合金は高強度・耐腐食性に優れることから、航空機部材や人工関節などに広く用いられています。しかし、用途に応じた材料特性を得るために行われる従来の熱処理は、処理時間が長く、エネルギー消費が大きいという課題がありました。

[研究の内容]

本研究では、高密度パルス電流がチタン合金の原子配列に与える衝撃力、すなわち電子風力に着目しました(図1)。この電子風力により、加熱を主因としない「非熱的」な原子拡散が誘起され、多相構造^{*5}の形成が可能となります。各種電流条件を精密に制御し、Ti-6Al-4V および Ti-6Al-7Nb 合金に対して、結晶組織と力学特性を系統的に評価しました。

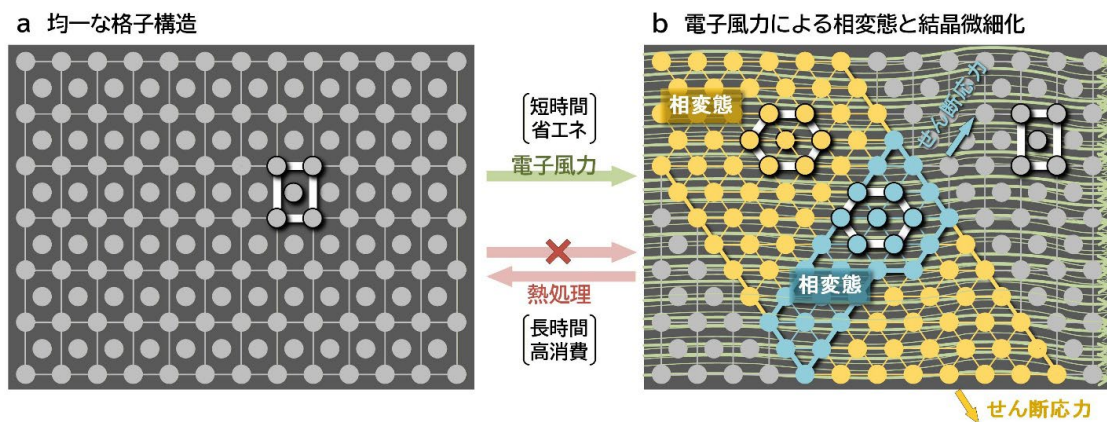


図1 高密度パルス電流による「電子風力(非熱的効果)」が原子を動かし、短時間で相変態と組織微細化を誘起する模式図(従来の熱処理との比較)

[成果]

電流密度が異なる条件下でも、いずれも非熱的効果により β 相安定化元素(V, Nb)の選択的な拡散が促進され、微細な多相構造が新たに形成されました(図2)。具体的には、 β 相内部にナノメートルサイズ(ナノは10億分の1)のマルテンサイト相が生成され強度向上に寄与するとともに、 β 相周囲に形成されたラメラ構造によって延性も向上しました。これは、従来の熱処理では観察されなかった特徴です。その結果、変形メカニズムが変化し応力集中が緩和され(図3)、

- Ti-6Al-4V 合金： 約30%
- Ti-6Al-7Nb 合金： 約26%

という顕著な靱性向上が確認されました。

[展開]

本成果は、チタン材料の革新的な加工プロセスにとどまらず、既存の熱処理に代わる省エネルギー型の新しい金属材料組織制御手法として、今後さまざまな金属材料への応用が期待されます。

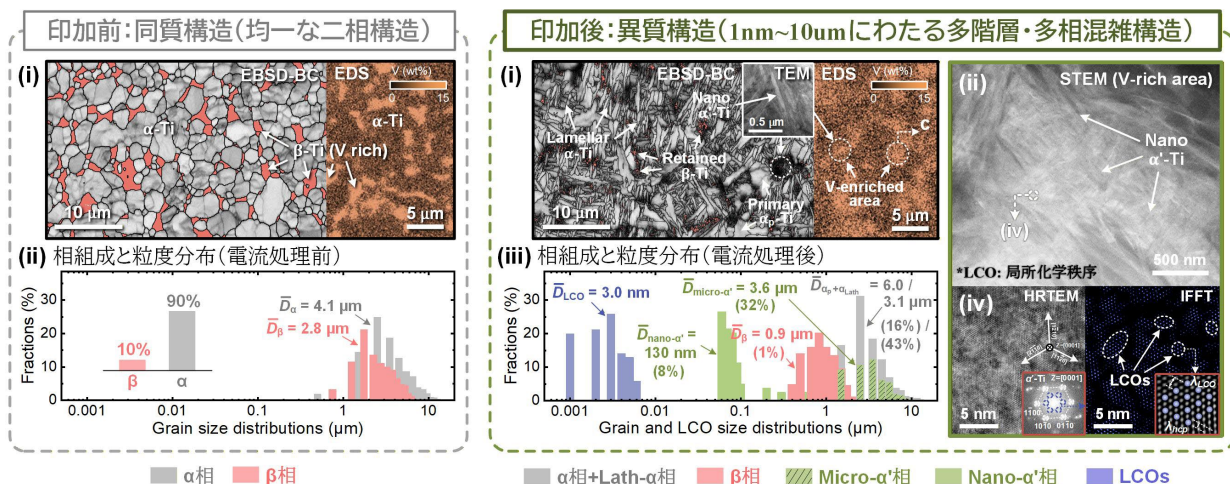


図2 HDPEC処理により形成された「異質微細構造(微細化+多相化)」の例(処理前後の組織比較)

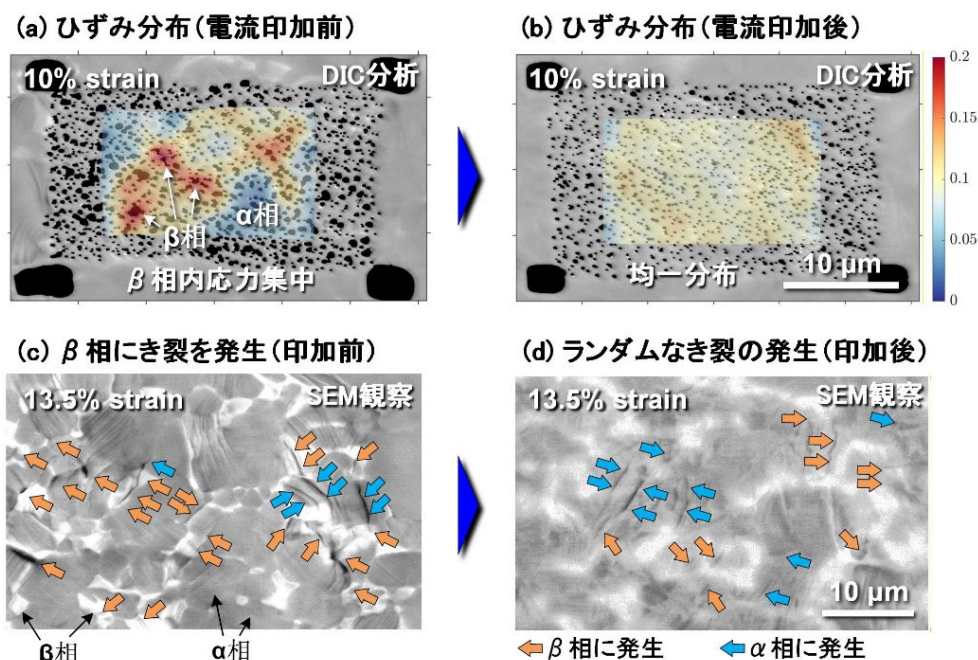


図3 電流処理による変形メカニズムの変化(応力集中が緩和され、割れにくさ=靱性が向上)

[用語解説]

- ※1. 非平衡的制御：材料が熱力学的な平衡状態に到達する前の短時間に、原子拡散や相変態を意図的に誘起して組織を制御する手法。
- ※2. 靱性：材料が外力を受けた際に、割れたり破断したりするまでにどれだけエネルギーを吸収し、変形に耐えられるかを示す性質。強度と延性の両方に関する重要な力学特性。
- ※3. 非熱的効果：電流による加熱(ジュール熱)とは異なり、電子の流れそのものが原子に力を及ぼすことにより生じる効果。代表的なものとして、電子と原子の力学的相互作用、電子風力が挙げられる。
- ※4. 高密度パルス電流：短時間に高密度の電流を流し電子風力を金属材料に導入する

処理技術。

※5. 多相構造：材料内部に異なる結晶相が混在する状態であり、強度や靱性の向上に寄与する。

(論文情報)

論文名：Electric current-driven heterogeneous microstructures in dual-phase titanium alloys

著者：Shaojie Gu †*, Yasuhiro Kimura*, Yi Cui, Yasuyuki Morita*, Sora Isoi, Chang Liu, Xinming Yan, Bingfeng Ju, Huayong Yang, Yuhki Toku †*, Yang Ju †*
(†:equal contribution,*: equal correspondence)

掲載誌：Nature Communications

doi：10.1038/s41467-026-70561-6

URL：<https://rdcu.be/fdb9w>