

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14027

研究課題名（和文）Development of a strong and ductile Ti-based bulk multi-gradients material utilizing friction stir powder surface processing technique and phase transformation theory

研究課題名（英文）Development of a strong and ductile Ti-based bulk multi-gradients material utilizing friction stir powder surface processing technique and phase transformation theory

研究代表者

劉 恢弘 (LIU, HUIHONG)

大阪大学・接合科学研究所・助教

研究者番号：40748943

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：型Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn合金板材を、型純Ti板材の上表面に重ね、摩擦攪拌プロセスを実施し、型Tiの表面を結晶粒微細化と合金化をした。同様なプロセスを型Ti板材の裏表面にも実施した。その後、得られた試験片を溶体化処理と時効処理を行うことで、試験片表面にある型Ti合金に相変態を誘起した。結果として、異なる化学組成、結晶粒径、結晶粒界特性、結晶方位特性、および相構成からなる様々な微細構造が形成され、試験片表面から中心までに分布した。熱処理前後の試験片は、時効処理前後の型Ti合金に近い高強度をそれぞれ有するとともに、型純Tiより高いかそれに近い高延性をそれぞれ示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、工業用途に向け強度延性が両立する新規Ti基バルク構造材料を開発しただけでなく、摩擦攪拌プロセスを利用して他の特異構造を有する高性能材料の開発に対して研究指針の一つになる。本概念に基づいて、化学組成、結晶粒径、結晶粒界特徴、結晶方位特徴、および相構成などを制御・工夫することで、特異微細構造を設計することができ、特定用途に向け特定性能を有する構造材料を設計することが期待される。

研究成果の概要（英文）：A beta Ti-alloy (Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al) sheet was lap-joined to an alpha pure-Ti sheet by friction stir processing in order to ultra-refine and beta-alloying the alpha-Ti surface. The same processing was also performed on the opposite side of the pure-Ti sheet. The fabricated specimen was then solution treated and aged to introduce phase transformation in the beta-Ti-alloy surfaces. The microstructure analysis indicates that different microstructures consisting of different chemical compositions, grain sizes, grain boundary characteristics, grain orientation characteristics, and phase constitutions, were generated and distributed from the specimen surface to the core. The tensile property results suggest that the fabricated specimens with or without heat treatment show high strength close to those of the high-strength beta Ti alloy with or without aging, and large elongation close to or larger than that of the alpha pure Ti, respectively.

研究分野：金属材料、材料加工、組織制御、固相接合、異種接合

キーワード：摩擦攪拌プロセス Ti合金 微細構造制御 力学的特性

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金属材料における従来の強化手段では、不純物や欠陥や結晶粒界や第二相分散粒子や析出物などを導入することで転位の移動を妨げることにより、強度を向上させることができるが、延性がやむを得ず低下することになる。したがって、材料における強度と延性は自然的な矛盾であり、これらを両立することが極めて困難である (Fig. 1) [1]。

Luら[2]は、金属材料表面に対して、強大ひずみ加工を行い、材料表面から中心までに結晶粒径勾配を形成させることで、ナノ構造傾斜材料を開発した (Fig. 2a)。また、Ameyamaら[3]は、金属粉末を機械的ミリングした後、粉末冶金プロセスを行うことで、粗大結晶粒の「コア」が微細結晶粒の「シェア」に囲まれた微細構造がネットワークのように繋がっている調和構造材料を開発した (Fig. 2b)。これらの材料は、微細結晶粒と粗大結晶粒で構成された微細構造を同時に有するので、強度と延性の両立を実現することができた。しかしながら、これらの材料においては、いくつかの問題がまだ存在している。ナノ構造傾斜材料については、厚いナノ構造層を作製することが未だ困難であり、これにより、傾斜ナノ構造を有するバルク材料の作製は未だ課題である[4]。一方、調和構造材料については、機械的ミリングは微小粉末粒子に十分な効果を有するかと懸念されている。また、機械的ミリングと焼結により、汚染や気孔などの欠陥が導入されやすいので、材料における力学的特性の劣化に繋がる[5]。

したがって、金属材料の強度と延性を両立させる新規手法の開発が求められる。

2. 研究の目的

摩擦攪拌プロセスは、摩擦攪拌接合の原理に基づいて生み出した新規材料改質・創製手法である。従来の手法である表面強大ひずみ加工や粉末冶金などと比べると、摩擦攪拌プロセスは、材料局部的改質可能や多種材料の複合可能などの特徴を有するとともに、厚い微細結晶粒構造層の作製可能や汚染・気孔などの欠陥導入を避けることが可能など様々な独自の魅力も有している。そこで、本研究では、摩擦攪拌プロセスを革新的に利用して、 α 型純Tiの両表面に対して、 β 合金化および結晶粒微細化をすることで、混合構造を有するTi基バルク材料を開発することを旨とする。加えて、適切な熱処理を施し、表面 β 相のみにおいて相変態を誘起することで、化学組成や結晶粒径や結晶粒界特徴および相構成などを含む様々な異なる微細構造を同時に形成させることにより、材料における強度と延性の両立を実現することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、1.5 mm厚さを有する α 型純Ti板材の上表面に1.5 mm厚さの β 型Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn (Ti153)合金板材を重ね、摩擦攪拌プロセスを実施した。12 mmのショルダー径、6 mmのプロープ径、および1.8 mmのプロープ長さを有するWC合金製ツールを用いた。プロセス条件については、回転速度を250 rpm、走行速度を100 mm/min、挿入深さを1.9 mmにした。同じプロセスを α 型純Ti板材の裏表面にも実施したことで、 β 相の表面層と α 相の中心核を同時に有するTi基板材を作製した。その後、得られた板材に対して、790°Cで10分間の溶体化処理を行って空冷してから、538°Cで8時間の時効処理とその後の空冷を行った。熱処理前後それぞれの板材に対して、横断面試験片を放電加工で切り出し、機械的研磨と電解研磨を施した。その後、光学顕微鏡 (OM) と電子線後方散乱回折 (EBSD) などを用いて微細組織を詳細的に解析した。また、熱処理前後それぞれの板材から引張試験片を作製し、室温で引張試験を行うことで、得られた板材における力学的特性を評価した。

4. 研究成果

OMにより得られた板材熱処理前の横断面組織を観察した結果、各板材の内部においても、板材と板材の界面においても、欠陥や未接合部の形成が確認できず、上記のプロセス条件で欠陥と未接合部のない健全なTi基バルク板材の作製ができたことを示唆する。

図3は熱処理前の板材における横断面微細組織をEBSDにより観察した結果を示している。

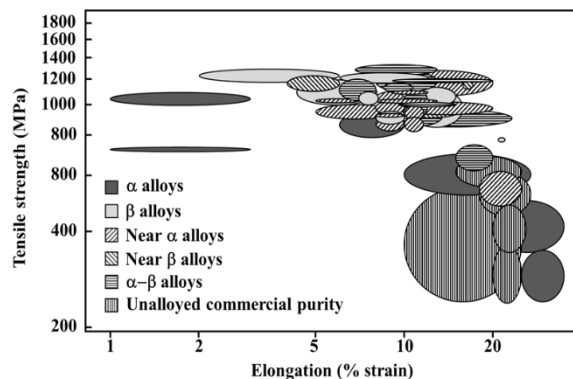


Fig. 1 Strength-ductility trade-off in Ti alloys community.

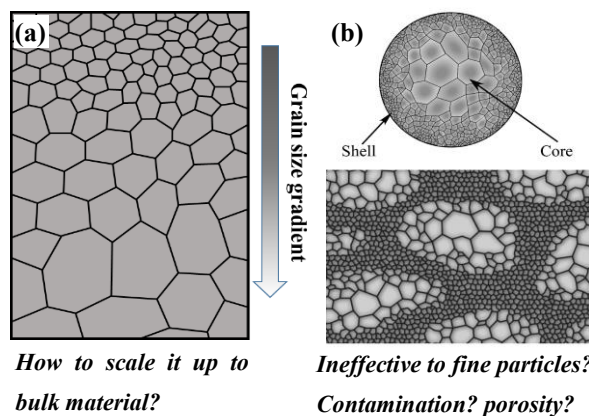


Fig. 2 Gradient nanostructured materials and harmonic structured materials and their issues.

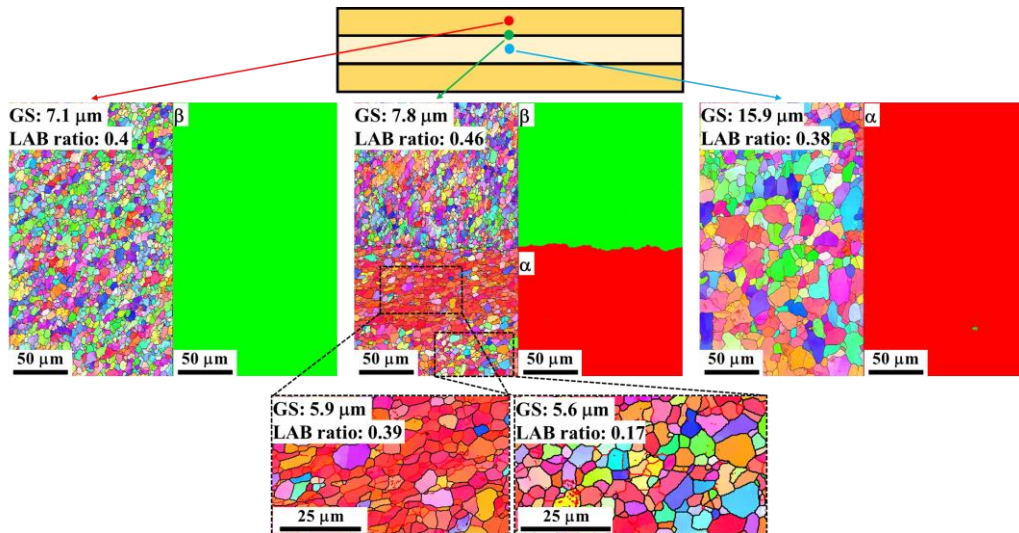


Fig. 3 EBSD micrographs of transverse cross section of the fabricated specimen without heat treatment.

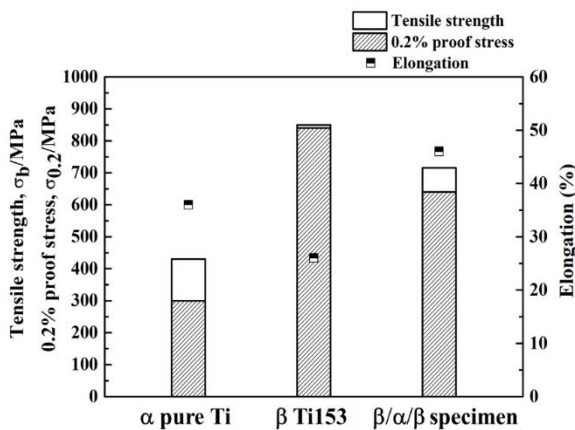


Fig. 4 Tensile properties of the fabricated specimen without heat treatment in comparison with α pure Ti and β Ti153.

板材表面から中心に向かって、結晶粒径 (GS) と相構成は、 $\sim 7.1 \mu\text{m}$ の β 相結晶粒、 $\sim 7.8 \mu\text{m}$ の β 相結晶粒、 $\sim 5.9 \mu\text{m}$ の α 相結晶粒、 $\sim 5.6 \mu\text{m}$ の α 相結晶粒、および $\sim 15.9 \mu\text{m}$ の α 相結晶粒の順で形成されている。また、低角粒界の比率 (LAB ratio) は ~ 0.4 、 ~ 0.46 、 ~ 0.39 、 ~ 0.17 および ~ 0.38 の順になっている。ここで注意すべきなのは、 β/α 界面近傍での α 組織は、近い結晶粒径を有するが、大きく異なる低角粒界比率と集合組織強度を示している。界面と少し離れた α 組織と比較すると、界面に最も近い α 組織は、より高い低角粒界比率とより強い集合組織強度を有している。これは、 α 結晶粒と β 結晶粒の摩擦攪拌への応答性が異なるため、 β/α 界面に最も近い α 結晶粒に、より大きいせん断変形歪みが加えられたためであると考えている。

以上の結果より、得られた板材の表面から中心までに、化学組成、相構成、結晶粒径、結晶粒界特徴および結晶方位特徴を含む多種微細構造を形成させることができた。図 2 は上記熱処理前板材、 α 型純 Ti および β 型 Ti153 合金の引張特性を示している。結果より、得られた板材は β 型 Ti153 合金に近い高強度を有するとともに、 α 型純 Ti と β 型 Ti153 合金の両方ともを超えた延性を示している。

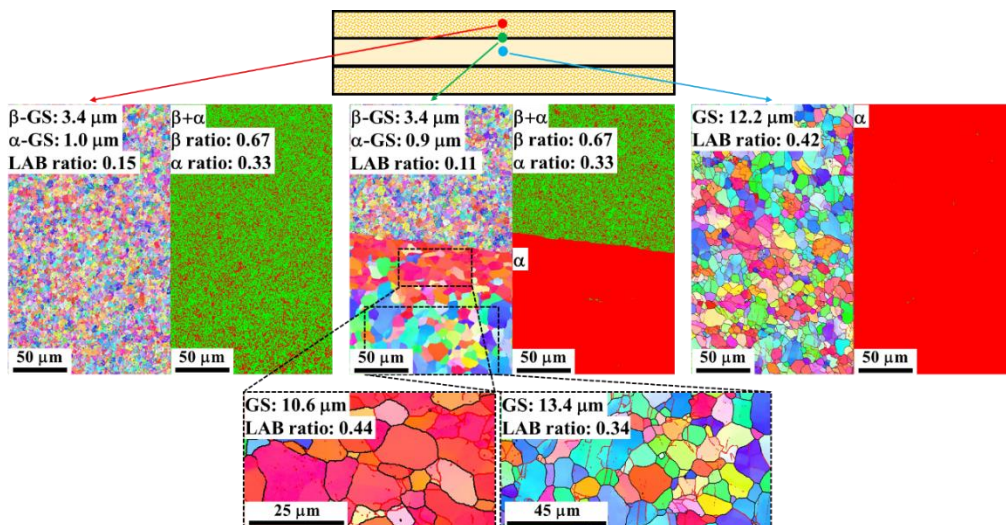


Fig. 5 EBSD micrographs of transverse cross section of the fabricated specimen with heat treatment.

図 3 は熱処理後の板材における横断面微細組織を EBSD により観察した結果を示している。熱処理により、板材表面の β 組織において体積分率 ~ 0.33 、結晶粒径 $\sim 1.0 \mu\text{m}$ を有する α 相が均一かつ緻密的に析出したことを確認できた。板材表面から中心に向かって、 β 結晶粒径 $\sim 3.4 \mu\text{m}$ と α 結晶粒径 $\sim 1.0 \mu\text{m}$ を有する ($\beta + \alpha$) 二相組織、結晶粒径 $\sim 10.6 \mu\text{m}$ の α 組織、結晶粒径 ~ 13.4

μm の α 組織および結晶粒径 $\sim 12.2 \mu\text{m}$ の α 組織が形成されている。また、低角粒界の比率については、 ~ 0.15 、 ~ 0.11 、 ~ 0.44 、 ~ 0.34 および ~ 0.42 の順になっている。熱処理前と比較すると、板材表面の β 結晶粒径はより小さくなった。これは、 β 結晶粒界と粒内において、微小な α 相が均一かつ緻密的に析出したことで、 β 結晶粒の粒成長を抑制するとともに、 β 結晶粒を分割したためであると考えている。また、 β/α 界面近傍での α 結晶粒は熱処理前と比べるとかなり大きくなったが、板材中心部での α 結晶粒径はほぼ変化しなかった。これは、より微細的な結晶粒を有する α 組織はより大きい結晶粒界エネルギーを有するので、熱処理に起因する粒成長への駆動力もより大きいためであると考えている。図 4 は、得られた熱処理後板材、 α 型純 Ti および時効処理した β 型 Ti153 合金の引張特性を示している。結果より、得られた熱処理後板材は α 型純 Ti を大幅に超え、時効処理した β 型 Ti153 合金に近い高強度を有するとともに、 α 型純 Ti に近い高延性を示している。

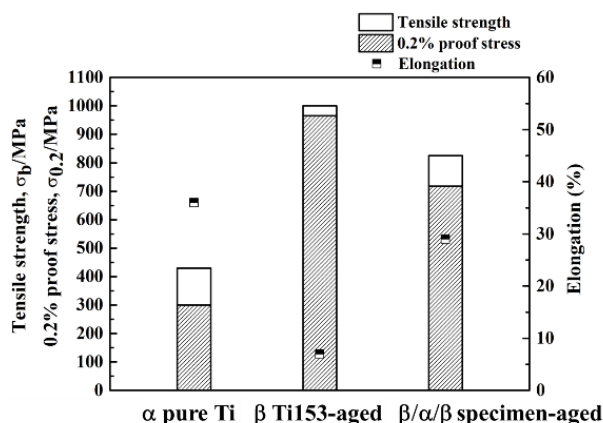


Fig. 6 Tensile properties of the fabricated specimen with heat treatment in comparison with α pure Ti and aged β Ti153.

以上の結果より、 α 型 Ti に対して摩擦攪拌プロセスを利用して表面結晶粒微細化と表面 β 合金化をするとともに熱処理を行って相変態を誘起することで、様々な異なる微細構造を形成・混合させることができ、これは、強度と延性の両立に寄与していることが明らかとなった。今後は、このような特異微細構造（傾斜、調和、混合など）の形成をさらに制御・工夫することで、さらに優れた強度延性の両立を実現することを目指したいと考えている。

<引用文献>

- ① A. Devaraj, V.V. Joshi, A. Srivastava, S. Manandhar, V. Moxson, V.A. Duz, C. Lavender. A low-cost hierarchical nanostructured beta-titanium alloy with high strength. *Nat. Commun.* 7 (2016) 11176.
- ② K. Lu. Making strong nanomaterials ductile with gradients. *Science* 345 (2014) 1455-1456.
- ③ T. Sekiguchi, K. Ono, H. Fujiwara, K. Ameyama. New microstructure design for commercially pure titanium with outstanding mechanical properties by mechanical milling and hot roll sintering. *Mater. Trans.* 51 (2010) 39-45.
- ④ Y. Wei, Y. Li, L. Zhu, Y. Liu, X. Lei, G. Wang, Y. Wu, Z. Mi, J. Liu, H. Wang, H. Gao. Evading the strength-ductility trade-off dilemma in steel through gradient hierarchical nanotwins. *Nat. Commun.* 5 (2014) 3580.
- ⑤ M. Ota, S.K. Vajpai, R. Imao, K. Kurokawa, K. Ameyama. Application of high pressure gas jet mill process to fabricate high performance harmonic structure designed pure titanium. *Mater. Trans.* 56 (2015) 154-159.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Jeong-Won Choi, Huihong Liu, Hidetoshi Fujii	4. 巻 730
2. 論文標題 Dissimilar friction stir welding of pure Ti and pure Al	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 168-176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2018.05.117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Huihong Liu, Kohsaku Ushioda, Hidetoshi Fujii	4. 巻 145
2. 論文標題 Elucidation of microstructural evolution of beta-type titanium alloy joint during friction stir welding using liquid CO ₂ cooling	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Characterization	6. 最初と最後の頁 490-500
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchar.2018.09.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Masaaki Nakai, Mitsuo Niinomi, Kazuya Komine, Huihong Liu, Yoshiaki Morisada, Hidetoshi Fujii	4. 巻 742
2. 論文標題 High-cycle fatigue properties of an easily hot-workable (+)-type titanium alloy butt joint prepared by friction stir welding below transus temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 553-563
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2018.10.103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Huihong Liu, Kohsaku Ushioda, Hidetoshi Fujii	4. 巻 166
2. 論文標題 Elucidation of interface joining mechanism during friction stir welding through Cu/Cu-10Zn interfacial observations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 324-334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2019.01.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Huihong Liu, Kohsaku Ushioda, Hidetoshi Fujii	4. 巻 12
2. 論文標題 Clarification of interface joining mechanism of friction stir welding by Cu/Cu-10Zn interfacial observation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 12th International Symposium on Friction Stir Welding	6. 最初と最後の頁 7B-1-1-7B-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jeong-Won Choi, Huihong Liu, Kohsaku Ushioda, Hidetoshi Fujii	4. 巻 12
2. 論文標題 Dissimilar friction stir welding of pure Ti and pure Mg using an Al filler material	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 12th International Symposium on Friction Stir Welding	6. 最初と最後の頁 P4-1-P4-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 B. Vicharapu, H.H. Liu, H. Fujii, N. Ma, A. De	4. 巻 -
2. 論文標題 Probing tool durability in stationary shoulder friction stir welding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Proceedings of Friction Stir Welding and Processing X 2019 TMS Annual Meeting & Exhibition	6. 最初と最後の頁 91-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-05752-7_9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wenjing Zhang, Huihong Liu, Hua Ding and Hidetoshi Fujii	4. 巻 803
2. 論文標題 Grain refinement and superplastic flow in friction stir processed Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al alloy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 901-911
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2019.06.323	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 R. Kuroiwa, H. Liu, Y. Aoki, S. Yoon, H. Fujii, G. Murayama, M. Yasuyama	4. 巻 25
2. 論文標題 Microstructure control of medium carbon steel joints by low-temperature linear friction welding	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science and Technology of Welding and Joining	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13621718.2019.1600771	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Nakai, M. Niinomi, H. Liu, T. Kitashima	4. 巻 60
2. 論文標題 Suppression of Grain Boundary a Formation by Addition of Silicon in a Near-beta Titanium Alloy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 1749-1754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.ME201920	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J.W. Choi, H. Liu, K. Ushioda, H. Fujii	4. 巻 155
2. 論文標題 Effect of an Al filler material on interfacial microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welded Ti/Mg joint	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Characterization	6. 最初と最後の頁 190801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchar.2019.109801	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J.W. Choi, H. Liu, K. Ushioda, H. Fujii	4. 巻 7
2. 論文標題 Dissimilar friction stir welding of immiscible titanium and magnesium	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materialia	6. 最初と最後の頁 100389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtla.2019.100389	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 B. Vicharapu, H. Liu, H. Fujii, K. Narasaki, N. Ma, A. De	4. 巻 106
2. 論文標題 Probing residual stresses in stationary shoulder friction stir welding process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Advanced Manufacturing Technology	6. 最初と最後の頁 1573-1586
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00170-019-04570-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 P. Chen, H. Liu, M. Niinomi, Z. Horita, H. Fujii, T. Hanawa	4. 巻 61
2. 論文標題 Fatigue property and cytocompatibility of a biomedical Co-Cr-Mo alloy subjected to a high pressure torsion and a subsequent short time annealing	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 361-367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2019148	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Liu, Y. Aoki, Y. Aoki, K. Ushioda, H. Fujii	4. 巻 46
2. 論文標題 Principle for obtaining high joint quality in dissimilar friction welding of Ti-6Al-4V alloy and SUS316L stainless steel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science & Technology	6. 最初と最後の頁 211-224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmst.2019.10.037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 劉 恢弘, 藤井 英俊
2. 発表標題 Cu/Cu-10Znの界面観察によるCuの摩擦攪拌接合における界面接合機構の解明
3. 学会等名 溶接学会 平成30年度春季全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 崔 正原, 劉 恢弘, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 純Al薄膜をフィラー材料として用いた純Tiと純Mgの異材摩擦攪拌接合
3. 学会等名 溶接学会 平成30年度春季全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮垣 徹也, 劉 恢弘, 釜井 正善, 藤井 英俊
2. 発表標題 炭素鋼の大荷重局部変形接合
3. 学会等名 溶接学会 平成30年度春季全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下 大輔, 柳楽 知也, 釜井 正善, 青木 祥宏, 劉 恢弘, 藤井 英俊
2. 発表標題 X線イメージングを利用したAl-Cu合金のTIG溶接時に発生する凝固割れのその場観察
3. 学会等名 溶接学会 平成30年度春季全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jeong-Won Choi, Huihong Liu, Kohsaku Ushioda, Hidetoshi Fujii
2. 発表標題 Friction stir welding of dissimilar pure Ti/pure Mg using an Al filler material
3. 学会等名 軽金属溶接協会 2018年度年次講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下 大輔, 柳楽 知也, 釜井 正善, 青木 祥宏, 劉 恢弘, 藤井 英俊
2. 発表標題 高輝度X線を利用したその場観察によるAl-Cu合金のTIG溶接で生じる凝固割れの形成機構の解明
3. 学会等名 軽金属溶接協会 2018年度年次講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H.H. Liu, K. Ushioda, H. Fujii
2. 発表標題 Elucidation of Interface Joining Mechanism of Friction Stir Welding through Cu/Cu-10Zn Interface Observation
3. 学会等名 Japan-China Joining and Welding Workshop 2018 (JCJW2018)-Cutting Edge of Additive Manufacturing, Laser Processing and Friction Stirring Welding (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮垣 徹也, 劉 恢弘, 釜井 正善, 藤井 英俊
2. 発表標題 大荷重局部変形による炭素鋼の低温接合
3. 学会等名 溶接学会 平成30年度秋季全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 崔 正原, 劉 恢弘, 潮田 浩作, 藤井 英俊, 永塚 公彬, 中田 一博
2. 発表標題 純TiとCFRPの異材摩擦攪拌接合
3. 学会等名 溶接学会 平成30年度秋季全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 B.Vicharapu, H.Liu, H.Fujii, N.Ma, A.De
2. 発表標題 Effect of Plate thickness on tool durability index in FSW of aluminum alloy
3. 学会等名 溶接学会 平成30年度秋季全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下 大輔, 柳楽 知也, 釜井 正善, 青木 祥宏, 劉 恢弘, 藤井 英俊
2. 発表標題 ステンレス鋼のTIG溶接時の凝固割れ
3. 学会等名 溶接学会 平成30年度秋季全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 劉 恢弘, 青木 洋, 青木 祥宏, 藤井 英俊
2. 発表標題 Ti-6Al-4V合金/SUS316L鋼の異材摩擦圧接
3. 学会等名 溶接学会 平成30年度秋季全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮垣 徹也, 劉 恢弘, 釜井 正善, 藤井 英俊
2. 発表標題 A1点以下での接合を実現する局部変形を活用した新規接合法の開発
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第176回秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山下 大輔, 柳楽 知也, 釜井 正善, 青木 祥宏, 劉 恢弘, 藤井 英俊
2. 発表標題 TIG溶接時におけるステンレス鋼の凝固割れのその場観察
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第176回秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 劉 恢弘, 青木 洋, 青木 祥宏, 藤井 英俊
2. 発表標題 チタン合金/ステンレス鋼における異材摩擦圧接
3. 学会等名 日本金属学会 2018年秋期講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H.Liu, H. Fujii
2. 発表標題 Microstructure and mechanical properties of a beta-type titanium alloy joint fabricated by friction stir welding
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on Creation of Life Innovation Materials for Interdisciplinary and International Researcher Development (iLIM-3) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Yamashita, T. Nagira, M. Kamai, Y. Aoki, H. Liu, H. Fujii
2. 発表標題 In-situ observation of solidification cracking during TIG welding by X-ray imaging
3. 学会等名 4th international conference on welding and failure analysis of engineering materials
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Miyagaki, H. Liu, M. Kamai, H. Fujii
2 . 発表標題 Low-temperature joining of carbon steel by large load and localized deformation
3 . 学会等名 4th international conference on welding and failure analysis of engineering materials
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Jeong-Won Choi, Huihong Liu, Kohsaku Ushioda, Hidetoshi Fujii
2 . 発表標題 Microstructure and mechanical properties of dissimilar Ti/Mg joint fabricated by friction stir welding
3 . 学会等名 TMS2019 148th Annual Meeting & Exhibition
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H.H. Liu, K. Ushioda, H. Fujii
2 . 発表標題 Interface Joining Mechanism of Friction Stir Welding Investigated by Cu/Cu10Zn Interfacial Observation
3 . 学会等名 4th Osaka University-JWRI/NTU-MSE Workshop (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 劉恢弘, 藤井英俊
2 . 発表標題 Ti-6Al-4V合金/SUS316L鋼における極低回転摩擦圧接
3 . 学会等名 日本金属学会 2019年春期講演大会
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 B. Vicharapu, H. Liu, H. Fujii, K. Narasaki, N. Ma, A. De
2. 発表標題 Modeling of residual stresses in stationary shoulder friction stir welding
3. 学会等名 (一社)溶接学会 平成31年度春季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 崔 正原、劉 恢弘、潮田 浩作、藤井 英俊
2. 発表標題 Ti/Mg異材継手における微細組織及び機械的性質に及ぼすAlフィラー材料の影響
3. 学会等名 (一社)溶接学会 平成31年度春季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 劉 恢弘、藤井 英俊
2. 発表標題 チタン合金/ステンレス鋼における極低回転摩擦圧接
3. 学会等名 (一社)溶接学会 平成31年度春季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 崔 正原、劉 恢弘、潮田 浩作、藤井 英俊、長塚 公彬、中田 一博
2. 発表標題 摩擦攪拌接合によるチタンとCFRPの異材接合
3. 学会等名 (一社)軽金属学会 第136回春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣 拓也、青木 祥宏、劉 恢弘、藤井 英俊
2. 発表標題 Ti-6Al-4VとSUS316Lの異材線形摩擦接合法の開発
3. 学会等名 軽金属溶接協会2019年年次講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣 拓也、青木 祥宏、劉 恢弘、釜井 正善、藤井 英俊
2. 発表標題 異種材料の低温線形摩擦接合
3. 学会等名 第176回鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 劉 恢弘、宮垣 徹也、釜井 正善、藤井 英俊
2. 発表標題 ジュール熱大荷重局部変形接合法による高炭素鋼の低温接合
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期（第165回）講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Vicharapu Buchibabu, Liu Huihong, Morisada Yoshinki, Fujii Hidetoshi
2. 発表標題 Assessment of tool wear in friction stir welding of high carbon steel
3. 学会等名 (一社)溶接学会 2019年度秋季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣 拓也、釜井 正善、青木 祥宏、劉 恢弘、藤井 英俊
2. 発表標題 異種材料の線形摩擦接合法の開発
3. 学会等名 (一社)溶接学会 2019年度秋季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 劉 恢弘、宮垣 徹也、釜井 正善、藤井 英俊
2. 発表標題 ジュール熱大荷重局部変形接合法による高炭素鋼の低温圧接
3. 学会等名 (一社)溶接学会 2019年度秋季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林 泳錫、劉 恢弘、藤井 英俊
2. 発表標題 ジュール熱大荷重局部変形接合法によるTi-6Al-4VとSUS316Lの異種接合
3. 学会等名 (一社)溶接学会 2019年度秋季全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Buchibabu VICHARAPU, Huihong LIU, Kunio NARASAKI, Ninshu MA, Hidetoshi FUJII
2. 発表標題 Computation of Residual Stresses in Friction Stir Based Welding Techniques
3. 学会等名 Visual-JW 2019 & WSE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Huihong LIU, Yo AOKI, Yasuhiro AOKI and Hidetoshi FUJII
2. 発表標題 Dissimilar Friction Welding of Ti-6Al-4V Alloy and SUS316L Stainless Steel
3. 学会等名 Visual-JW 2019 & WSE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 劉 恢弘、崔 正原、潮田 浩作、藤井 英俊、長塚 公彬、中田 一博
2. 発表標題 摩擦攪拌接合による純TiとCFRPの異種接合
3. 学会等名 日本金属学会 2020年春期大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 金属材料の固相接合方法及び固相接合装置	発明者 藤井 英俊、森貞 好昭、劉 恢弘、青 木 祥宏、釜井 正	権利者 大阪大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/2019/006719	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----