

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14418

研究課題名（和文）摩擦攪拌接合部における加工誘起相変態の統一的理解と積極的活用

研究課題名（英文）Unified understanding and aggressive usage of deformation induced transformation in the stir zone of friction stir welding

研究代表者

山下 享介（Yamashita, Takayuki）

大阪大学・接合科学研究所・助教

研究者番号：20829080

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、中Mn鋼に対して、フェライト（ α ）+オーステナイト（ γ ）二相域温度で摩擦攪拌接合（FSW）を実施した。接合部を引張変形中その場中性子回折試験に供し、接合部に形成された α の相安定性と加工誘起相変態挙動、各構成相の機械的特性に対する役割を評価した。接合部の裏面側では多量の γ が残存していたが、その相安定性は低く、引張強度に到達する前に全てマルテンサイト（ β ）へと変態していたが、加工硬化能の増大には寄与していたと示唆された。加えて、変形前に存在していた β や加工誘起 β と α 間の応力分配が高い加工硬化をもたらしたと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、不安定な α を有する鋼の変形挙動に関する重要な知見であり、より優れた鉄鋼材料を創生していく上での基礎的な知見として資することが期待される。また、中Mn鋼のFSW接合部の機械的特性をさらに改善するための指標として、より低温となる条件でFSWを実施する必要があること、FSWを前提とした合金設計をする上で相変態点温度を変化させることが有効であることを示唆する結果であり、学術的にも工業的にも大きな意義を有する。

研究成果の概要（英文）：In this study, friction stir welding was performed on a medium-Mn steel at temperatures in the ferrite (α) and austenite (γ) dual-phase region. The joining region were subjected to in-situ neutron diffraction during tension to evaluate the phase stability of α , deformation induced martensitic transformation behavior, and the role of each constituent phase to the mechanical properties. A large amount of γ remained on the bottom side of the joint, but its phase stability was low. Almost all of γ transformed to martensite (β) before reaching tensile strength. The β may contributed to the increase in work hardenability. In addition, it was suggested that the stress partitioning between flesh β and deformation induced β resulted in high work hardening rate at the later stage of deformation.

研究分野：接合科学、鉄鋼材料学、中性子科学

キーワード：中Mn鋼 摩擦攪拌接合 中性子回折 TRIP効果 その場観察 残留オーステナイト 不均一変形 相安定性

1. 研究開始当初の背景

先進鉄鋼材料である自動車用高強度鋼板は、安全性の向上と軽量化という相反する要求を満たすために優れた機械的特性が必要となる。冷間圧延後に二相域熱処理を施した 3~10 mass% 程度のマンガン(Mn)を含む中 Mn 鋼^{1, 2)}は、非常に微細な BCC 構造の母相フェライト(α)と準安定な FCC 構造のオーステナイト(γ)から構成され、熱処理温度次第で多彩かつ優れた応力 - ひずみ応答を示す。特に、 γ が変形中に硬質なマルテンサイト(α')へと加工誘起相変態することで鋼の延性を大幅に改善する変態誘起塑性(Transformation induced plasticity: TRIP)効果は、中 Mn 鋼の機械的特性に対して重要な役割を担っている³⁾。TRIP 効果の発現には変形に対する γ の安定性が重要であり、その安定性は化学組成や微視組織形態に強く依存することが知られている。TRIP 効果を最大限活用するためには、その鋼の加工誘起相変態挙動を理解し、変形に対する γ の安定性を適切に制御する必要がある。中 Mn 鋼の実用化を目指す上では、接合部においても優れた機械的特性の発現が求められるが、通常の溶融溶接では α' が形成しやすく、延性や靱性が低下してしまう。接合部でも TRIP 効果を活用できるようにするためには、微視組織の制御が可能な接合方法が望まれる。

摩擦攪拌接合(Friction stir welding: FSW)は、材料を溶融させない固相接合法であり、その特徴は接合部において摩擦による入熱と大きな塑性変形を伴う点である。入熱量(接合温度)は接合条件(接合速度やツールの回転速度など)により制御できるため、鉄鋼材料では相変態点前後(α 単相域、 γ 単相域や $\alpha + \gamma$ 二相域)での接合が可能である。また、高温での著しい塑性変形の導入により、動的再結晶に伴う結晶粒微細化や γ の加工安定化が生じる。そのため、接合部に γ を残存させ、TRIP 効果による機械的特性の改善を活用することが期待できる。しかし、 γ 相分率と接合条件の関係に関する報告に留まっており、変形中の γ の安定性や加工誘起相変態挙動の検討はなされていない。

上述の背景を踏まえて、中 Mn 鋼に対して種々の条件で FSW を施しその接合部に γ を残存させたとき、「接合部において加工誘起相変態を積極的に活用する上でどのような γ を形成させるべきか」、そして「超強加工・熱処理プロセスにより形成した超微細粒 γ の加工誘起相変態挙動と機械的特性の発現に対する役割は如何なるものか」が本研究の「問い」であり、より優れた鉄鋼材料を追求する上で解決すべき課題であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、中 Mn 鋼の接合部において加工誘起相変態を積極的に活用するために、固相接合法である FSW に着目し、接合部に形成される微視組織に対する基礎的な知見の獲得と接合部に形成された γ の加工誘起相変態挙動および各構成相の機械的特性の発現に対する役割を明確化することを目的とした。この目的を達成する上で最も強力な解析手法の一つとなり得る引張変形中その場中性子回折法を中 Mn 鋼の FSW 接合部へと適用し、相応力や各構成相の強度への寄与、 γ 量の変化を評価した。

3. 研究の方法

供試鋼として 2 mm 厚の 0.15C-5Mn-0.5Si 鋼(in mass %)を用いた。冷間圧延後、650°C で 30 min 間保持し、 $\alpha + \gamma$ の二相から成る鋼を作製した。接合方向が圧延方向と平行となるように stir in plate で FSW を実施した。FSW には WC 超硬合金製ツールを用いた。接合速度は 100 mm/min または 200 mm/min とし、接合温度を $\alpha + \gamma$ 二相域内で比較的低温側と高温側とするために接合速度が 100 mm/min の条件ではツール回転数を 100 rpm~200 rpm の範囲で変化させ、接合速度 200 mm/min の範囲では 200 rpm および 250 rpm とした。微視組織観察には電子線後方散乱回折(Electron Backscattered Diffraction: EBSD)法を採用した。接合部の表面側、板厚中心付近、裏面側に対してそれぞれ観察を行い、微視組織の形態や構成相を評価した。引張試験片は荷重の負荷方向が接合方向と平行で試験片平行部が全て接合部となるように採取した。引張変形中その場中性子回折法は茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 J-PARC の物質・生命科学実験棟 MLF 内に設置された工学材料回折装置「匠(TAKUMI)」にて実施した。その場中性子回折試験には接合速度が 200 mm/min で回転数が 200 rpm または 250 rpm の試験片を採用した。以降、その試料を FSW200 材および FSW250 材と称する。中 Mn 鋼はリュウダース変形のような不均一変形を生じることが知られている。そのため、匠所有の引張試験機に CCD カメラを取り付け、デジタル画像相関(Digital Image Correlation: DIC)法による試験片

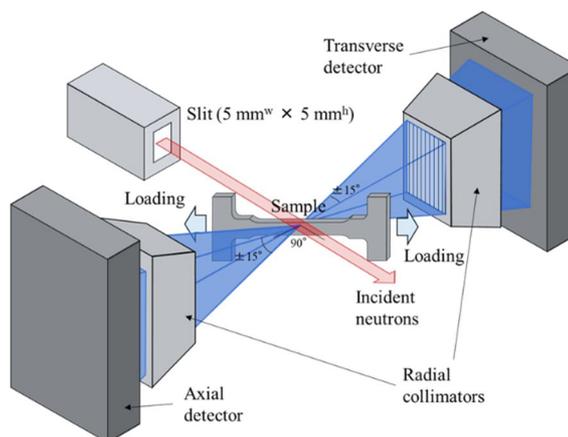


Fig. 1 BL-19 匠の装置レイアウト

表面のひずみ分布評価により、中性子の照射領域において生じた局所変形の同定を試みた。引張変形中その場中性子回折測定は Fig. 1 に示すような装置レイアウトを用いて、室温(25°C)、クロスヘッドスピード一定(初期ひずみ速度: 2.0×10^{-5} /s)の条件で破断まで引張試験を実施した。得られた試験データは中性子回折パターンの統計精度を考慮して弾性域では 180 s、塑性域では 300 s で時分割した。時分割したデータは粉末回折データ解析ソフトウェア「Z-Rietveld」を用いて解析し、各構成相の相分率、*hkl* 結晶粒群の格子面間隔、半値全幅、積分強度を得た。得られた格子面間隔から格子ひずみと相応力を算出するとともに、各構成相の強度に対して担う応力を求めた。

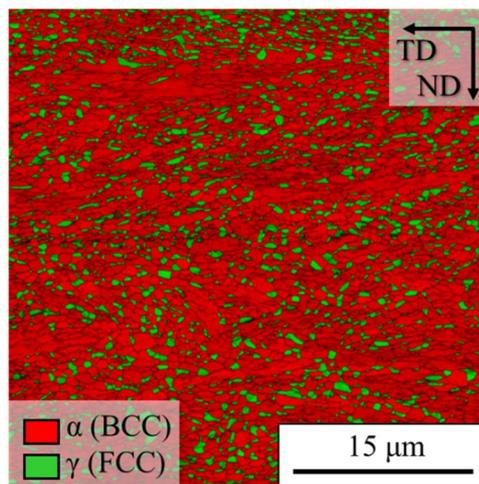


Fig. 2 BM 材の相マップ+IQ マップ

4. 研究成果

Fig. 2 に熱処理後の中 Mn 鋼母材(以降、BM 材と呼称する)から得た EBSD の相マップに IQ(Image quality)マップを重ねた図を示す。BM 材は平均結晶粒径が $2.6 \mu\text{m}$ の α 母相と $0.5 \mu\text{m}$ の残留 γ から成り、その量は 17.0%であった。

Fig. 3 に微視組織観察結果の一例として、回転数 100 rpm、接合速度 100 mm/min で FSW した中 Mn 鋼の接合部断面における EBSD 測定から得た相マップに IQ マップを重ねた図を示す。Fig. 3a に示す試料表面側では、等軸状の IQ 値が高い粒と低い粒(図中青矢印のような粒)が混在していた。 α' はその結晶構造が理想的な BCC 構造よりも若干歪んでいるため、EBSD 測定をした場合に BCC 構造として解析すると IQ 値が低くなることが知られている⁴⁾。そのため、Fig. 3a の領域は α と α' の二相から成ると考えられる。試料表面側は比較的高温となるため⁵⁾、 γ の安定性が低く、冷却時に全て α' へと変態したと示唆される。Fig. 3b に示す試料の板厚中心付近では、Fig. 3a で見られた α と α' に加えて、IQ 値の非常に低い領域が散見された。このような領域は γ が存在していたが、その安定性が低く研磨中に加工誘起 α' へと変態してしまったと推察される。Fig. 3c に示す試料裏面側では、 α と γ に加えて、Fig. 3b でも見られた IQ の低い BCC 構造の粒が多数存在していた。これらの粒は加工誘起 α' であると考えられる。Fig. 3a および Fig. 3b に存在していた α' は見受けられなかったことから、比較的 γ の安定性は高く冷却中に α' 変態することなく残存したと予想される。しかし、 γ の中でも比較的安定性の低い粒は研磨によって加工誘起相変態を生じ、変形に対する安定性の高い γ のみが観察されたと考えられる。このような変形に対する安定性の高い γ は TRIP 効果として寄与することが期待される。

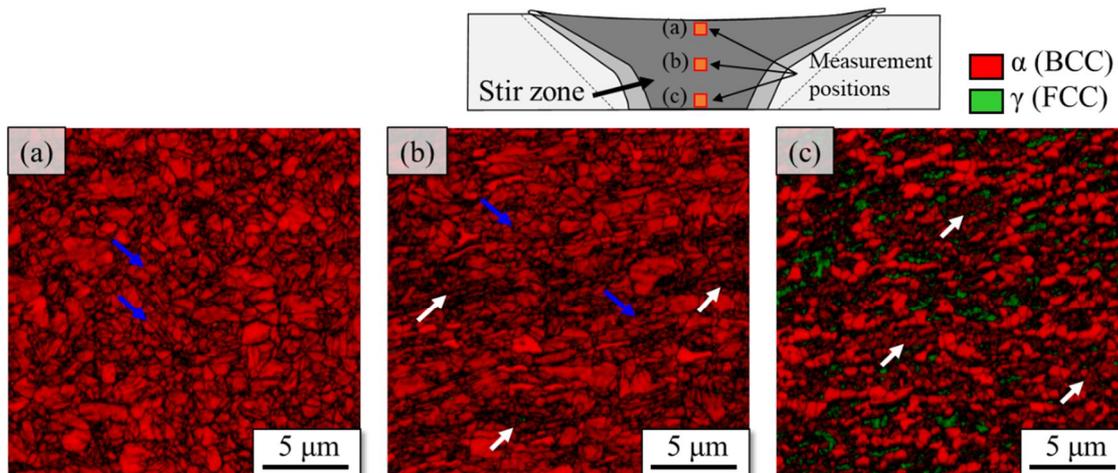


Fig. 3 ツール回転数 100 rpm、接合速度 100 mm/min で FSW した中 Mn 鋼の接合部における相マップ+IQ マップ: (a)表面側、(b)板厚中心、(c)裏面側 図中の青矢印と白矢印はそれぞれ冷却中に生じたフレッシュな α' と加工誘起 α' を指し示している

Fig. 4a に BM 材および FSW 材の公称応力 - 公称ひずみ曲線を示す。BM 材は中 Mn 鋼特有のリューダース伸びを生じ、800 MPa 程度の引張強度と 35%程度の全伸びを示した。FSW 材はいずれもリューダース伸びは示さず、1500 MPa 以上の非常に高い引張強度を有していたが、全伸びは 10%以下であった。引張強度、均一伸び、全伸びのいずれの機械的特性も比較的低温で FSW した FSW200 の方が優れた値を示した。Fig. 4b に加工硬化率と真応力を真ひずみに対してプロットした結果を示す。BM 材では 10%以上の真ひずみにおいて加工硬化率の急激な変化が複数回見られた。これは Portevin-Le Chatelier バンドと呼ばれる不均一変形に起因したものであると示唆される^{2,3)}。FSW 材は変形初期において高い加工硬化率を示すが、ひずみの増大に伴いその値は急激に減少した。FSW200 では変形後期における加工硬化率が FSW250 よりも高い値を示して

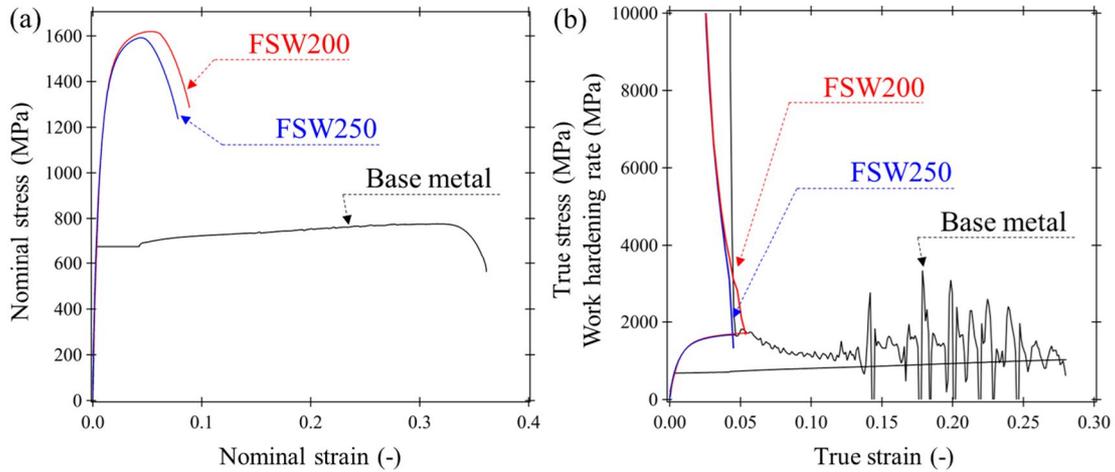


Fig. 4 BM 材および FSW 材の(a)公称応力 - 公称ひずみ曲線と(b)加工硬化曲線

いた。この加工硬化挙動の差が FSW200 と FSW250 の機械的特性に差異をもたらしたと予想される。

Fig. 5 に FSW200 および FSW250 から得た変形中の中性子回折ピークプロファイルをまとめて示す。いずれの試料も変形前には γ に起因したピークが見られたが、ひずみの増大に伴いピークは弱くなり、3.6% ひずみ以降ではバックグラウンドとほぼ区別がつかなくなった。次に BM 材および FSW 材の各ピークプロファイルから得られた γ 相分率を真ひずみに対してプロットした結果を Fig. 6 に示す。BM 材はリュウダース変形が生じると大幅に残留 γ 量が減少した。その後の加工硬化を伴う塑性変形中では、残留 γ 量は真ひずみの増加に伴い徐々に減少した。引張強度に到達した段階で 3% 程度の γ は変態せずに残存していた。BM 材の優れた全伸びの発現は TRIP 効果

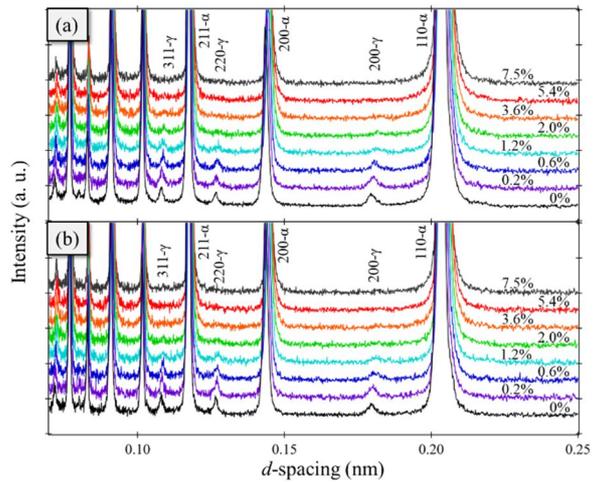


Fig. 5 変形中の中性子回折ピークプロファイルの変化: (a) FSW200、(b) FSW250

によるものであると示唆される。一方、FSW 材の中性子照射領域における平均残留 γ 量は 6-7% 程度であった。弾性限を超えると残留 γ 量は減少しはじめ、4% ひずみまでにほぼ全ての γ は変態していた。そのため、変形後期では TRIP 効果としての延性改善効果はあまり期待できないと示唆される。FSW200 材では FSW250 材よりも引張強度と変形後期の加工硬化能が優れていた。これは変形中に形成した加工誘起 α' と母相 α または α' 間における応力分配が影響している可能性があり、今後、FSW 材間の相間の応力分配挙動を詳細に検討する必要がある。加えて、検出限界以下の微量 γ が TRIP 効果として寄与していた可能性も考えられるため、今後より詳細な解

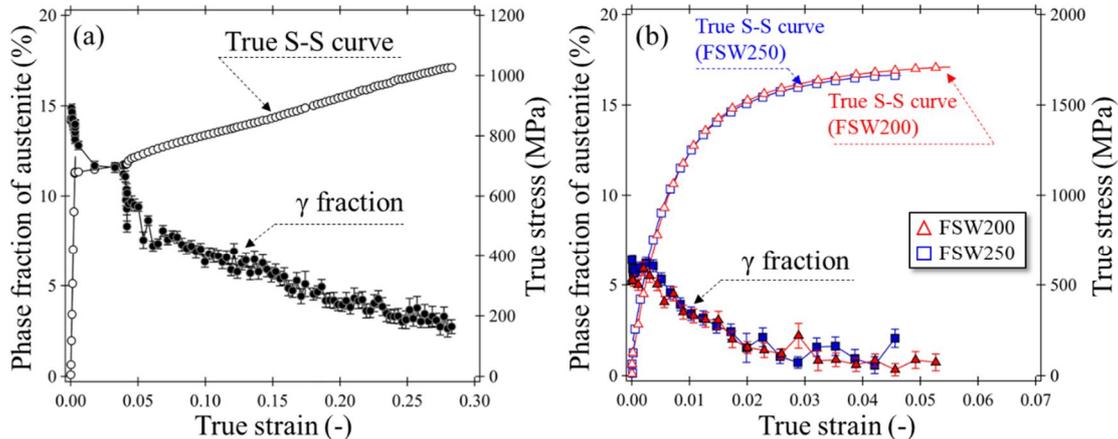


Fig. 6 真ひずみに対する残留 γ 量の変化: (a) BM 材、(b) FSW 材

析も必要である。

Fig. 7 に各構成相の担う強度を真ひずみに対してプロットした結果を示す。なお、各構成相の担う強度は、格子ひずみの変化から導出できる相応力を各相の体積率で重み付けした値である。

なお、FSW200 材の α' の相応力は変形前から存在していた α' と加工誘起 α' を区別せずに算出した。このグラフでは、各解析点において巨視的な印加応力に対して各相がどの程度の応力を担っていたかを評価でき、各構成相の応力の和が真応力と等しければ妥当な解析が行えていることを表している。BM 材と FSW200 材のいずれにおいても各構成相の応力の和は真応力とほぼ等しく妥当な解析結果であると示唆される。BM 材のリューダース変形中では α と γ のいずれも強度に寄与していたが、リューダース変形後では γ の強度への寄与は著しく小さくなった。加工硬化を伴う塑性変形中では α の担う強度はひずみの増大に対して徐々に増加するのに加えて、 α' の担う強度が大きく増大していた。そのため、BM 材の強度は α の加工硬化と α' 量の増大により発現したと示唆される。FSW200 材では弾性域では α と α' の区別が困難であり、各相の担う強度は正確に算出できていないと示唆される。塑性変形の開始後では α の担う強度はひずみが増大してもほぼ定常であるのに対し、 α' の担う強度は徐々に増加していた。 γ は相分率が少なく強度にはほとんど寄与していなかった。FSW200 材の加工硬化は主に変形前から存在していた α' の加工硬化と加工誘起 α' の形成によるものであると予想される。

本研究により、中 Mn 鋼に対する FSW では、非常に強度の高い接合部が得られることが明らかとなった。その接合部の強度の発現は変形前から存在していた α' と加工誘起 α' が重要な役割を担っていると予想された。しかし、本研究で実施した接合条件の範囲内では、接合部において変形に対する安定性の高い γ を得ることは困難であった。TRIP 効果を接合部において積極的に活用するためには、より低温で FSW を施す必要がある。FSW を前提とした合金設計をするのであれば、中 Mn 鋼において最も γ を残存させやすい $\alpha + \gamma$ 二相域温度が FSW を施工できる温度範囲となるようにすることで TRIP 効果を活用可能な接合部が実現できると予想される。そのため、今後の展望として、合金元素量と添加元素を変化させた中 Mn 鋼に対して FSW を施し、その接合部の γ の相安定性の評価を行うことが望ましいと考える。

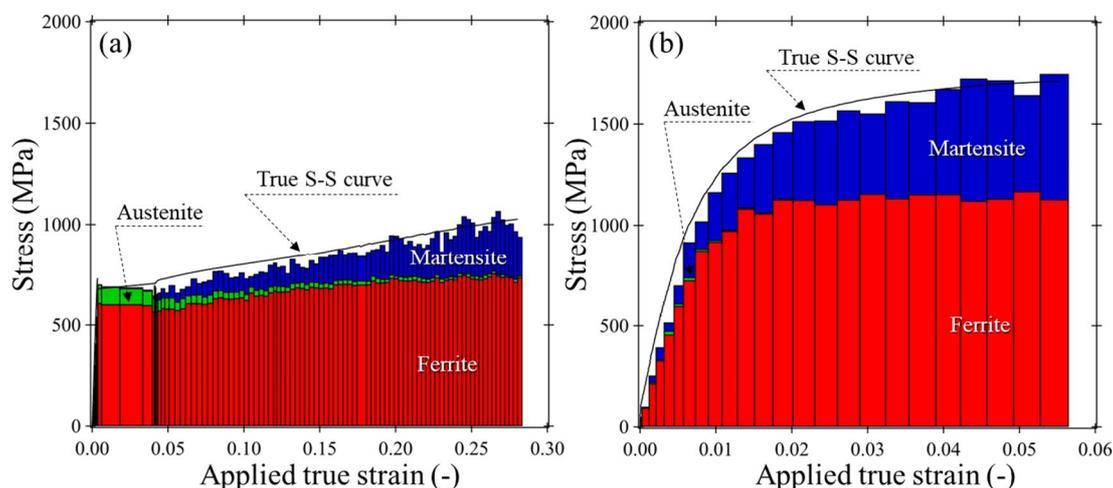


Fig. 7 各構成相の変形中の強度に対する寄与の変化：(a)BM 材、(b)FSW200 材

< 参考文献 >

- 1) R. L. Miller: Metall. Trans., 3(1972), 905-912.
- 2) T. P. Zhou, C. Y. Wang, C. Wang, W.Q. Cao, and Z. J. Chen: Mater. Sci. Eng. A, 798(2020), 140147.
- 3) 山下享介, 諸岡聡, ゴンウー, 川崎卓郎, ハルヨステファヌス, 北條智彦, 興津貴隆, 藤井英俊: 鉄と鋼, 110(2024), 241-251.
- 4) E. P. Kwon, S. Fujieda, K. Shinoda and S. Suzuki: Mater. Sci. Eng. A, 528 (2011), 5007-5017.
- 5) T. Yamashita, K. Ushioda, and H. Fujii: ISIJ int., 63(2023), 1747-1757.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Yamashita Takayuki, Ushioda Kohsaku, Fujii Hidetoshi	4. 巻 108
2. 論文標題 Inhomogeneity of Microstructure along the Thickness Direction in Stir Zone of Friction Stir Welded Duplex Stainless Steel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tetsu-to-Hagane	6. 最初と最後の頁 966 ~ 978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2022-037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Harjo Stefanus, Gong Wu, Kawasaki Takuro, Morooka Satoshi, Yamashita Takayuki	4. 巻 62
2. 論文標題 Revisit Deformation Behavior of Lath Martensite	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 1990 ~ 1999
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2022-207	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Koyama Motomichi, Yamashita Takayuki, Morooka Satoshi, Yang Zhipeng, Varanasi Rama Srinivas, Hojo Tomohiko, Kawasaki Takuro, Harjo Stefanus	4. 巻 62
2. 論文標題 Hierarchical Deformation Heterogeneity during Luders Band Propagation in an Fe-5Mn-0.1C Medium Mn Steel Clarified through in situ Scanning Electron Microscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 2043 ~ 2053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2022-098	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Koyama Motomichi, Yamashita Takayuki, Morooka Satoshi, Yang Zhipeng, Varanasi Rama Srinivas, Hojo Tomohiko, Kawasaki Takuro, Harjo Stefanus	4. 巻 110
2. 論文標題 Hierarchical Deformation Heterogeneity during Luders Band Propagation in an Fe-5Mn-0.1C Medium Mn Steel Clarified through in situ Scanning Electron Microscopy	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Tetsu-to-Hagane	6. 最初と最後の頁 205 ~ 216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2023-052	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamashita Takayuki, Harjo Stefanus, Kawasaki Takuro, Morooka Satoshi, Gong Wu, Fujii Hidetoshi, Tomota Yo	4. 巻 64
2. 論文標題 Martensitic Transformation Behavior of Fe-Ni-C Alloys Monitored by In-situ Neutron Diffraction during Cryogenic Cooling	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 192 ~ 201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2023-208	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Toramoto Riki, Yamashita Takayuki, Ushioda Kohsaku, Omura Tomohiko, Fujii Hidetoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Hydrogen Embrittlement Susceptibility of Linear Friction Welded Medium Carbon Steel Joints	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2024-016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamashita Takayuki, Ushioda Kohsaku, Fujii Hidetoshi	4. 巻 63
2. 論文標題 Inhomogeneity of Microstructure along the Thickness Direction in Stir Zone of Friction Stir Welded Duplex Stainless Steel	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 1747 ~ 1757
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2023-192	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 摩擦攪拌接合された二相ステンレス鋼攪拌部の微視組織と変形挙動の関係
3. 学会等名 2022年度溶接学会春季全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 陳軾銘, 山下享介, 潮田浩作, 藤井英俊
2. 発表標題 0.6 C 高強度 TRIP 鋼の摩擦攪拌接合
3. 学会等名 2022年度溶接学会秋季全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川久保 拓海, 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊, 柳樂 知也, 中村 照美, ゴン ウー, 川崎 卓郎, ハルヨ ステファヌス
2. 発表標題 耐候性厚鋼板を用いた線形摩擦接合継手の残留応力
3. 学会等名 2022年度溶接学会秋季全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 摩擦攪拌接合された中Mn鋼攪拌部の微視組織の不均一性
3. 学会等名 2022年度溶接学会秋季全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 中Mn鋼の摩擦攪拌接合部に形成された微視組織の不均一性
3. 学会等名 日本金属学会 2022年秋期 第171回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川久保 拓海, 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊, 柳樂 知也, ハルヨ ステファヌス
2. 発表標題 耐候性厚鋼板を用いた線形摩擦接合継手の残留応力
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第184回秋期講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山 元道, 北條 智彦, 山下 享介, 諸岡 聡, 川崎 卓郎, ハルヨ ステファヌス
2. 発表標題 中Mn鋼におけるリューダース変形挙動のマルチスケール解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第184回秋期講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 諸岡 聡, 川崎 卓郎, ハルヨ ステファヌス, 山下 享介, 小山 元道, 澤口 孝宏
2. 発表標題 中性子回折法によるその場測定を用いた5Mn-0.1C鋼の低温挙動解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第184回秋期講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊, ゴン ウー, ハルヨ ステファヌス, 川崎 卓郎, 諸岡 聡
2. 発表標題 その場中性子回折法による摩擦攪拌接合した二相ステンレス鋼攪拌部構成相の変形挙動解析
3. 学会等名 日本金属学会 2023年春期 第173回講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 虎本陸希、山下享介、潮田浩作、藤井英俊
2. 発表標題 線形摩擦接合した中炭素鋼継手の水素脆化挙動
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第185回春季講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 2相ステンレス鋼の摩擦攪拌接合攪拌部における微細組織の不均一性と形成機構
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第182回秋季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下 享介, 諸岡 聡, 川崎 卓郎, ハルヨ ステファヌス
2. 発表標題 その場中性子回折法による中Mn鋼の低温変形挙動解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第182回秋季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 摩擦攪拌接合された2相ステンレス鋼の板厚方向に沿った微細組織の不均一性
3. 学会等名 溶接学会 2021年度秋季全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 摩擦攪拌接合された二相ステンレス鋼攪拌部の引張特性
3. 学会等名 日本金属学会 2022年春期第170回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 虎本 陸希, 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 線形摩擦接合した鋼継手の水素脆化感受性に及ぼす炭素量依存性
3. 学会等名 2023年度溶接学会秋季全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊, ゴン ウー, ハルヨ ステファヌス, 川崎 卓郎
2. 発表標題 引張変形中その場中性子回折法を利用した摩擦攪拌接合した中Mn鋼攪拌部の変形挙動解析
3. 学会等名 2023年度溶接学会秋季全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 陳軾銘, 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 摩擦攪拌接合した0.6C高強度TRIP鋼の微細組織と引張特性
3. 学会等名 2023年度溶接学会春季全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 虎本 陸希, 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 線形摩擦接合した中炭素鋼継手の水素脆化感受性
3. 学会等名 2023年度溶接学会春季全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊, ゴンウー, ハルヨステファヌス, 川崎 卓郎, 諸岡 聡
2. 発表標題 その場中性子回折法を利用した摩擦攪拌接合された二相ステンレス鋼攪拌部の引張変形挙動解析
3. 学会等名 2023年度溶接学会春季全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小山 元道, 山下 享介, 諸岡 聡, 北條 智彦
2. 発表標題 Fe-5Mn-0.1C中Mn鋼のリュウダース変形における階層的塑性変形
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第186回秋期講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 虎本 陸希, 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 SUS316Lにおける線形摩擦接合部の組織形成機構と耐水素脆化特性
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第186回秋期講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下 享介, 潮田 浩作, 藤井 英俊, ゴン ウー, ハルヨ ステファヌス, 川崎 卓郎
2. 発表標題 摩擦攪拌接合した中Mn銅攪拌部の変形挙動と残留オーステナイトの安定性
3. 学会等名 日本金属学会 2023年第173回秋期講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takayuki Yamashita, Riki Toramoto, Motomichi Koyama, Kohsaku Ushioda, Hidetoshi Fujii
2. 発表標題 Deformation and Martensitic Transformation Behavior in Stir Zone of Friction Stir Welded Fe-Ni-Co Invar Alloy
3. 学会等名 3rd International Symposium on Design & Engineering by Joint Inverse Innovation for Materials Architecture -DEJ12MA 2023-,
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下 享介, ゴン ウー, 小山 元道, 川崎 卓郎, ハルヨ ステファヌス, 潮田 浩作, 藤井 英俊
2. 発表標題 スーパーインバー合金の摩擦攪拌接合攪拌部の微視組織と機械的特性
3. 学会等名 日本金属学会 2024年第174回秋期講演大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------