

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5754569号
(P5754569)

(45) 発行日 平成27年7月29日(2015.7.29)

(24) 登録日 平成27年6月5日(2015.6.5)

(51) Int.Cl.			F I		
C 2 2 C	1/08	(2006.01)	C 2 2 C	1/08	A
B 2 3 K	20/12	(2006.01)	B 2 3 K	20/12	3 6 0
B 2 2 F	3/11	(2006.01)	B 2 2 F	3/11	B
			B 2 3 K	20/12	3 6 4
			B 2 3 K	20/12	3 3 0

請求項の数 15 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2011-536158 (P2011-536158)	(73) 特許権者	504145364 国立大学法人群馬大学 群馬県前橋市荒牧町四丁目2番地
(86) (22) 出願日	平成22年10月13日(2010.10.13)	(73) 特許権者	599016431 学校法人 芝浦工業大学 東京都江東区豊洲3丁目7番5号
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/067979	(74) 代理人	110000925 特許業務法人信友国際特許事務所
(87) 国際公開番号	W02011/046152	(72) 発明者	半谷 禎彦 群馬県桐生市天神町一丁目5番1号 国立 大学法人群馬大学内
(87) 国際公開日	平成23年4月21日(2011.4.21)	(72) 発明者	宇都宮 登雄 東京都江東区豊洲3丁目7番5号 学校法 人芝浦工業大学内
審査請求日	平成25年9月20日(2013.9.20)		
(31) 優先権主張番号	特願2009-237447 (P2009-237447)		
(32) 優先日	平成21年10月14日(2009.10.14)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造方法、並びに傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

熱処理を施すことにより金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を、前記金属部材の材料組成を異ならせて複数種形成する工程と、

前記発泡金属前駆体を形成する工程と同時に、又は後に、前記複数種の発泡金属前駆体を摩擦攪拌接合する工程と、

を含む傾斜機能材料前駆体の製造方法。

【請求項2】

前記複数種の発泡金属前駆体のうち少なくとも1つは、

発泡剤と前記発泡剤を挟持して積層される一对の金属板とからなる積層体を形成する工程と、

前記積層体の所望の面から摩擦攪拌接合を行うことにより、前記発泡剤を前記金属板内に拡散させて、前記一对の金属板を接合する工程と、

から形成される請求項1に記載の傾斜機能材料前駆体の製造方法。

【請求項3】

前記複数種の発泡金属前駆体のうち少なくとも1つは、

所望の熔融金属材料を金型に圧入する工程と、

前記金型から取り出した金属部材を、摩擦攪拌することにより前記金属部材内部に混入されたガス及び気孔形成核を前記金属部材内部で均一に分散する工程と、

から形成される請求項1に記載の傾斜機能材料前駆体の製造方法。

10

20

【請求項 4】

前記複数種の発泡金属前駆体を摩擦攪拌接合する工程において、所望の材料組成からなる緻密金属部を前記複数種の積層体のうち一部又は全部に、摩擦攪拌接合する

請求項 1 に記載の傾斜機能材料前駆体の製造方法。

【請求項 5】

熱処理を施すことにより金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を形成する工程と、

前記発泡金属前駆体を形成する工程と同時に、又は後に、前記発泡金属前駆体と前記金属部材の材料組成とは異なる材料組成からなる緻密金属部とを摩擦攪拌接合する工程と、
を含む傾斜機能材料前駆体の製造方法。

10

【請求項 6】

前記発泡金属前駆体は、

発泡剤と前記発泡剤を挟持して積層される一对の金属板とからなる積層体を形成する工程と、

前記積層体の所望の面から摩擦攪拌接合を行うことにより、前記発泡剤を前記金属板内に拡散させると同時に前記一对の金属板を接合する工程と、

から形成される請求項 5 記載の傾斜機能材料前駆体の製造方法。

【請求項 7】

前記発泡金属前駆体は、

所望の熔融金属材料を金型に圧入する工程と、

前記金型から取り出した金属部材を、摩擦攪拌することにより前記金属部材内部に混入されたガス及び気孔形成核を前記金属部材内部で均一に分散する工程と、

から形成される請求項 5 記載の傾斜機能材料前駆体の製造方法。

20

【請求項 8】

熱処理を施すことにより金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を、前記金属部材の材料組成を異ならせて複数種形成する工程と、

前記発泡金属前駆体を形成する工程と同時に、又は後に、前記複数種の発泡金属前駆体を摩擦攪拌接合することにより、傾斜機能材料前駆体を形成する工程と、

前記傾斜機能材料前駆体を熱処理することにより、前記発泡金属前駆体の内部を発泡させて発泡金属部を形成する工程と、

を含む傾斜機能材料の製造方法。

30

【請求項 9】

熱処理を施すことにより金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を形成する工程と、

前記発泡金属前駆体を形成する工程と同時に、又は後に、前記発泡金属前駆体と前記金属部材の材料組成とは異なる材料組成からなる緻密金属部とを摩擦攪拌接合することにより傾斜機能材料前駆体を形成する工程と、

前記傾斜機能材料前駆体を熱処理することにより、前記発泡金属前駆体の内部を発泡させて発泡金属部を形成する工程と、

を含む傾斜機能材料の製造方法。

40

【請求項 10】

熱処理を施すことにより、金属部材の内部に複数の気孔が生じる一の発泡金属前駆体と、

前記発泡金属前駆体とは材料組成が異なる一種、又は複数種の他の発泡金属前駆体とが互いに摩擦攪拌接合して一体に形成された

傾斜機能材料前駆体。

【請求項 11】

さらに、前記一の発泡金属前駆体及び前記他の発泡金属前駆体の一部又は全部に摩擦攪拌接合して形成された緻密金属部

を有する請求項 10 に記載の傾斜機能材料前駆体。

50

【請求項 1 2】

熱処理を施すことにより、金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体と、前記発泡金属前駆体とは異なる材料組成を有し、前記発泡金属前駆体の所望の面に摩擦攪拌接合して形成された緻密金属部と、
を有する傾斜機能材料前駆体。

【請求項 1 3】

熱処理を施すことにより金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を前記金属部材の材料組成を異ならせて複数種形成し、前記発泡金属前駆体を形成すると同時に、又は後に、前記複数種の発泡金属前駆体を摩擦攪拌接合することにより、傾斜機能材料前駆体を形成し、前記傾斜機能材料前駆体を熱処理することにより、前記発泡金属前駆体の内部を発泡させて形成された発泡金属部を有する
傾斜機能材料。

10

【請求項 1 4】

請求項 1 3 において、前記発泡金属部の所望の面に緻密金属部が接合されている傾斜機能材料。

【請求項 1 5】

熱処理を施すことにより金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を形成し、前記発泡金属前駆体を形成すると同時に、又は後に、前記発泡金属前駆体と前記金属部材の材料組成とは異なる材料組成からなる緻密金属部とを摩擦攪拌接合することにより傾斜機能材料前駆体を形成し、前記傾斜機能材料前駆体を熱処理することにより、前記発泡金属前駆体の内部を発泡させて形成された発泡金属部を有する
傾斜機能材料。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、材料組成、若しくは、材料組成及び気孔率が連続的、又は段階的に変化するよう形成された傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造方法と、その製造方法で製造された傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料に関する。

【背景技術】

【0002】

発泡金属に代表されるポーラスアルミニウムは、軽量性と優れた衝撃エネルギー吸収特性を併せ持った多機能な素材であり、今後、自動車の燃費向上と衝突安全性向上の両立が可能な高機能素材として期待されている。

30

【0003】

ポーラスアルミニウムの作製方法は、数多く提案されており、その代表的なものとして、プリカーサ法がある（非特許文献 1）。プリカーサ法とは、アルミニウム母材中に、あらかじめ発泡剤粉末を混合した、プリカーサ（発泡金属前駆体）と呼ばれるものを作製する方法である。プリカーサ法においては、プリカーサ形成後、このプリカーサを加熱することで発泡剤を分解してガスを発生させ、このガスの発生によりアルミニウム母材を膨張させてポーラス化する。これにより、ポーラスアルミニウムが完成される。

40

【0004】

また、プリカーサを作製するプリカーサ法としては、粉末法（非特許文献 2、特許文献 1、2）と圧延接合法（非特許文献 3、特許文献 3）とがある。

【0005】

粉末法は、母材粉末と発泡剤粉末とを均一になるまで混合し、さらに、得られた混合粉末に熱間押出や熱間圧延などの操作を施すことにより固化させてプリカーサとする方法である。

【0006】

圧延接合法は、母材である板材を複数用意し、この板材の間に発泡剤を挟み、所定の圧下率、例えば 50% で圧延して板材を接合し、さらに、この圧延工程を繰り返して板材中

50

に発泡剤を均一に分散させることで、プリカーサとする方法である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】ドイツ特許出願公開第1048360号明細書

【特許文献2】ドイツ特許出願公開第4101630号明細書

【特許文献3】特許第3895292号公報

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】J.Banhart, Manufacture, characterization and application of cellular metals and metal foams. Progress in Materials Science, 2001.46(6):pp559-632 10

【非特許文献2】F.Baumgartner, I.Duarte and J.Banhart, Industrialization of powder compact foaming process. Advanced Engineering Materials, 2000.2(4):pp168-174

【非特許文献3】K.Kitazono, E.Sato, and K.Kuribayashi, Novel manufacturing process of closed-cell aluminum foam by accumulative roll-bonding. Scripta Materialia, 2004.59(4):pp495-498.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、上述した粉末法は、母材の粉末の価格が一般に流通している板材などの材料と比較して高いこと、母材がアルミニウム合金の粉末である場合、粉末の表面に酸化被膜が存在するため十分に緻密なプリカーサを製造することが困難である等の問題点がある。 20

【0010】

圧延接合法は、安価な板材を使用でき、既存の圧延設備を使用できるという長所はあるものの、圧延によって板材を接合するために、焼鈍や接合面の表面処理などの前処理が必要であること、及び圧延前後で熱処理が必要であること等の問題点がある。

【0011】

一方、ポーラスアルミニウムは、更なる用途の拡大の為に、傾斜機能性が付与されることが望まれる。例えば、表面は耐食性に優れ、内部は高強度といったように、ポーラスアルミニウム内で材料の機能を傾斜的に変化させることができれば、自動車を始め、航空宇宙、鉄道車両、医療機械、建築部材、産業用機械等に用いられる部材として、より高機能化が実現できる。 30

【0012】

上述の点に鑑み、本発明は、低コストで品質の安定性に優れ、材料組成が傾斜化した傾斜機能材料前駆体、及びその製造方法を提供する。さらに、材料組成、若しくは、材料組成及び気孔率が傾斜化され、高機能化が図られた傾斜機能材料、及びその製造方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記課題を解決し、本発明の目的を達成するため、本発明の傾斜機能材料前駆体の製造方法は、熱処理を施すことにより、金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を、金属部材の材料組成を異ならせて複数種形成する工程を有する。また、発泡金属前駆体を形成する工程と同時に、又は後に、複数種の発泡金属前駆体を摩擦攪拌接合する工程を有する。 40

【0014】

また、本発明の傾斜機能材料前駆体の製造方法は、熱処理を施すことにより、金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を形成する工程を有する。また、発泡金属前駆体を形成する工程と同時に、又は後に、金属部材の材料組成とは異なる材料組成からなる緻密金属部と発泡金属前駆体を摩擦攪拌接合する工程を有する。 50

【0015】

本発明の傾斜機能材料前駆体の製造方法によれば、組成材料の異なる発泡金属前駆体同士、又は発泡金属前駆体と緻密金属部が一体化された傾斜機能材料前駆体が形成される。

【0016】

また、本発明の傾斜機能材料の製造方法は、熱処理を施すことにより、金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を、金属部材の材料組成を異ならせて複数種形成する工程を有する。また、発泡金属前駆体を形成する工程と同時に、又は後に、複数種の発泡金属前駆体を摩擦攪拌接合することにより、傾斜機能材料前駆体を形成する工程を有する。また、傾斜機能材料前駆体を熱処理することにより、発泡金属前駆体の内部を発泡させて発泡金属部を形成する工程を有する。

10

【0017】

また、本発明の傾斜機能材料の製造方法は、熱処理を施すことにより、金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を形成する工程と、発泡金属前駆体を形成する工程と同時に、又は後に、金属部材の材料組成とは異なる材料組成からなる緻密金属部と発泡金属前駆体を摩擦攪拌接合することにより傾斜機能材料前駆体を形成する工程を有する。また、傾斜機能材料前駆体を熱処理することにより、発泡金属前駆体の内部を発泡させて発泡金属部を形成する工程を有する。

【0018】

本発明の傾斜機能材料の製造方法では、材料組成の異なる発泡金属部同士、又は発泡金属部と緻密金属部が一体化された傾斜機能材料が形成される。これにより、材料組成、若しくは、材料組成及び気孔率が連続的、又は段階的に変化された傾斜機能材料が得られる。

20

【0019】

また、本発明の傾斜機能材料前駆体は、熱処理を施すことにより、金属部材の内部に複数の気孔が生じる一の発泡金属前駆体と、発泡金属前駆体とは材料組成が異なる一種、又は複数種の他の発泡金属前駆体が互いに摩擦攪拌接合して一体に形成されている。

また、本発明の傾斜機能材料前駆体は、熱処理を施すことにより金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体と、発泡金属前駆体とは異なる材料組成を有し、発泡金属前駆体の所望の面に摩擦攪拌接合して形成された緻密金属部とから構成されている。

【0020】

また、本発明の傾斜機能材料は、熱処理を施すことにより金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を金属部材の材料組成を異ならせて複数種形成し、発泡金属前駆体を形成すると同時に、又は後に、複数種の発泡金属前駆体を摩擦攪拌接合することにより傾斜機能材料前駆体を形成し、傾斜機能材料前駆体を熱処理することにより、発泡金属前駆体の内部を発泡させて形成された発泡金属部を有する。

30

また、本発明の傾斜機能材料は、熱処理を施すことにより金属部材の内部に複数の気孔が生じる発泡金属前駆体を形成し、発泡金属前駆体を形成すると同時に、又は後に、発泡金属前駆体と金属部材の材料組成とは異なる材料組成からなる緻密金属部とを摩擦攪拌接合することにより傾斜機能材料前駆体を形成し、傾斜機能材料前駆体を熱処理することにより発泡金属前駆体の内部を発泡させて形成された発泡金属部を有する。

40

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、低コストで品質の安定性に優れ、材料組成が傾斜化した傾斜機能材料前駆体が得られる。また、材料組成、若しくは、材料組成及び気孔率が傾斜化され、高機能化が図られた傾斜機能材料が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】A, B 本発明の第1の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

50

【図 2】A, B 本発明の第 1 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 3】A, B 第 1 の実施形態において、第 1 積層体及び第 2 積層体を構成する金属板の他の例を示す概略構成図である。

【図 4】本発明の第 1 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 5】図 4 の A - A 線上に沿う概略断面構成図である。

【図 6】本発明の第 1 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 7】図 6 の x - x 線上に沿う概略断面構成図である。

10

【図 8】本発明の第 1 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 9】本発明の第 1 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 10】本発明の第 1 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 11】A, B 本発明の第 1 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 12】本発明の第 1 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

20

【図 13】本発明の第 1 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 14】本発明の第 1 の実施形態で製造された傾斜機能材料前駆体の概略斜視図である。

【図 15】本発明の第 1 の実施形態で製造された傾斜機能材料の概略構成図である。

【図 16】A, B 第 1 の実施形態で製造された傾斜機能材料前駆体の外観写真と、それに対応する E P M A での観察結果を示す。

【図 17】A, B 第 1 の実施形態で製造された傾斜機能材料の外観写真と、それに対応する E P M A での観察結果を示す。

【図 18】A, B 変形例 1 における傾斜機能材料前駆体の概略斜視図と、傾斜機能材料の概略構成図である。

30

【図 19】変形例 2 における傾斜機能材料の概略構成図である。

【図 20】A, B 変形例 3 における傾斜機能材料前駆体の概略構成図である。

【図 21】本発明の第 2 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 22】本発明の第 2 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 23】本発明の第 2 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 24】図 23 の x - x 線上に沿う概略断面構成図である。

40

【図 25】本発明の第 2 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図 26】本発明の第 2 の実施形態で製造された傾斜機能材料前駆体の概略斜視図である。

【図 27】本発明の第 2 の実施形態で製造された傾斜機能材料の概略構成図である。

【図 28】A, B 第 2 の実施形態で製造された傾斜機能材料前駆体の外観写真と、要部の拡大写真である。

【図 29】A, B 第 2 の実施形態で製造された傾斜機能材料前駆体の E P M A での観察結果を示す。

【図 30】A, B, C 第 2 の実施形態で製造された傾斜機能材料の外観写真と、それに

50

対応するE P M Aでの観察結果を示す。

【図3 1】A, B 本発明の第3の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図3 2】本発明の第3の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図3 3】本発明の第3の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造工程を示す概略構成図である。

【図3 4】本発明の第3の実施形態で製造された傾斜機能材料前駆体の概略斜視図である。

【図3 5】本発明の第3の実施形態で製造された傾斜機能材料の概略構成図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本発明の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体、傾斜機能材料、及びその製造方法の一例を、図1～図3 5を参照しながら説明する。本発明の実施形態は以下の順で説明する。なお、本発明は以下の例に限定されるものではない。

1. 第1の実施形態：異種材料からなる傾斜機能材料前駆体、及び傾斜機能材料の例

変形例1：3つの異種材料を用いる例

変形例2：気孔率を変化させる例

変形例3：添加材料を変化させる例

2. 第2の実施形態：緻密金属を接合した傾斜機能材料前駆体、及び傾斜機能材料の例

20

3. 第3の実施形態：ダイカスト材を用いる例

【0024】

1. 第1の実施形態

図1～図1 7を用いて、本発明の第1の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料の製造方法について説明する。

【0025】

まず、図1 Aに示すように、発泡剤3と気孔形態安定剤4を挟持して一对の第1金属板1 a, 1 bを積層し、図2 Aに示す第1積層体7を形成する。同様にして、発泡剤3と気孔形態安定剤4を挟持して、第1金属板1 a, 1 bとは異なる材料組成からなる一对の第2金属板2 a, 2 bを積層し、図2 Bに示す第2積層体8を形成する。

30

【0026】

第1金属板1 a, 1 b及び第2金属板2 a, 2 bとしては、アルミニウム及びその合金、マグネシウム及びその合金、チタン及びその合金、鉄および鉄鋼材料、銅および銅合金などのいずれかを用いることができる。そして、このとき、第1積層体7を構成する第1金属板1 a, 1 bと第2積層体8を構成する第2金属板2 a, 2 bとは異なる材料組成で構成する。

【0027】

本実施形態例では、第1金属板1 a, 1 bとして、純度99.5%のアルミニウム(JIS規格:A1050)の圧延板を用いた。また、第2金属板2 a, 2 bとして、材料組成がアルミニウム(Al)と珪素(Si)とマグネシウム(Mg)を主成分とするアルミニウム合金(JIS規格:A6061)の圧延板を用いた。また、本実施形態例の第1金属板1 a, 1 b及び第2金属板2 a, 2 bは、長さ210mm、幅80mm、厚さ3mmの圧延板とした。本実施形態例では、一对の第1金属板1 a, 1 b、又は一对の第2金属板2 a, 2 bをそれぞれ同じ厚みとしたが、異なる厚みとしてもよい。

40

【0028】

発泡剤3には、第1金属板1 a, 1 bや、第2金属板2 a, 2 bに悪影響を与えないようなものであれば特に制限はなく、例えば、水素化チタン、水素化ジルコニウム、炭酸カルシウムなどの無機系発泡剤や、アゾ化合物、ヒドラジン誘導体等の有機系発泡剤を用いることができる。

また、気孔形態安定剤4にはアルミナ、炭化珪素、二酸化珪素などを用いることができ

50

る。

【0029】

本実施形態例では、発泡剤3として粒径が45 μ mよりも小さい水素化チタン(TiH_2)の粉末を用い、気孔形態安定剤4には平均粒径が1 μ mのアルミナ(Al_2O_3)を用い、2枚の第1金属板1a, 1b間、及び2枚の第2金属板2a, 2b間に散布した。散布領域は、後述する摩擦攪拌接合(FSW: Friction Stir Welding)の工程で、摩擦攪拌工具が通る個所とされている。発泡剤3及び気孔形態安定剤4の散布量は、これらの粉末を散布した面積に後述する摩擦攪拌工具のプロープの長さ(5mm)をかけた第1金属板1a, 1b(又は第2金属板2a, 2b)の体積分の質量に対して、発泡剤3は1mass%、気孔形態安定剤4は10mass%とした。

10

【0030】

また、第1積層体7及び第2積層体8を形成する場合には、第1積層体7又は第2積層体8を構成する下層の第1金属板1b、第2金属板2bを、図3Aに示すように、発泡剤を収容するための溝部9を有する形状にしてもよい。また、図3Bに示すように、凹陥部10を有する形状としてもよい。

【0031】

次に、第1積層体7と第2積層体8において、図4に示すように、それぞれの一方の面からFSWを行う。FSWは、接合方法の一つであり、単純かつ高速プロセスで、金属材料内部を攪拌すると同時に接触する複数の金属部材を結合することができる接合方法である。

20

第1積層体7及び第2積層体8におけるFSWはそれぞれ同様の工程にて行われるので、以下の説明では、第1積層体7と第2積層体8におけるFSWを同時に説明する。

【0032】

FSWは、円柱状の本体5bと、本体の先端に取り付けられた棒状のプロープ5aとから構成される摩擦攪拌工具5によって実施される。本体5b及びプロープ5aを矢印bで示すように所定の回転数で回転させながら、本体5b及びプロープ5aを矢印aで示す方向に押圧することで、第1積層体7(第2積層体8)の一方の面の一端にプロープ5aを貫入させる。そして、矢印cで示すように第1積層体7(第2積層体8)の他端に向かって本体5b及びプロープ5aを移動させる。

30

【0033】

図5は、図4のA-A線上に沿う断面を示した概略構成図である。図5において、実線は摩擦攪拌工具5のプロープ5aを第1積層体7(第2積層体8)に接触させた状態を示し、二点鎖線は、第1積層体7(第2積層体8)に押圧してプロープ5aを貫入させた状態を示している。図5に示すように、プロープ5aは第1積層体7の2枚の第1金属板1a, 1bの接合面を貫通して、下層の第1金属板1bに達する深さに貫入する。

【0034】

本実施形態例のFSWでは、日立設備エンジニアリング株式会社製(品名: SHH204-720)のFSW装置を用いた。また、本実施形態例では、SKH51高速度工具鋼(JIS規格)製で、円柱状の本体5bの径が17mm、プロープ5aの径が6mm、プロープ5aの長さが5mmの摩擦攪拌工具5を用いた。そして、本実施形態例では、第1積層体7の摩擦攪拌工程では、摩擦攪拌工具5の回転速度を2200rpm、移動速度を100mm/min、前進角を3 $^{\circ}$ とした。また、第2積層体8の摩擦攪拌工程では、摩擦攪拌工具5の回転速度を1000rpm、移動速度を100mm/min、前進角を3 $^{\circ}$ とした。

40

【0035】

図6は、第1積層体7(第2積層体8)の一端から他端にかけてFSWを行ったときの概略構成図である。また、図7は、図6のx-x上に沿う概略断面構成であり、FSWを行った時の第1積層体7(第2積層体8)の内部の様子を示したものである。FSWを行うことにより、第1積層体7(第2積層体8)と、摩擦攪拌工具5との間に摩擦熱が発生し、摩擦攪拌された部分には攪拌部6が形成される。この場合、実際には、本体5bと金

50

属板の表面で摩擦熱が発生され、プローブ5 aによって攪拌される。そして、攪拌部6においては2枚の第1金属板1 a, 1 b(第2金属板2 a, 2 b)と発泡剤3及び気孔形態安定剤4(図1参照)が均一に混合されると同時に、2枚の第1金属板1 a, 1 b(第2金属板2 a, 2 b)が接合される。これにより、第1積層体7は、第1金属板1 a, 1 b内に発泡剤3及び気孔形態安定剤4が混入された第1発泡金属前駆体1 1とされ、第2積層体8は、第2金属板2 a, 2 b内に発泡剤3及び気孔形態安定剤4が混入された第2発泡金属前駆体1 2とされる。

【0036】

本実施形態例では、図8に示すように、摩擦攪拌工具5のプローブ5 aの直径分を摩擦攪拌の走査方向と直交する方向(紙面右側から左側に向かう方向)にずらしながら合計4回(4列分)の摩擦攪拌を行った。さらに、図9に示すように、一度摩擦攪拌を行った同一箇所に対して走査方向を逆転させて攪拌を行い、一回目とは反対の方向(紙面左側から右側に向かう方向)にずらしながら摩擦攪拌を行った。また、本実施形態例では第2積層体8においてのみ、さらに、図8~図9における摩擦攪拌を同一箇所において、再度行った。このように、本実施形態例では、攪拌工程を同一箇所において複数回実施するマルチパス法を用いた。マルチパス法を用いることにより、発泡剤3や気孔形態安定剤4がより均一に第1金属板1 a, 1 b(第2金属板2 a, 2 b)内に拡散され、図10に示すように、一個所に対して所望の回数ずつFSWが施された第1発泡金属前駆体1 1(第2発泡金属前駆体1 2)が形成された。

【0037】

本実施形態例のように、走査方向と直交する方向に移動させながら所定回数だけ摩擦攪拌を繰り返すことにより、広い範囲で第1発泡金属前駆体1 1(第2発泡金属前駆体1 2)が得ることができ、また、同一箇所に対して複数回の摩擦攪拌を繰り返すことで発泡剤が十分に攪拌できる。なお、本実施形態例では、第1積層体7と第2積層体8において、一方の面からFSWを行う例としているが、両面から行ってもよい。

【0038】

次に、図11 A, Bに示すように、第1発泡金属前駆体1 1と、第2発泡金属前駆体1 2のそれぞれを機械加工することにより、摩擦攪拌が施された面(攪拌部6)が端部に露出されるよう調整する。

【0039】

続いて、図12に示すように、第1積層体7の摩擦攪拌が施された面と、第2積層体8の摩擦攪拌が施された面とを接触させて配置し、その接触面に対して、FSWを行う。本実施形態例では、接触面に対するFSWは、摩擦攪拌工具5の回転速度を1000rpm、移動速度を100mm/min、前進角を3°として行った。さらに、接触面に対するFSWにおいてもマルチパス法を用いてもよく、本実施形態例では、図13に示すように、走査方向を逆転させることにより、摩擦攪拌を同一箇所に対して2往復行った。

【0040】

以上の工程により、第1発泡金属前駆体1 1と第2発泡金属前駆体1 2が接合され、その結果、材料組成が傾斜化して変化する傾斜機能材料前駆体1 3が形成された。

【0041】

次に、前述の工程で形成された傾斜機能材料前駆体1 3をその融点近傍の温度にて加熱する。本実施形態例では、図14に示すように、前述までに形成された傾斜機能材料前駆体1 3から第1発泡金属前駆体1 1及び第2発泡金属前駆体1 2の部分がそれぞれ17.5mm×12mm×6mmとなるように切り取り(図13の破線で囲む領域)、35mm×12mm×6mmの傾斜機能材料前駆体1 3とした。本実施形態例における熱処理では、あらかじめ1003Kに温めておいた電気炉(株式会社デンケン製、品名:KDF-S80)に入れ、その温度に保ったまま10分間保持した後電気炉から取り出し、空冷した。

【0042】

そして、上述の熱処理工程により、図15に示すような傾斜機能材料1 4が作製される

10

20

30

40

50

。なお、この熱処理工程では、傾斜機能材料前駆体 1 3 内部の発泡剤 3 が分解され、複数の気孔が生じる。これにより、傾斜機能材料 1 4 では、図 1 5 に示すように複数の気孔 1 7 を有する発泡金属部 1 5 , 1 6 が形成される。本実施形態例では、第 1 積層体 7 を構成する第 1 金属板 1 a , 1 b と第 2 積層体 8 を構成する第 2 金属板 2 a , 2 b とは異なる材料組成であるため、第 1 発泡金属前駆体 1 1 であった領域では、純アルミニウムからなる発泡金属部 1 5 が形成され、第 2 発泡金属前駆体 1 2 であった領域では、アルミニウム合金からなる発泡金属部 1 6 が形成される。これにより、組成材料が傾斜化して形成された傾斜機能材料 1 4 が完成される。また、本実施形態例では、傾斜機能材料前駆体 1 3 において、第 1 発泡金属前駆体 1 1 と第 2 発泡金属前駆体 1 2 の接合部は摩擦攪拌により混合されているため、組成材料の異なる発泡金属部 1 5 , 1 6 の中間領域は、異なる組成が入り交じった状態となる。

10

【 0 0 4 3 】

以上の工程で形成された本実施形態例の傾斜機能材料前駆体 1 3、及び傾斜機能材料 1 4 における組成成分の分布を観察した結果を詳述する。

【 0 0 4 4 】

本実施形態例で得られた傾斜機能材料前駆体 1 3 及び傾斜機能材料 1 4 の材料組成の傾斜化の様子を、第 2 積層体 8 の第 2 金属板 2 a , 2 b に適用されたアルミニウム合金のみに含まれるマグネシウム (M g) 元素の分布により観察した。なお、この観察は、図 1 4 に示す傾斜機能材料前駆体 1 3、及び図 1 5 に示す傾斜機能材料 1 4 の、 F S W の走査方向に垂直な断面に対して行った。

20

【 0 0 4 5 】

断面の観察に際して、傾斜機能材料前駆体 1 3、及び傾斜機能材料 1 4 の観察断面は、研磨紙により研磨した後 (エメリー紙にて 1 2 0 0 番まで研磨)、さらに電解研磨により研磨した。

【 0 0 4 6 】

図 1 6 A に、傾斜機能材料前駆体 1 3 の観察断面の外観写真を示し、図 1 6 B に、電子線マイクロアナライザ (E P M A : Electron Probe Micro-Analysis) で解析した図 1 6 A の観察断面におけるマグネシウム (M g) 分布を示す。また、図 1 7 A に、傾斜機能材料 1 4 の観察断面の外観写真を示し、図 1 7 B に、電子線マイクロアナライザで解析した図 1 7 A 観察断面におけるマグネシウム (M g) 分布を示す。

30

【 0 0 4 7 】

図 1 6 及び図 1 7 では、中心から左側が第 1 積層体 7 で構成される部分で、中心から右側が第 2 積層体 8 で構成される部分である。

【 0 0 4 8 】

図 1 6 A の観察断面では、 F S W に特有な同心円状のオニオンリングが何力所か確認された。図 1 6 B に示す電子線マイクロアナライザの解析では、マグネシウム (M g) 元素をより多く含む部分が白っぽく観察されている。図 1 6 B に示すように、マグネシウム (M g) 元素をより多く含むアルミニウム合金からなる第 2 金属板 2 a , 2 b で構成された第 2 積層体 8 側でマグネシウム (M g) 元素が多く観察された。一方、純アルミニウムからなる第 1 金属板 1 a , 1 b で構成された第 1 積層体 7 側ではマグネシウム (M g) 元素がほとんど観察されなかった。また、電子線マイクロアナライザの解像度の問題からわかりにくいのが、第 1 積層体 7 と第 2 積層体 8 の接合部では、マグネシウム (M g) 元素の存在している個所と、存在しない個所とが複雑に混合していることがわかる。これにより、本実施形態例で形成された傾斜機能材料前駆体では、近似的に右側から左側にかけてマグネシウム (M g) 元素の割合が徐々に変化しているのが観察され、組成が傾斜化していることがわかる。

40

【 0 0 4 9 】

また、図 1 7 A に示すように、本実施形態例で得られた発泡金属部 1 5 , 1 6 からなる傾斜機能材料 1 4 は、第 1 金属板 1 a , 1 b を構成していた純アルミニウムと、第 2 金属板 2 a , 2 b を構成していたアルミニウム合金の継ぎ目が全く見られない。また、図 1 7

50

Bに示すように、傾斜機能材料前駆体13において第1金属板1a, 1bを構成する純アルミニウムであった個所である左側ではマグネシウム(Mg)元素がほとんど観察されない。一方、傾斜機能材料前駆体13において第2金属板2a, 2bを構成するアルミニウム合金であった個所である右側では、マグネシウム(Mg)元素が多く観察された。図17Bにおいても、電子線マイクロアナライザの解像度の問題からわかりにくいですが、第1積層体7と第2積層体8のもともとの継ぎ目部分では、マグネシウム(Mg)元素の割合が徐々に変化しているのが観察され、組成が傾斜化していることがわかる。

【0050】

このように、本実施形態例で形成された傾斜機能材料14では、比較的柔らかい素材である純アルミニウムからなる発泡金属部15と、純アルミニウムよりも硬い素材であるアルミニウム合金からなる発泡金属部16とが傾斜的に接合されている。このように、一つの材料内で機能が傾斜化しているので、本実施形態例の傾斜機能材料14を、例えば自動車部品等に用いる場合には、より高機能化した部品を提供することができる。

10

【0051】

また、本実施形態例によれば、FSWを用いて金属板内に発泡剤を分散させ、発泡金属前駆体を形成することができるため、従来の粉末法や圧延法に比較して、安定した品質を有する発泡金属前駆体を低コストで容易に製造することができる。また、省エネルギーであり、発泡剤が、一对の金属板に挟持された状態で摩擦攪拌されるため、発泡剤が飛散することがなく、作業環境の悪化も少ない。

【0052】

本実施形態例では、第1金属板1a, 1bとして、純アルミニウムを用い、第2金属板2a, 2bとして、アルミニウム合金を用いる例を示した。しかし、本実施形態例の傾斜機能材料前駆体13及び傾斜機能材料14はこれに限られるものではない。第1積層体7を構成する第1金属板1a, 1bと第2積層体8を構成する第2金属板2a, 2bとで材料組成を異ならせることで形成することができ、種々の応用が可能である。

20

【0053】

また、本実施形態例では、第1発泡金属前駆体11及び第2発泡金属前駆体12を形成するためのFSWと第1発泡金属前駆体11と第2発泡金属前駆体12とを接合するためのFSWとを別の工程で行ったが、同時に行うようにしてもよい。この場合には、第1積層体7と第2積層体8とを接触させて配置し、FSWを全面に行うことで第1積層体7及び第2積層体8の内部の攪拌及び接合と、第1積層体7と第2積層体8の接合とを同時に行うことができる。これにより、工程数の低減を図ることが可能である。

30

【0054】

また、本実施形態例では、第1積層体7及び第2積層体8の表面に気孔形態安定剤4であるアルミナ(Al_2O_3)を添加してFSWを行う例とした。これにより、金属部材の粘性が増し、発泡した際に、気孔同士の合体が抑制されるとともに、気孔の浮上による外部へのガスの放出が抑制できる。そして、完成される傾斜機能材料14において気孔の真球度を向上できる。また、気孔形態安定剤4が気孔形成核としても機能するため、気孔率を増大させることができる。なお、本実施形態例では、気孔形態安定剤4を添加する例としたが、必ずしも添加する必要はなく、添加しない場合においても気孔が形成される。

40

【0055】

ところで、本実施形態例で作製される傾斜機能材料に対して、再度熱処理を施すことにより、機械的性質を向上させることができる。例えば、6000系のアルミニウム合金では、熱処理を行うことにより機械的性質が良好になるため、熱処理工程によりポラス化した傾斜機能材料の一部、又は全部を、例えば100 ~ 250の温度で再度熱処理することにより、その機械的性質を向上させることが可能である。傾斜機能材料の一部のみを熱処理する場合には、一つの傾斜機能材料内の一部において、機械的性質を向上させることができ、より傾斜機能性を高めることができる。

【0056】

[変形例1]

50

次に、変形例 1 に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料について図 18 A, B を参照しながら説明する。変形例 1 は、組成材料の異なる積層体を 3 つ接合する例である。図 18 A, B において、図 14 及び図 15 に対応する部分には同一符号を付し重複説明を省略する。

【0057】

図 18 A に示すように、変形例 1 における傾斜機能材料前駆体 40 は、第 1 発泡金属前駆体 11、第 2 発泡金属前駆体 12 に加え、さらに、材料組成の異なる第 3 発泡金属前駆体 42 を接合して構成されている。例えば、第 3 発泡金属前駆体 42 を構成する材料として、耐食性が高いアルミニウム合金 (JIS 規格: A5083) からなる一対の第 3 金属板 41a, 41b を用いる。この場合、第 3 発泡金属前駆体 42 も、第 1 発泡金属前駆体 11 及び第 2 発泡金属前駆体 12 の製造方法と同様に、第 3 金属板 41a, 41b の間に、発泡剤及び気孔形態安定剤を挟持して積層し FSW を行うことで形成することができる。そして、第 1 ~ 第 3 発泡金属前駆体 11, 12, 42 は、図 11 ~ 図 13 の工程と同様に、FSW によりそれぞれの接合面を接合する。

10

【0058】

そして、これらの第 1 ~ 第 3 発泡金属前駆体 11, 12, 42 で構成された傾斜機能材料前駆体 40 を、第 1 の実施形態と同様の方法で熱処理を行うことにより、図 18 B に示すような傾斜機能材料 44 を形成することができる。これにより、本例では、比較的柔らかい素材である純アルミニウムからなる発泡金属部 15 と、純アルミニウムよりも硬い素材であるアルミニウム合金からなる発泡金属部 16 と、耐食性に優れた発泡金属部 43 とからなる傾斜機能材料 44 が構成される。上述したように、本例によれば、1 つの材料に複数の機能を付加することが可能である。

20

【0059】

なお、上述した変形例 1 では、3 種類の異なる材料組成を有する発泡金属部 15, 16, 43 からなる傾斜機能材料 44 を形成する例としたが、3 種以上の発泡金属部で構成することも可能である。また、変形例 1 においても、第 1 の実施形態と同様、第 1 ~ 第 3 発泡金属前駆体 11, 12, 42 を形成するための FSW と第 1 ~ 第 3 発泡金属前駆体 11, 12, 42 とを接合するための FSW とを別の工程で行う例としたが、同時に行うようにしてもよい。

【0060】

30

[変形例 2]

次に、変形例 2 に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料について図 19 を参照しながら説明する。変形例 2 は、材料組成及び気孔率を変化させる例である。図 19 において、図 15 に対応する部分には同一符号を付し重複説明を省略する。

【0061】

変形例 2 は、含有する発泡剤に分布を持たせることにより、気孔率を変化させる例である。図 1 A, B における発泡剤 3 の散布において、第 1 積層体 7 と第 2 積層体 8 で発泡剤 3 の量を変えて構成する。例えば、第 1 積層体 7 では、発泡剤 3 の散布量は、これらの粉末を散布した面積に後述する摩擦攪拌工具のプロープの長さ (5 mm) をかけた体積分の第 1 金属板 1a, 1b の質量に対して、1.0 mass% とし、第 2 積層体 8 では、第 2 金属板 2a, 2b の質量に対して 0.2 mass% とする。

40

これにより、図 19 に示すように、気孔率の異なる発泡金属部 51, 52 が接合された構造を持つ傾斜機能材料 50 が形成される。

【0062】

[変形例 3]

次に、変形例 3 に係る傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料について図 20 A, B を参照しながら説明する。変形例 3 は、傾斜機能材料前駆体及び傾斜機能材料に添加される添加材料に分布を持たせる例である。図 20 A, B において、図 15 に対応する部分には同一符号を付し重複説明を省略する。

【0063】

50

図20Aは、変形例3で形成された傾斜機能材料60の概略構成図である。図20Aは、第1発泡金属部63に強度向上のためのアルミナ61を添加し、第2発泡金属部64に炭化珪素(SiC)62を添加した例である。また、図20Bは、アルミナ61の添加量を10%から0%にまで傾斜して減少するように傾斜機能材料70を構成した例である。このような傾斜機能材料70を形成する場合には、図1A, Bに示す工程において第1積層体7及び第2積層体8における添加剤の散布量を変えればよい。

【0064】

変形例3に示すように、発泡金属部を構成する金属材料の組成のみならず、添加剤の種類や量を変えることによって傾斜機能材料を形成することも可能である。また、変形例3においても、第1の実施形態と同様、各発泡金属前駆体を形成するためのFSWと各発泡金属前駆体とを接合するためのFSWとを別の工程で行うようにしても、同時に行うようにしてもよい。

【0065】

2. 第2の実施形態

次に、図21~図30を用いて、本発明の第2の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体、及び傾斜機能材料の製造方法について説明する。本実施形態例は、発泡金属部の一端に緻密金属部を接合する例である。

【0066】

まず、図21に示すように、2枚の金属板20a, 20bを準備し、それらの金属板20a, 20bの間に粉末状の発泡剤3、及び気孔形態安定剤4を挟持して積層する。これにより図22に示す積層体22を形成する。さらに、その積層体22の下層に緻密金属部21を積層する。金属板20a, 20b、発泡剤3、及び気孔形態安定剤4としては、第1の実施形態と同様の材料を用いることができる。また、緻密金属部21には金属板20a, 20bと異なる材料組成を有する金属材料を用いる。

【0067】

本実施形態例では、2枚の金属板20a, 20bには、純度99.5%のアルミニウム(JIS規格:A1050)からなる、長さ180mm×幅110mmの圧延板を用いた。また、積層体22全体の厚みが、後述する摩擦攪拌工具のプロープの長さ(5mm)となるように、上層の金属板20aの厚みは3mm、下層の金属板20bの厚みは2mmとした。

また、緻密金属部21には、鋼板(JIS規格:SS400)からなる、長さ180mm×幅110mm、厚み3mmの圧延板を用いた。

【0068】

また、本実施形態例では、発泡剤3として粒径が45 μ mよりも小さい水素化チタン(TiH₂)を用い、気孔形態安定剤4として平均粒径が1 μ m程度のアルミナ(-Al₂O₃)の粉末を用い、それらの発泡剤3及び気孔形態安定剤4を2枚の金属板20a, 20bの間に散布した。散布領域は、後述するFSWの工程で、摩擦攪拌工具が通る個所とされている。発泡剤3及び気孔形態安定剤4の散布量は、これらの粉末を散布した面積に後述する摩擦攪拌工具のプロープの長さ(5mm)をかけた体積分の金属板20a, 20bの質量に対して、発泡剤3は1mass%、気孔形態安定剤4は10mass%とした。

【0069】

次に、積層体22の緻密金属部21に接する面とは反対側の面側から、図23に示すように、FSWを行う。

【0070】

本実施形態例においても、FSWは摩擦攪拌工具5のプロープ5aを矢印bで示すように所定の回転数で回転させながら、本体5b及びプロープ5aを矢印aで示す方向に押圧することで、積層体22の一方の面の一端にプロープ5aを貫入させる。そして、プロープ5aを貫入させた状態で、矢印cで示すように積層体22の他端に向かって摩擦攪拌工具5を移動させる。

【0071】

図24は、図23のx-x線上に沿う断面を示した概略構成図である。本実施形態例では、プローブ5aの長さは、積層体22の厚みとほぼ同じに構成されているため、図24に示すように、プローブ5aが積層体22を構成する2枚の金属板20a, 20bの接合面を貫通し、プローブ5aの先端がわずかに緻密金属部21に食い込む程度に貫入した状態で攪拌される。そして、FSWを行うことにより、積層体22と、摩擦攪拌工具5との間に摩擦熱が発生し、摩擦攪拌された部分には攪拌部6が形成される。

【0072】

本実施形態例においても、第1の実施形態と同様のFSW装置を用い、摩擦攪拌工具5の回転速度を2200rpm、移動速度を100mm/min、前進角を3°とし、マルチパス法を用いて摩擦攪拌を行った。

【0073】

図25は、積層体22の一端から他端にかけてFSWを行い、マルチパス法を用いて同一個所を2回攪拌した後の概略構成図である。本実施形態例では、攪拌部6においては金属板20a, 20bと発泡剤3、及び気孔形態安定剤4が均一に混合されると同時に、2枚の金属板20a, 20b、及び緻密金属部21が接合される。これにより、積層体22部分が発泡金属前駆体24とされると同時に、発泡金属前駆体24と緻密金属部21とが接合した傾斜機能材料前駆体23が形成される。

【0074】

次に、前述の工程で形成された傾斜機能材料前駆体23をその融点近傍の温度にて加熱する。本実施形態例では、図26に示すように、傾斜機能材料前駆体23のFSWが施された部分を、長さ12mm×幅12mm×厚さ8mm（発泡金属前駆体24の厚み5mmと緻密金属部21の厚み3mmによる）となるように切り取り、この傾斜機能材料前駆体23を熱処理した。すなわち、本実施形態例では、切り取った傾斜機能材料前駆体23をあらかじめ1003Kに温めておいた電気炉（株式会社デンケン製、品名：KDF-S80）に入れ、その温度に保ったまま9分30秒間保持した後、電気炉から取り出し、空冷した。

【0075】

図27は、本実施形態例で完成された傾斜機能材料25の概略構成図である。図27に示すように、熱処理工程により、本実施形態例の傾斜機能材料25は、発泡金属前駆体24だった領域でのみ気孔26が発生して発泡金属部27となるため、発泡金属部27と緻密金属部21とが接合した状態とされる。また、本実施形態例では、傾斜機能材料前駆体23において、発泡金属前駆体24と緻密金属部21の接合部は摩擦攪拌により混合されているため、図27に示すように、組成材料の異なる発泡金属部27と緻密金属部21の中間領域は、異なる組成が入り交じった状態となる。すなわち、本実施形態例の傾斜機能材料25は、発泡金属部27から緻密金属部21へと材料組成及び気孔率が傾斜化して変化した状態とされる。

【0076】

次に、以上の工程で形成された本実施形態例の傾斜機能材料前駆体23、及び傾斜機能材料25における組成成分の分布を観察した結果を詳述する。

【0077】

本実施形態例で得られた傾斜機能材料前駆体23及び傾斜機能材料25の材料組成の傾斜化の様子について、アルミニウム（Al）元素及び鉄（Fe）元素の分布を電子線マイクロアナライザ（EPMA）で解析することにより観察した。また、この観察は、傾斜機能材料前駆体23、及び傾斜機能材料25の、FSWの走査方向に垂直な断面に対して行った。

【0078】

断面の観察に際して、傾斜機能材料前駆体23、及び傾斜機能材料25の観察断面は、研磨紙により研磨（エメリー紙にて1200番まで研磨）後、電解研磨により研磨した。

【0079】

図28Aに、傾斜機能材料前駆体23の観察断面の外観写真を示す。図28Aでは、上

10

20

30

40

50

層が発泡金属前駆体 2 4 で、下層が緻密金属部 2 1 である。図 2 8 A の発泡金属前駆体 2 4 の白色を呈した領域はアルミナを示すものであり、攪拌の様子の指標となる。中央部のプローブが通過した個所（攪拌部 6）では F S W 特有のオニオンリングが確認され、アルミニウム、発泡剤、アルミナが混合されていることが分かる。また、2 枚の金属板 2 0 a , 2 0 b や緻密金属部 2 1 の接合は、攪拌部 6 全体にわたってほぼ良好に行われている。

【 0 0 8 0 】

図 2 8 B は、図 2 8 A 中の攪拌部 6 における発泡金属前駆体 2 4 と緻密金属部 2 1 との界面近傍の拡大写真である。図 2 8 B から、発泡金属前駆体 2 4 と緻密金属部 2 1 との界面では、緻密金属部 2 1 に発泡金属前駆体 2 4 を構成するアルミニウムが侵入すると共に、緻密金属部 2 1 を構成する鋼のバリのようものが発泡金属前駆体 2 4 中に張り出しているのが観察される。このことから、F S W では、プローブ 5 a 先端はわずかであるが緻密金属部 2 1 の表面に到達し、発泡金属前駆体 2 4 を構成するアルミニウムとの接合が行われたものと考えられる。

10

【 0 0 8 1 】

図 2 9 A , B に、図 2 8 A 中の攪拌部 6 における発泡金属前駆体 2 4 と緻密金属部 2 1 との界面近傍のアルミニウム (A l) 元素及び鉄 (F e) 元素の分布を E P M A で観察した結果を示す。緻密金属部 2 1 中に、発泡金属前駆体 2 4 を構成するアルミニウムの存在が若干観察されるが、アルミニウム元素、鉄元素の界面を越えた顕著な拡散は観察されず、アンカー効果のような機械的な接合が生じたものと考えられる。

【 0 0 8 2 】

20

図 3 0 A に、図 2 8 A で攪拌が行われた部分を発泡させた場合の外観写真を示す。発泡後も、発泡金属部 2 7 を構成するアルミニウムと緻密金属部 2 1 の接合は維持され、発泡金属部 2 7 と緻密金属部 2 1 とが分離することはなかった。

【 0 0 8 3 】

図 3 0 B , C に、図 3 0 A の発泡金属部 2 7 と緻密金属部 2 1 との界面近傍のアルミニウム元素と鉄元素の分布を E P M A で観察した結果を示す。界面上に両元素が検出される領域が観察される。顕著な拡散が起こり、拡散接合されると共に、F e - A l 系金属間化合物が生成されたものと考えられる。

【 0 0 8 4 】

また、発泡金属部 2 7 内にも、鉄元素が検出されている。これは、発泡時に、発泡金属部 2 7 と緻密金属部 2 1 との界面で生成された F e - A l 系金属間化合物がドレナージなどの溶液の動きにより半熔融状態のアルミニウム内を移動した為と考えられる。ただし、このような発泡金属部 2 7 の鉄元素の分布は、発泡金属部 2 7 と緻密金属部 2 1 との界面近傍に限られており、発泡金属部 2 7 全体には渡っていないことを確認している。

30

【 0 0 8 5 】

なお、比較例として、緻密金属部上部に発泡金属前駆体を置いて発泡させる実験を行った。この比較例では、発泡金属前駆体は第 1 の実施形態と同様の方法で形成し、緻密金属部と発泡金属前駆体とは接合されていない状態とした。この結果、緻密金属部上部に発泡金属前駆体をおいて発泡させるのみでは、発泡金属部と緻密金属部との接合は起こらず、簡単に分離してしまうことがわかった。

40

【 0 0 8 6 】

この比較例の結果により、発泡金属前駆体 2 4 と緻密金属部 2 1 との間が F S W により接合される本実施形態例では、発泡金属前駆体 2 4 や緻密金属部 2 1 の酸化皮膜が破壊され、新生面が表出することにより発泡過程において拡散接合が行われるものと予想される。

【 0 0 8 7 】

このように、本実施形態例によれば、緻密金属部 2 1 と発泡金属部 2 7 とが接合されることにより、材料組成、及び気孔率が傾斜化して形成された傾斜機能材料を形成することができる。

【 0 0 8 8 】

50

そして、本実施形態例によれば、発泡金属部 27 と緻密金属部 21 とが接合された構成である傾斜機能材料を得ることができるので、自動車部品等に用いる際に塗装を容易にすることや、製品組み立ての際に他部材との接合を容易にするなど、広範な部品への適用が可能となる。その他、第 1 の実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0089】

また、従来、発泡金属（一般的なポラス部材）と緻密金属との複合化は、主に接着剤を用いることで行われていた。しかし、接着剤の利用は、環境への負荷が大きい、リサイクルを困難にする、高温環境下では接着剤の樹脂が軟化する、等の問題がある。本実施形態例では F S W を用いることにより、接着剤を用いずに発泡金属部と緻密金属部とを接合することができるので、従来の問題を解決することができる。

10

【0090】

ところで、本実施形態例では、緻密金属部 21 を、発泡金属部 27 となる積層体の積層方向に積層する構成としたが、積層体 22 の積層方向に垂直な積層体 22 の側面に接合するように構成してもよい。この場合には、F S W を積層体 22 に行う共に、積層体 22 と緻密金属部 21 との接合面に行うことで、本発明の傾斜機能材料前駆体、及び傾斜機能材料を実施することができる。

【0091】

また、本実施形態例では、1 種類の発泡金属部 27 と緻密金属部 21 とが接合された傾斜機能材料 25 が形成される例としたが、第 1 の実施形態で形成される傾斜機能材料前駆体 13 を構成する 2 種の発泡金属前駆体の一部、又は全部に接合して形成することもできる。この場合には、緻密金属部と、その緻密金属部と接合する発泡金属前駆体との接合面に F S W を行う構成とすればよい。また、本実施形態例で形成された傾斜機能材料 25 は、発泡金属部 27 と緻密金属部 21 との材料組成が異なる例としたが、同じ材料組成の発泡金属部と緻密金属部とを接合してもよい。この場合には、気孔率が異なる傾斜機能材料が形成される。

20

【0092】

上述した第 1 及び第 2 の実施形態例では、傾斜機能材料前駆体を構成する発泡金属前駆体は、発泡剤を一对の金属板で挟持して積層体を形成し、その積層体の一方の面から F S W を行うことにより形成する例であった。しかしながら、発泡金属前駆体の製造方法は、これに限られるものではなく、ダイカスト法を適用することによっても、本発明の課題を達成することが可能である。以下に示す方法は、ダイカスト法を用いた例である。

30

【0093】

3. 第 3 の実施形態

次に、図 31 ~ 図 35 を用いて、本発明の第 3 の実施形態に係る傾斜機能材料前駆体、及び傾斜機能材料の製造方法について説明する。本実施形態例は、ダイカスト材によって傾斜機能材料前駆体、及び傾斜機能材料を形成する例である。

【0094】

まず、図 31 A, B に示すように、ダイカスト法を用いて第 1 金属部材 36 と第 2 金属部材 37 を形成する。ダイカスト法は、溶融した金属材料を所定の金型に圧入することにより、高精度の鋳物を短時間に大量に成型できる鋳造法である。ダイカスト法としては、一般的な大気開放ダイカスト法、金型のキャビティ内を減圧した状態で溶融金属を注入して巻き込み巣の発生を防止する真空ダイカスト法、キャビティ内に溶融金属を低速で注入し、かつ、溶融金属に圧力をかけて凝固させるスクイズダイカスト法、キャビティ内に酸素を充填し、その酸素の作用によりキャビティ内を減圧し巣の発生を防止する無孔性（酸素置換）ダイカスト法、固体と液体がシャーベット状態の金属材料を金型に圧入する半溶解・半凝固ダイカスト法などが挙げられる。

40

【0095】

また、ダイカスト法において、金型に圧入される金属材料としては、Al - Si - Cu 系のダイカスト用アルミニウム合金（JIS 規格：ADC12, ADC10, ADC10Z, ADC12Z, ADC14）、Al - Si 系のダイカスト用アルミニウム合金（JIS

50

S規格：ADC1）、Al-Si-Mg系のダイカスト用アルミニウム合金（JIS規格：ADC3）、Al-Mg系のダイカスト用アルミニウム合金（JIS規格：ADC5，ADC6）を用いることができる。また、この他、マグネシウム、マグネシウム合金、亜鉛、亜鉛合金、銅、銅合金等のダイカスト用材料を用いることができる。

【0096】

ダイカスト法によって成形される金属部材の内部には、通常、ガス及び気孔形成核が含まれている。ガスは、ダイカスト装置の金型に熔融金属を極めて速い速度で注入するときに空気が熔融金属に混入して金属部材内に含まれるもの、あるいは金型に塗布した離型剤が熔融金属に接することで気化し、熔融金属に混入して金属部材内に含まれるものなどがある。また、気孔形成核は、金属材料の原料に既に含まれているか、あるいは、ダイカスト法による鑄造工程で含まれるものである。例えば、アルミニウム、又はアルミニウム合金からなる金属部材を形成する場合には、初晶Si、共晶Si、Al-Fe-Si化合物、Al-Cu化合物、等が気孔形成核となる。また、マグネシウム又はマグネシウム合金からなる金属部材を形成した場合には、Mg-Al化合物、Mg-(Al, Zn)化合物、等が気孔形成核となる。

10

【0097】

本実施形態例では、大気開放ダイカスト法を用い、鑄造圧力を70MPaとして熔融した金属材料を金型に圧入することにより第1金属部材36と、第1金属部材36とは異なる材料組成からなる第2金属部材37を形成した。

【0098】

次に、図32に示す工程と同様にして、第1金属部材36及び第2金属部材37のそれぞれに、摩擦攪拌プロセス(FSP)を行う。FSPは、FSWと同様の技術である。本実施形態例では、第1の実施形態と同じ構成のFSW装置を用い、マルチパス法を採用した。

20

【0099】

FSPにより、第1金属部材36及び第2金属部材37の内部に含まれているガス及び気孔形成核が第1金属部材36及び第2金属部材37において均一に拡散する。これにより、第1金属部材36は第1発泡金属前駆体28とされ、第2金属部材37は第2発泡金属前駆体29とされる。

【0100】

次に、第1の実施形態における図11A, Bの工程と同様にして、第1発泡金属前駆体28と、第2発泡金属前駆体29のそれぞれを機械加工することにより、摩擦攪拌が施された面が端部に露出されるよう調整する。

30

【0101】

次に、図33に示すように、第1発泡金属前駆体28と第2発泡金属前駆体29を、それぞれの摩擦攪拌が施された面を接触させて配置し、その接触面に対して、FSWを行う。本実施形態例では、接触面に対するFSWは、摩擦攪拌工具5の回転速度を1000rpm、移動速度を100mm/min、前進角を3°として行った。さらに、接触面に対するFSWにおいてもマルチパス法を用いてもよく、本実施形態例では、第1の実施形態と同様に、走査方向を逆転させることにより、摩擦攪拌を同一箇所に対して2度行った。

40

【0102】

以上の工程により、図34に示すように、第1発泡金属前駆体28と第2発泡金属前駆体29が接合され材料組成が傾斜化して変化する傾斜機能材料前駆体30が形成された。

【0103】

その後、第1の実施形態と同様にして傾斜機能材料前駆体30を加熱処理することにより、傾斜機能材料前駆体30の内部に既に存在していたガスが膨張し、また、傾斜機能材料前駆体30の内部に既に存在していた気孔形成核により気孔が発生して膨張する。これにより、図35に示すように、第1発泡金属前駆体28であった部分は、第1発泡金属33となり、第2発泡金属前駆体29であった部分は、第2発泡金属34となり、本実施形態例の傾斜機能材料31が完成される。

50

【0104】

本実施形態例では、ダイカスト材を用いて形成した組成材料の異なる第1発泡金属前駆体28と第2発泡金属前駆体29をFSWにより接合し、加熱処理することで、材料組成が傾斜化した傾斜機能材料31を形成することができる。

【0105】

本実施形態例によれば、第1発泡金属前駆体28や第2発泡金属前駆体29がダイカスト材で形成されるため、高価な発泡剤粉末が不要であり、また、従来の粉末冶金法に比較して製造工程が簡単であるため、生産性が高くコストの低減を図ることができる。

【0106】

以上の第1～第3の実施形態は、それらを組み合わせて実施することも可能であり、種々の変更が可能である。

10

【0107】

例えば、傾斜機能材料前駆体を構成する一方の発泡金属前駆体を第1の実施形態の形成方法を用いて形成し、他方の発泡金属前駆体を第3の実施形態のダイカスト法を用いて形成することもできる。また、第3の実施形態で形成した発泡金属前駆体に緻密金属部を接合することにより、第2の実施形態と同様の構成の傾斜機能材料を形成することも可能である。

【0108】

さらに、第1の実施形態において、第1積層体7の上層の第1金属板1aと下層の第1金属板1bとを、材料組成の異なる金属材料で形成すれば、容易に異種材料からなる発泡金属同士が接合された傾斜機能材料を形成することができる。この場合には、上層と下層の第1金属板1a、1bの摩擦攪拌接合と、第1金属板1a、1b内部へ発泡剤3を拡散するための摩擦攪拌とを1工程のFSWにて行うことができ、発泡金属前駆体を形成する工程と、それらを接合する工程とを一度に行うことができる。

20

【0109】

また、第3の実施形態では、2種類の発泡金属前駆体を接合して傾斜機能材料前駆体を形成する例としたが、第1の実施形態における変形例のように、材料組成が異なる複数種の発泡金属前駆体を接合して傾斜機能材料前駆体を形成してもよい。

【0110】

このように、本発明によれば、材料組成、及び気孔率の異なる複数（本実施形態例では2種）の金属材料からなる傾斜機能材料前駆体、及び傾斜機能材料を形成することができる。

30

【0111】

本発明によれば、異種材料からなる複数種の発泡金属部が接合されることで形成された傾斜機能材料や、複数の気孔を有する発泡金属部と無気孔の緻密金属部とが接合された傾斜機能材料を容易に形成することができる。

【0112】

このように、材料組成や、材料組成及び気孔率が異なるものが、一体に形成される本発明の傾斜機能材料は、用途に合わせてその機能を傾斜化することにより、自動車部品等に有用であり、高機能な材料として適用され得る。

40

【符号の説明】

【0113】

- 1 a・・・第1金属板
- 1 b・・・第1金属板
- 2 a・・・第2金属板
- 2 b・・・第2金属板
- 3・・・発泡剤
- 4・・・気孔形態安定剤
- 5・・・摩擦攪拌工具
- 5 a・・・プローブ

50

5 b	· · 本体	
6	· · 攪拌部	
7	· · 第 1 積層体	
8	· · 第 2 積層体	
9	· · 溝部	
1 0	· · 凹陷部	
1 1	· · 第 1 発泡金属前駆体	
1 2	· · 第 2 発泡金属前駆体	
1 3	· · 傾斜機能材料前駆体	
1 4	· · 傾斜機能材料	10
1 5	· · 発泡金属部	
1 6	· · 発泡金属部	
1 7	· · 気孔	
2 0 a	· · 金属板	
2 0 b	· · 金属板	
2 1	· · 緻密金属部	
2 2	· · 積層体	
2 3	· · 傾斜機能材料前駆体	
2 4	· · 発泡金属前駆体	
2 5	· · 傾斜機能材料	20
2 6	· · 気孔	
2 7	· · 発泡金属部	
2 8	· · 第 1 発泡金属前駆体	
2 9	· · 第 2 発泡金属前駆体	
3 0	· · 傾斜機能材料前駆体	
3 1	· · 傾斜機能材料	
3 3	· · 第 1 発泡金属	
3 4	· · 第 2 発泡金属	
3 6	· · 第 1 金属部材	
3 7	· · 第 2 金属部材	30

【 図 1 】

FIG. 1A

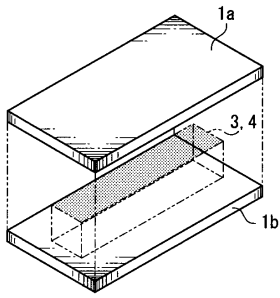
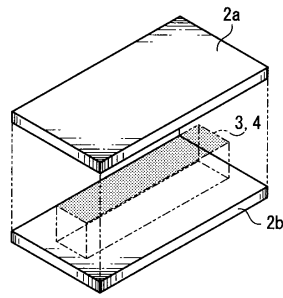
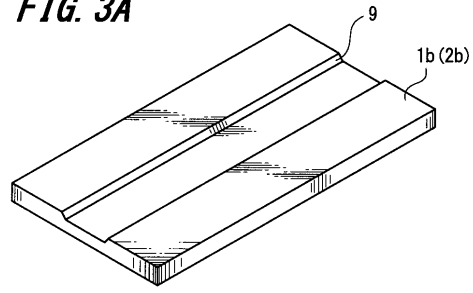


FIG. 1B



【 図 3 】

FIG. 3A



【 図 2 】

FIG. 2A

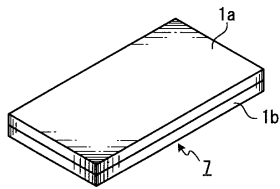


FIG. 2B

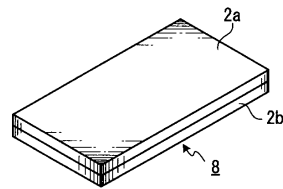
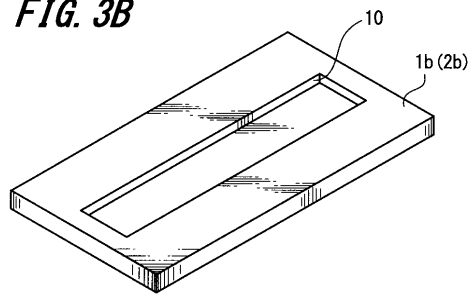
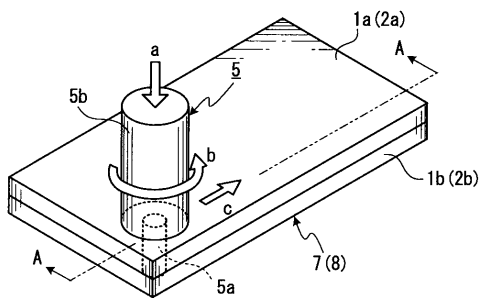


FIG. 3B



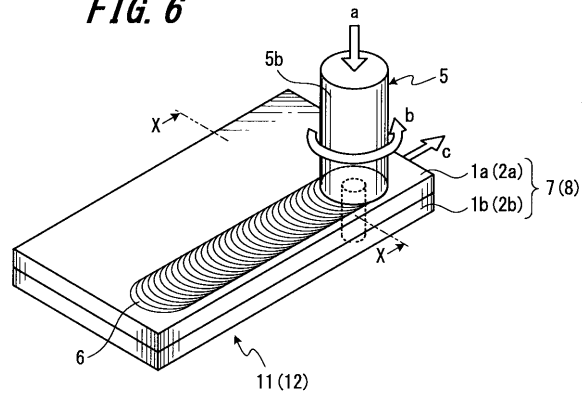
【 図 4 】

FIG. 4



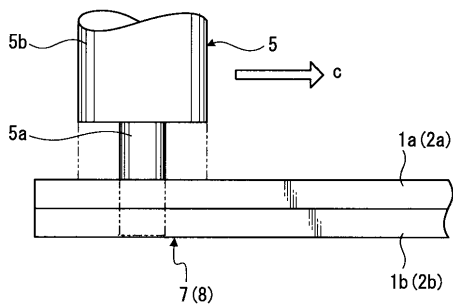
【 図 6 】

FIG. 6



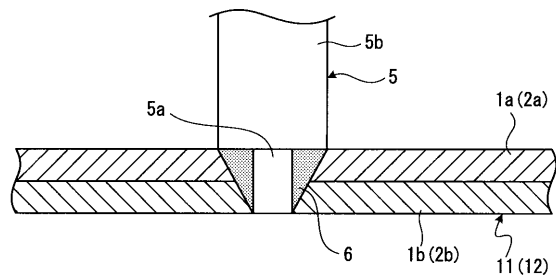
【 図 5 】

FIG. 5

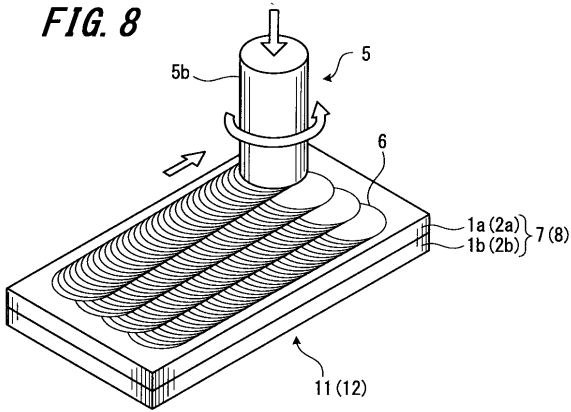


【 図 7 】

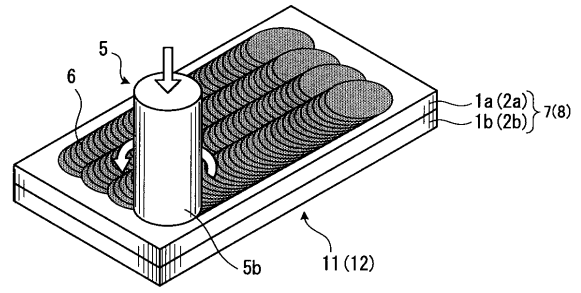
FIG. 7



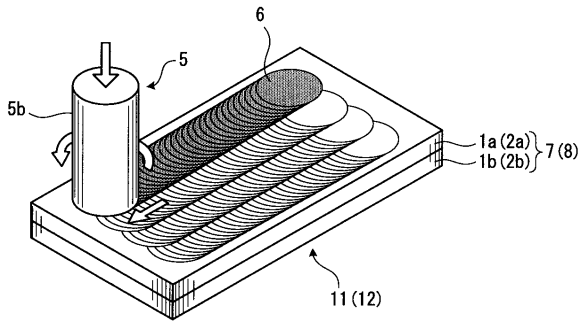
【 8 】
FIG. 8



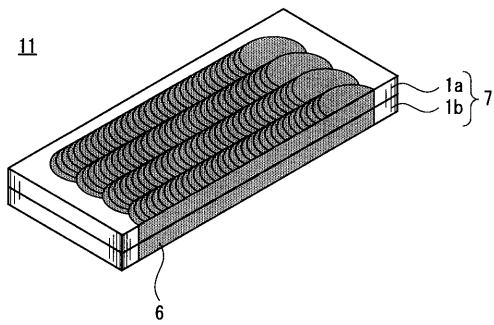
【 10 】
FIG. 10



【 9 】
FIG. 9



【 11 】
FIG. 11A



【 12 】
FIG. 12

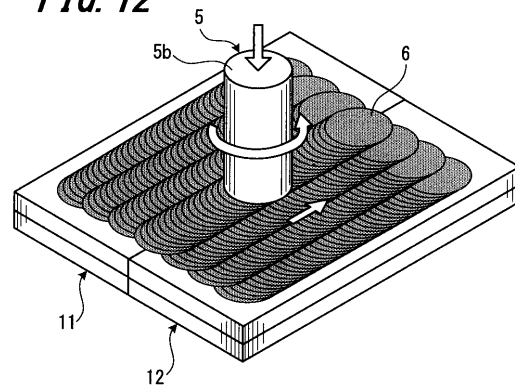
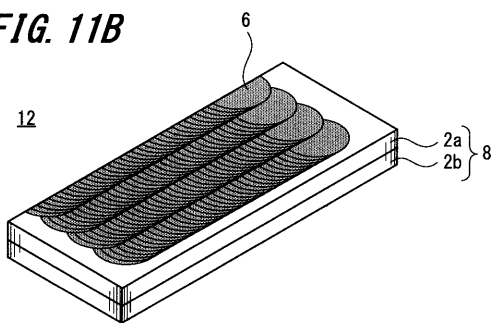
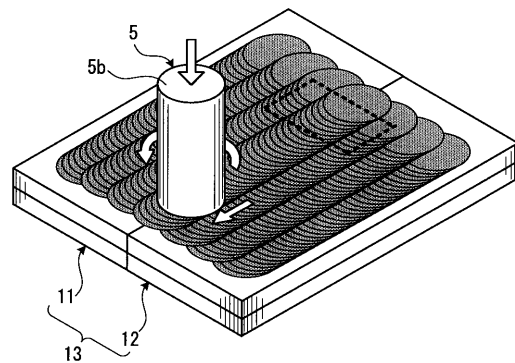


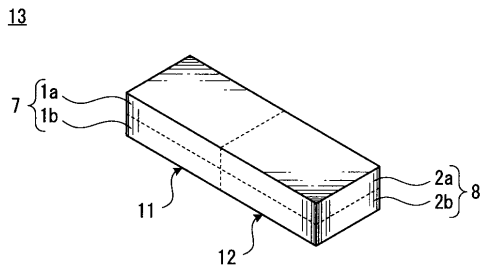
FIG. 11B



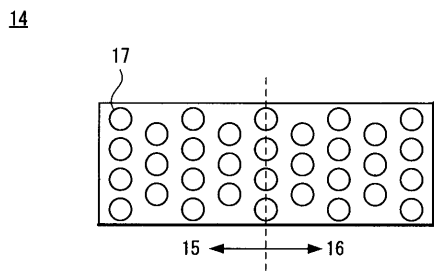
【 13 】
FIG. 13



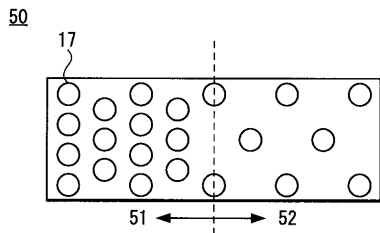
【 図 1 4 】
FIG. 14



【 図 1 5 】
FIG. 15



【 図 1 9 】
FIG. 19



【 図 2 0 】
FIG. 20A

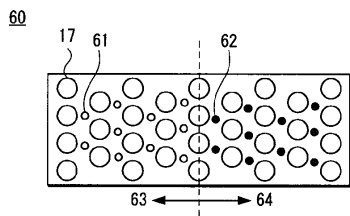
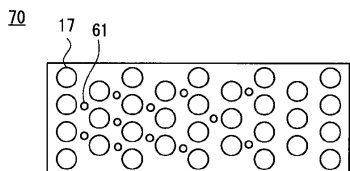


FIG. 20B



【 図 1 8 】
FIG. 18A

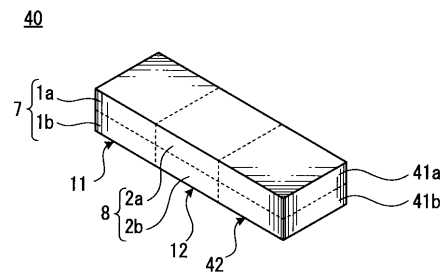
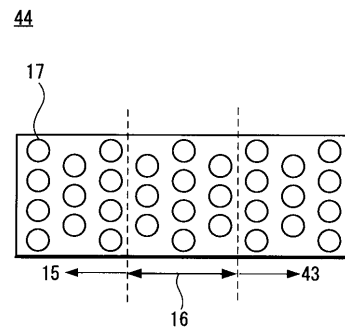
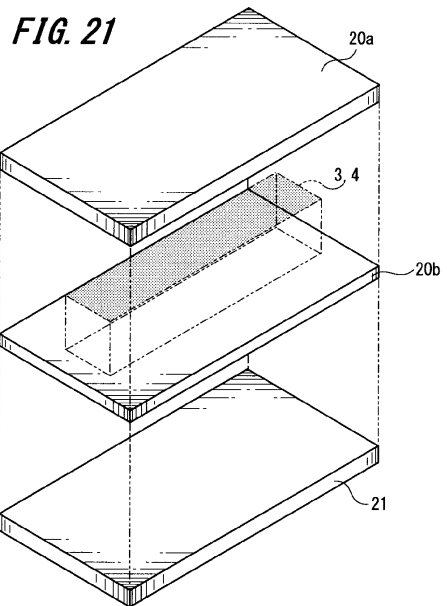


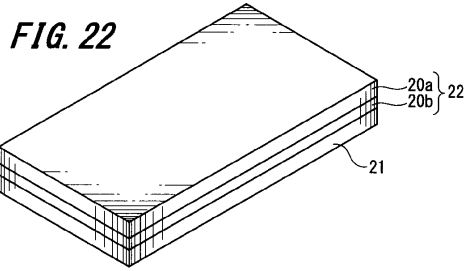
FIG. 18B



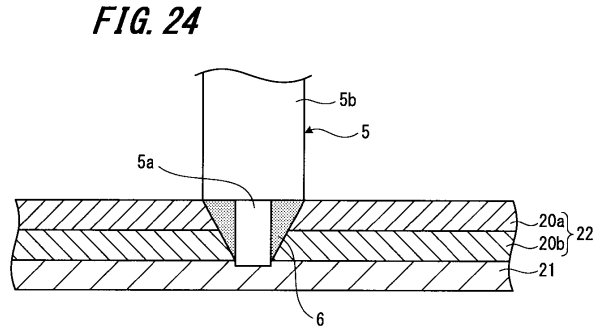
【 図 2 1 】



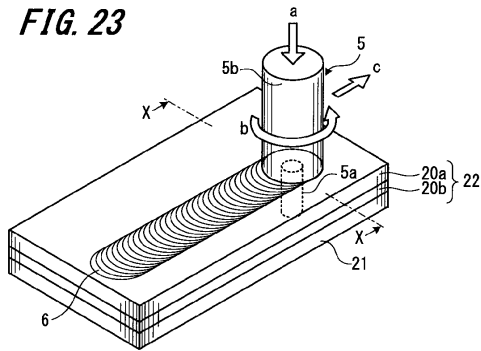
【 2 2 】



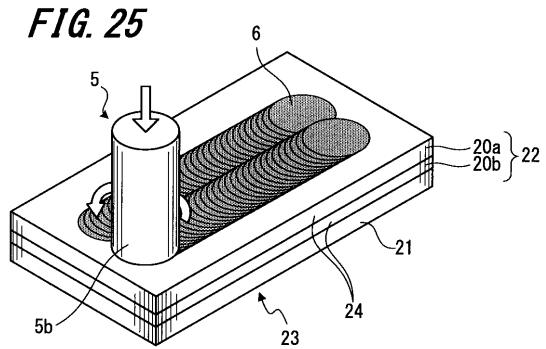
【 2 4 】



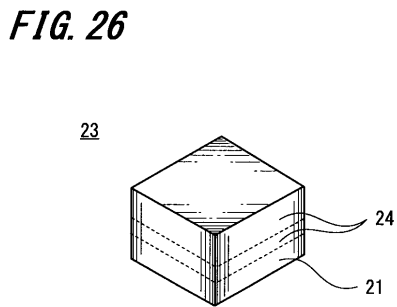
【 2 3 】



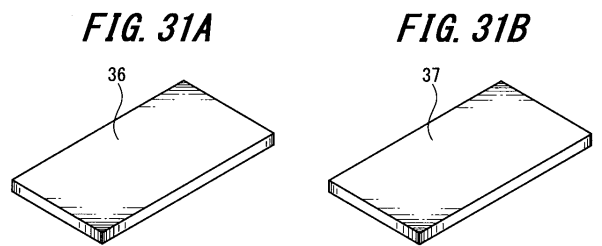
【 2 5 】



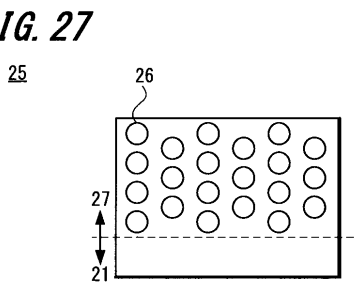
【 2 6 】



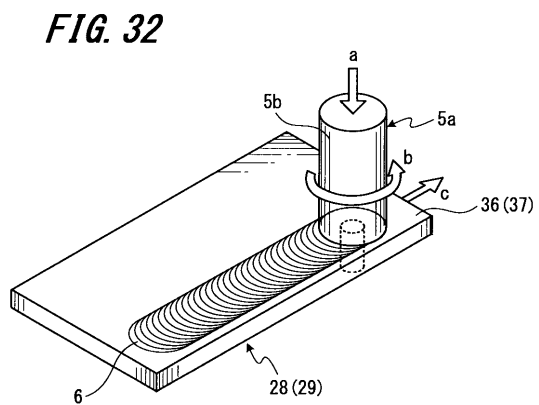
【 3 1 】



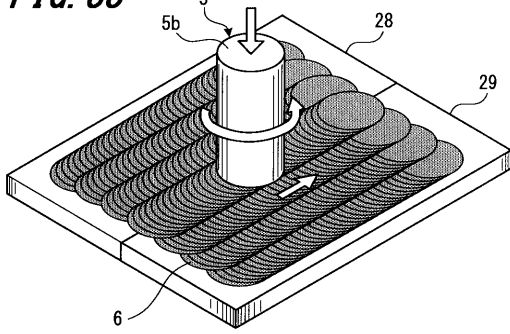
【 2 7 】



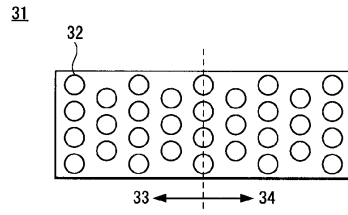
【 3 2 】



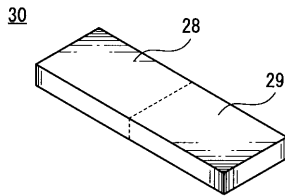
【 3 3 】
FIG. 33



【 3 5 】
FIG. 35

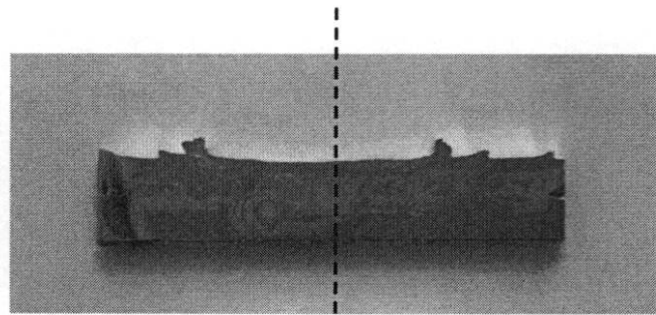


【 3 4 】
FIG. 34



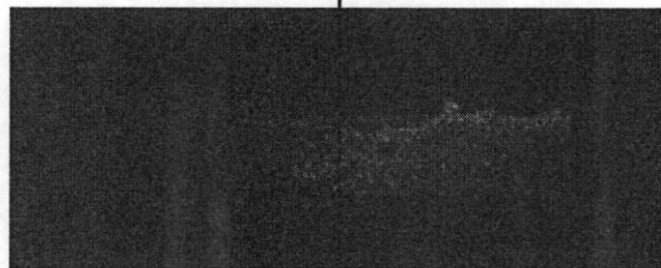
【 1 6 】

FIG. 16A



7(11) ← → 8(12)

FIG. 16B



7(11) ← → 8(12)

【 17 】

FIG. 17A

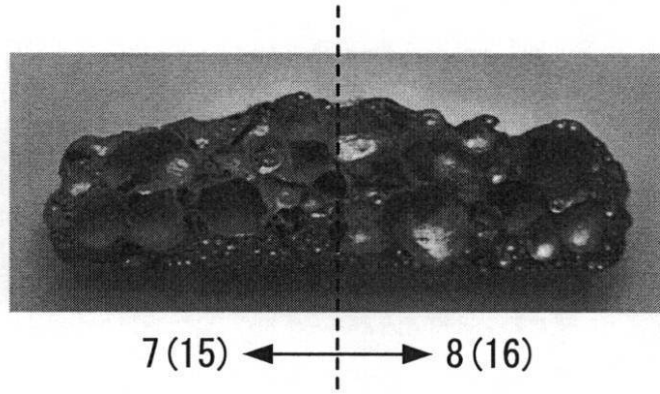
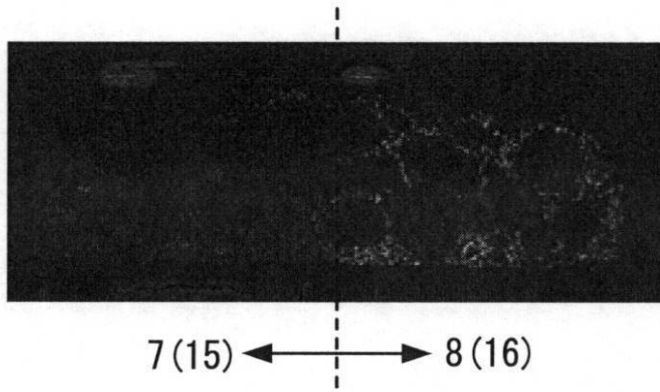


FIG. 17B



【 28 】

FIG. 28A

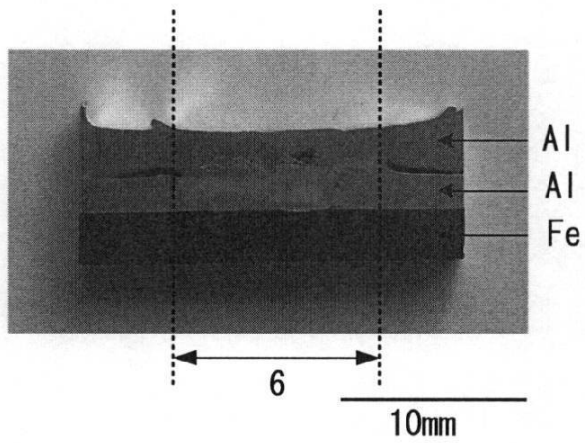
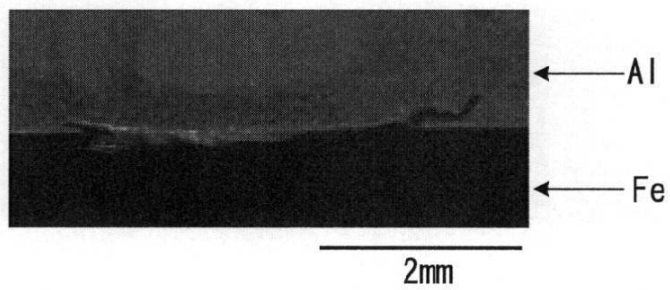
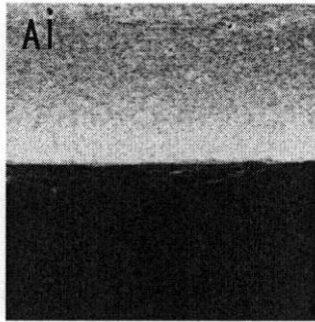


FIG. 28B



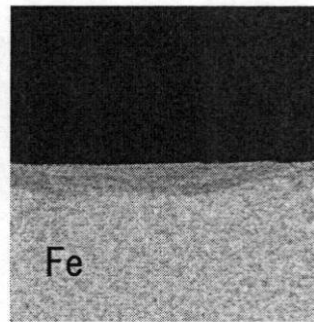
【 図 29 】

FIG. 29A



400 μ

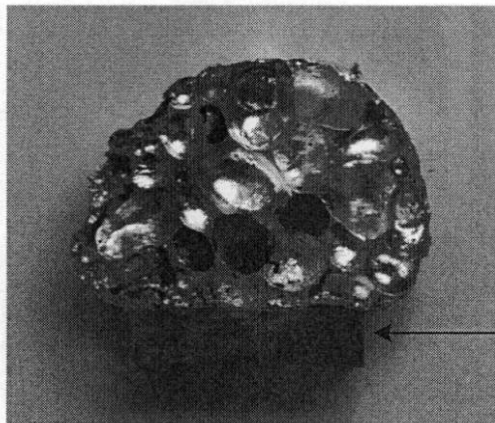
FIG. 29B



400 μ

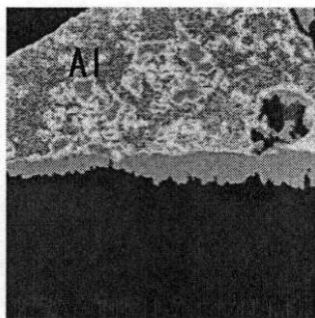
【 図 30 】

FIG. 30A



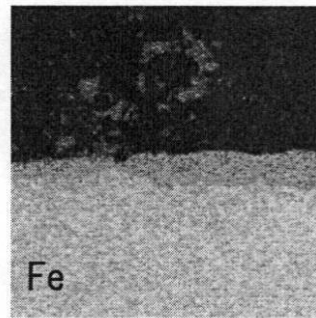
Fe

FIG. 30B



400 μ

FIG. 30C



400 μ

フロントページの続き

審査官 米田 健志

(56)参考文献 特表2006-523771(JP,A)
特開2006-097075(JP,A)
特開2006-307295(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C22C 1/08