

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-196680

(P2012-196680A)

(43) 公開日 平成24年10月18日(2012.10.18)

|                                |                     |             |
|--------------------------------|---------------------|-------------|
| (51) Int.Cl.                   | F 1                 | テーマコード (参考) |
| <b>B 2 3 K 20/12 (2006.01)</b> | B 2 3 K 20/12 3 1 O | 4 E 1 6 7   |
| <b>B 2 3 K 31/00 (2006.01)</b> | B 2 3 K 20/12 3 4 O |             |
|                                | B 2 3 K 20/12 3 4 4 |             |
|                                | B 2 3 K 31/00 D     |             |

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 20 頁)

|           |                            |          |                              |
|-----------|----------------------------|----------|------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2011-60852 (P2011-60852) | (71) 出願人 | 000000974                    |
| (22) 出願日  | 平成23年3月18日 (2011. 3. 18)   |          | 川崎重工業株式会社                    |
|           |                            |          | 兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号         |
|           |                            | (74) 代理人 | 110000556                    |
|           |                            |          | 特許業務法人 有古特許事務所               |
|           |                            | (72) 発明者 | 岡田 豪生                        |
|           |                            |          | 岐阜県各務原市川崎町1番地 川崎重工業株式会社岐阜工場内 |
|           |                            | (72) 発明者 | 菅田 隆志                        |
|           |                            |          | 岐阜県各務原市川崎町1番地 川崎重工業株式会社岐阜工場内 |
|           |                            | (72) 発明者 | 田村 純一                        |
|           |                            |          | 岐阜県各務原市川崎町1番地 川崎重工業株式会社岐阜工場内 |

最終頁に続く

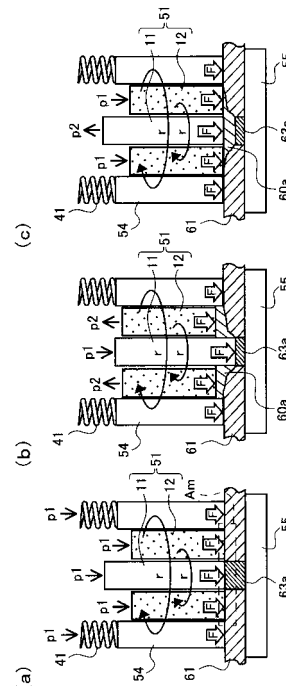
(54) 【発明の名称】 摩擦攪拌点接合を用いた孔補修方法

## (57) 【要約】

【課題】 穿孔作業において不具合の生じた孔を、効率的かつ低コストで補修する方法を提供する。

【解決手段】 まず、金属板61に形成された不具合孔にリベット等の充填材を充填する。次に、当該不具合孔およびその周囲である補修領域に、複動式摩擦攪拌点接合装置が備える回転工具部51のピン部材11を当接させて回転させながら押し込む。その後、ピン部材11を引き抜きながら、当該ピン部材11およびショルダ部材12の双方により、ピン部材11の押し込みで形成された凹部を埋め戻す。

【選択図】 図3



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

軸線周りに回転し、かつ、当該軸線方向に進退移動可能に構成されている円柱状のピン部材を備えている摩擦攪拌点接合装置を用いる金属材の孔補修方法であって、

金属材に形成された補修対象の孔に充填材を充填する、孔充填工程と、

前記摩擦攪拌点接合装置の前記ピン部材を、前記金属材の一方の面における前記孔を含む補修領域に当接させて回転させながら、前記ピン部材を前記補修領域に進入させる、回転押し込み工程と、

前記ピン部材を前記補修領域から後退させるとともに、当該ピン部材により、前記回転押し込み工程で形成された前記補修領域の凹部を埋め戻す、凹部埋め戻し工程と、を含むことを特徴とする、

摩擦攪拌点接合を用いた孔補修方法。

10

**【請求項 2】**

前記摩擦攪拌点接合装置は、前記ピン部材の外側を囲うように位置し、当該ピン部材と同一の軸線周りに回転するとともに当該軸線方向に進退移動可能に構成されている円筒状のショルダ部材をさらに備えている複動式摩擦攪拌点接合装置であり、

前記回転押し込み工程では、前記複動式摩擦攪拌点接合装置の前記ピン部材および前記ショルダ部材を、前記金属材の一方の面における前記孔を含む補修領域に当接させて回転させながら、前記ピン部材または前記ショルダ部材を前記補修領域に進入させ、

前記凹部埋め戻し工程では、前記ピン部材または前記ショルダ部材を前記補修領域から後退させつつ、当該ピン部材および前記ショルダ部材の少なくとも一方により、前記回転押し込み工程で形成された前記補修領域の凹部を埋め戻す、ことを特徴とする、

請求項 1 に記載の孔補修方法。

20

**【請求項 3】**

前記摩擦攪拌点接合装置は、前記ピン部材または前記ショルダ部材の外側に位置し、前記金属材を一方の面から押圧するクランプ部材と、

前記クランプ部材に対向する位置に設けられる裏当て部材と、をさらに備え、

前記金属材の他方の面に裏当て部材を当接するとともに、前記金属材の一方の面のうち前記補修領域の外側を前記クランプ部材で押圧することにより、当該金属材を両面から支持する金属材支持工程と、を含むことを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の孔補修方法。

30

**【請求項 4】**

前記回転押し込み工程および前記凹部埋め戻し工程は、前記金属材の片面または双方の面から行うことを特徴とする、請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の孔補修方法。

**【請求項 5】**

前記金属材が航空機を構成する部品または構造体であることを特徴とする、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の孔補修方法。

**【発明の詳細な説明】**

40

**【技術分野】****【0001】**

本発明は、摩擦攪拌点接合を用いた孔補修方法に関し、特に、航空機分野において好適に用いることが可能な孔補修方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

例えば、輸送機器の製造または整備においては、金属製の部品または組み立てられた構造物（まとめて金属材と称する。）に穿孔を行うことがある。この穿孔作業は、基本的に、種々の要因により形成された孔の状態に不具合を生じさせる可能性を含んでいる。例えば、単純な作業ミス、あるいは、穿孔作業を行うための穿孔装置の不具合、金属材の変形

50

等によって、孔を形成すべき位置がずれたり、形成した孔の寸法が違ったりする等の不具合が挙げられる。

【 0 0 0 3 】

上記不具合が発生すれば、通常は、何らかの方法で孔の補修を行うことになる。孔を補修する方法としては、例えば、( 1 ) 孔への充填剤の充填、( 2 ) 肉盛り溶接による孔の充填、( 3 ) リベット等の栓部材による孔の機械的な閉塞、( 4 ) 対象となるファスナーサイズの変更、( 5 ) ダブラ(補強板)による補強と孔の再穿孔等が挙げられる。

【 0 0 0 4 】

輸送機器が自動車または鉄道車両であれば、部品または構造物の種類にもよるが、上記( 1 )または( 2 )の方法を用いることができる。これに対して、輸送機器が航空機であれば、上記( 1 )または( 2 )の方法を用いることができず、一般的には、上記( 3 )、( 4 )または( 5 )の方法を用いることになる。これは、航空機が他の輸送機器と比較して、過酷な環境で使用されるものであるためである。

10

【 0 0 0 5 】

例えば、航空機に対する穿孔作業時に前記のような孔の不具合が発生したとして、形成された孔を充填剤で埋めたとしても(前記( 1 )の方法)、充填材の弾性率が母材の金属と異なり、母材の強度は回復しない。また、過酷な環境下では充填剤が孔から外れてしまう可能性が極めて高い。また、形成された孔を肉盛り溶接で充填しようとする(前記( 2 )の方法)、肉盛り溶接された金属材および周辺の結晶組織が変化し、当該金属材の強度が低下したり溶接割れが生じたりするため、多くの航空機用高強度材料には溶接が許容されない。それゆえ、航空機における孔の補修は、前記( 3 )、( 4 )または( 5 )の方法が選択される。

20

【 0 0 0 6 】

また、航空機においては、孔の形成された金属材が取外し可能な部品であれば、部品そのものを再度製作して交換することも行われる。なお、以下の説明では、この部品交換を、孔を補修する方法( 6 )と見なす。

【 0 0 0 7 】

航空機の補修に関する技術としては、例えば、孔の補修ではないが、特許文献 1 に、航空機のハニカム構造部品の修理に用いられる装置が開示されている。また、穿孔作業により生じた孔の補修ではないが、特許文献 2 には、航空機胴体が鳥または他の物体の衝撃により損傷したときに、当該損傷域を補修するために用いられる、航空機胴体損傷域の切り取り方法が開示されている。

30

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 特許文献 1 】 特開平 8 - 1 7 5 4 9 8 号公報

【 特許文献 2 】 特表 2 0 0 9 - 5 3 7 3 7 6 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

40

ところで、航空機は、前記のとおり過酷な環境下で使用される輸送機器であることから、他の輸送機器と比較して、本体または部品は高い耐環境性が要求される。また、航空機は、他の輸送機器と比較して特殊な部品および素材を使用して製造される。ここで、航空機構造の特徴として、素材の強度を限界まで使うことで重量を最少とする設計であり、かつ、損傷許容設計であること、また、部品の整備性の観点から、構造部品の大部分が、リベット、ボルト・ナット等のファスナーによる機械的結合が採用されることが挙げられる。この特徴のため、航空機の製造時または整備時には、他の輸送機器と比較して穿孔作業が発生する頻度が高く、それゆえ、形成された孔に不具合が生じる可能性も相対的に高くなる傾向にある。

【 0 0 1 0 】

50

しかしながら、航空機における孔の補修で一般的に用いられている、前記(3)～(6)の方法は、補修の低効率性、高コスト化または航空機の重量増加の少なくともいずれかを招くという課題を有する。

#### 【0011】

具体的には、まず前記(3)の方法であれば、孔を閉塞した部材は、母材に接触しているだけの状態にあることから、母材の強度維持または強度向上にほとんど貢献することがない。そのため、閉塞の対象となる孔が、本来不要な孔であり、かつ、他の孔または部品の端部あるいは縁部に近接しておらず、さらに、放置しても強度上の問題が無い孔である場合にしか用いることができない。それゆえ、例えば、部材の結合に必要な孔を穿孔する作業中に、当該孔に不具合が発生した場合には、この修理方法を適用できることは稀である。またこの方法では、孔をリベット等で閉塞するため、リベットという部材が追加されることになる。それゆえ、航空機の重量が増加してしまう。

10

#### 【0012】

また前記(4)の方法は、部材を結合するためのファスナー孔の傷または孔径の不良が発生した場合には、当該孔をひとまわり大きなドリルで整形し、太いファスナーで結合するもので、不具合に対する処置としては頻繁に用いられる。しかしながら、修理に適合するファスナーの選択が限られることから、当該ファスナーの調達にコスト、時間等を要する。しかも、大きくなったファスナーの頭部が周囲の部材または構造に干渉したり、孔が拡大することにより部材の残存部が減少して強度に問題が生じたりすることから、不具合の発生した孔の状況によっては、この方法を適用できないことがある。

20

#### 【0013】

また前記(5)の方法は、孔径の拡大または位置の誤りによって所望の強度が期待できなくなったファスナーおよび部材をダブラ(補強板)で覆い、荷重を周囲のファスナーに分担することによって強度を回復できるものであるが、前記(3)の方法以上に航空機の重量が増加してしまい、当該航空機の性能の低下を起こすおそれがある。さらに、前記部材が例えば曲面状であれば、当該部材を覆うためのダブラの製作に多大のコスト、時間等を要する。加えて、航空機の外表面にダブラを当てる場合には、当該航空機の抵抗が増加してしまうため、さらなる性能の低下を起こすおそれがあるとともに、当該航空機の外観品質が低下するため、新造機であれば著しく商品価値を損なうおそれがある。

30

#### 【0014】

また前記(6)の方法は、航空機の強度、性能、品質等の点からは望ましいものであるが、交換可能な部品にしか適応できず、交換部品の製作、半組立品の分解等の作業に多大なコスト、時間等を要する。しかも、航空機の構造部品に対する穿孔作業であれば、この方法を適用するとしても、非常に多くのコスト、時間等を要することになる。

#### 【0015】

すなわち、前記構造部品に対する穿孔作業では、ファスナーの高強度の結合を実現する必要があるために、孔径とファスナー軸部の太さとの間にほとんど余裕が無いため、部材の孔同士に位置ずれが許されない。それゆえ、外板およびフレームといった、互いに結合する部材同士に穿孔する場合には、それぞれの部材同士を仮止めした状態で貫通孔を形成することとなる。ここで、穿孔済みの部材の一方を別部材に交換する場合には、すでに穿孔されている部材の孔の位置に実質的に一致するように、当該別部材に孔の位置を写し取らなければならない。ところが、この写し取りの作業はたいへんな熟練を要する作業であることに加え、一般的な航空機における外板部材は、1枚当たり数十本から数百本のファスナーでフレームに結合されている。したがって、この方法では、多くのコスト、時間等を浪費してしまう。

40

#### 【0016】

なお、特許文献1または2に開示される技術は、いずれも穿孔作業で形成された孔を補修する技術ではないので、効率的かつ低コストの孔の補修方法を実現できるものではない。

#### 【0017】

50

また、航空機以外の分野においても、前記（１）または（２）以外の方法によって孔の補修を行うことが好ましい場合があり得るが、この場合においても、前記（３）～（６）の方法を用いれば同様の課題が生じる。

【００１８】

本発明は前記の課題を解決するためになされたものであって、穿孔作業において不具合の生じた孔を、補修箇所の強度等が有意に低下することを回避した上で、効率的かつ低コストで補修する方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１９】

本発明者らは、前記課題を鑑みて鋭意検討した結果、複数枚の金属板を重ね合わせて点接合するために用いられる摩擦攪拌点接合技術をさらに改良することで、孔の補修に有効に活用できることを独自に見出し、本発明を完成させるに至った。

10

【００２０】

すなわち、本発明に係る摩擦攪拌点接合を用いた孔補修方法は、前記の課題を解決するために、軸線周りに回転し、かつ、当該軸線方向に進退移動可能に構成されている円柱状のピン部材を備えている摩擦攪拌点接合装置を用いる金属材の孔補修方法であって、金属材に形成された補修対象の孔に充填材を充填する、孔充填工程と、前記摩擦攪拌点接合装置の前記ピン部材を、前記金属材の一方の面における前記孔を含む補修領域に当接させて回転させながら、前記ピン部材を前記補修領域に進入させる、回転押し込み工程と、前記ピン部材を前記補修領域から後退させるとともに、当該ピン部材により、前記回転押し込み工程で形成された前記補修領域の凹部を埋め戻す、凹部埋め戻し工程と、を含む構成である。

20

【００２１】

前記構成によれば、凹部埋め戻し工程を行うことで、回転押し込み工程で形成された凹部を単に埋め戻すだけではなく、孔充填工程で充填された充填材を金属材の一部に略完全に混ぜ合わせることができる。これにより、母材である金属材と充填材との間に、実質的に境界面が生じないように一体化した状態で、孔が補修できるので、補修箇所の強度等が有意に低下するおそれがほとんどない上に、補修の効率性の向上、補修の低コスト化、または補修対象物である金属材の重量増加の回避等を実現することが可能となる。

【００２２】

30

前記孔補修方法においては、前記摩擦攪拌点接合装置は、前記ピン部材の外側を囲うように位置し、当該ピン部材と同一の軸線周りに回転するとともに当該軸線方向に進退移動可能に構成されている円筒状のショルダ部材をさらに備えている複動式摩擦攪拌点接合装置であり、前記回転押し込み工程では、前記複動式摩擦攪拌点接合装置の前記ピン部材および前記ショルダ部材を、前記金属材の一方の面における前記孔を含む補修領域に当接させて回転させながら、前記ピン部材または前記ショルダ部材を前記補修領域に進入させ、前記凹部埋め戻し工程では、前記ピン部材または前記ショルダ部材を前記補修領域から後退させつつ、当該ピン部材および前記ショルダ部材の少なくとも一方により、前記回転押し込み工程で形成された前記補修領域の凹部を埋め戻す構成であると好ましい。

【００２３】

40

前記構成によれば、摩擦攪拌点接合装置として複動式のものをを用いることで、ピン部材およびショルダ部材の少なくとも一方を用いて凹部を埋め戻すことができる。つまり、凹部の埋め戻しに複数の部材を利用することができるため、充填材を金属材の一部に略完全に混ぜ合わせることが良好に実施できるだけでなく、これら部材を適切に進退させることで、金属材の面を略平坦に整えることが可能となる。その結果、補修の効率性の向上、補修の低コスト化、重量増加の回避に加えて、孔補修後の金属材の外観をより良好なものとすることが可能となる。

【００２４】

前記孔補修方法においては、前記摩擦攪拌点接合装置は、前記ピン部材または前記ショルダ部材の外側に位置し、前記金属材を一方の面から押圧するクランプ部材と、前記クラ

50

ンプ部材に対向する位置に設けられる裏当て部材と、をさらに備え、前記金属材の他方の面に裏当て部材を当接するとともに、前記金属材の一方の面のうち前記補修領域の外側を前記クランプ部材で押圧することにより、当該金属材を両面から支持する金属材支持工程と、を含む構成であると、より好ましい。

【 0 0 2 5 】

前記構成によれば、クランプ部材および裏当て部材により金属材を支持することで、孔補修の安定性、再現性等を向上できるとともに、クランプ部材によって回転押し込み工程または凹部埋め戻し工程の効率を向上させることができる。

【 0 0 2 6 】

前記孔補修方法においては、前記回転押し込み工程および前記凹部埋め戻し工程は、前記金属材の片面または双方の面から行う構成であればよい。

10

【 0 0 2 7 】

本発明に係る孔補修方法で補修対象となる金属材は特に限定されないが、例えば、前記金属材が航空機を構成する部品または構造体であることが好ましい一例として挙げられる。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 8 】

以上のように、本発明では、穿孔作業において不具合の生じた孔を、補修箇所の強度等が有意に低下することを回避した上で、効率的かつ低コストで補修する方法を提供することができる。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 9 】

【 図 1 】本発明の実施の形態 1 および 2 で用いられる摩擦攪拌点接合装置の一例である、複動式摩擦攪拌点接合装置の要部構成を示す模式図である。

【 図 2 】( a ) ~ ( c ) は、図 1 に示す摩擦攪拌点接合装置を用いて行われる、実施の形態 1 に係る孔補修方法の準備段階を示す工程図である。

【 図 3 】( a ) ~ ( c ) は、図 1 に示す摩擦攪拌点接合装置を用いて行われる、実施の形態 1 に係る孔補修方法の表面補修段階を示す工程図である。

【 図 4 】( a ) ~ ( c ) は、図 3 ( a ) ~ ( c ) に続いて行われる孔補修方法の表面補修段階から裏面補修段階への移行を示す工程図である。

30

【 図 5 】( a ) ~ ( c ) は、図 4 ( a ) ~ ( c ) に続いて行われる孔補修方法の裏面補修段階を示す工程図である。

【 図 6 】( a ) ~ ( e ) は、本発明の実施の形態 2 に係る孔補修方法の一例を示す工程図である。

【 図 7 】( a ) ~ ( f ) は、本発明の実施の形態 2 に係る孔補修方法の他の例を示す工程図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 3 0 】

以下、本発明の好ましい実施の形態を、図面を参照しながら説明する。なお、以下では全ての図を通じて同一又は相当する要素には同一の参照符号を付して、その重複する説明を省略する。

40

【 0 0 3 1 】

( 実施の形態 1 )

[ 摩擦攪拌点接合装置 ]

本発明の実施の形態 1 に係る摩擦攪拌点接合を用いた孔補修方法は、摩擦攪拌点接合装置の代表的な一例として、複動式摩擦攪拌点接合装置を用いている。本実施の形態で用いられる複動式摩擦攪拌点接合装置の代表的な一例について、図 1 を参照して具体的に説明する。なお、以下の説明では、複動式摩擦攪拌点接合 ( Friction Spot Joining ) を、適宜 F S J と省略する。

【 0 0 3 2 】

50

図 1 に示すように、本実施の形態で用いられる F S J 装置 5 0 は、回転工具部 5 1、クランプ部材 5 4 および裏当て部材 5 5 と、図 1 には図示しないが、これらを支持する支持部材、回転工具部 5 1 を駆動する駆動機構等を備えている。クランプ部材 5 4 は、スプリング 4 1 を介して図示しない支持部材に固定されている。

【 0 0 3 3 】

回転工具部 5 1 は、ピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2 から構成されている。ピン部材 1 1 は、略円柱形であり、駆動機構（図示せず）により軸線 X r（回転軸、図中一点鎖線）周りに回転するとともに、破線矢印 P 1 方向すなわち軸線 X r 方向（図 1 では上下方向）に沿って、ショルダ部材 1 2 に対して相対的に進退可能に構成されている。ショルダ部材 1 2 は、中空を有する略円筒状であり、中空内にピン部材 1 1 が内挿され、ピン部材 1 1 の外側において当該ピン部材 1 1 を囲むように支持部材（図示せず）により支持されている。このショルダ部材 1 2 は、駆動機構（図示せず）によりピン部材 1 1 と同一の軸線 X r 周りに回転するとともに、破線矢印 P 2 方向すなわち軸線 X r 方向に沿って、ピン部材 1 1 とともに進退移動可能に構成されている。

10

【 0 0 3 4 】

したがって、ピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2 は、いずれも軸線 X r 周りに一体的に回転するが、互いに軸線 X r 方向に沿って進退移動可能に構成されている。また、ピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2 は、いずれも回転駆動部 5 3 2 により回転する部材であることから、回転部材ということができる。

【 0 0 3 5 】

20

クランプ部材 5 4 は、ショルダ部材 1 2 の外側に設けられ、ショルダ部材 1 2 と同様に、中空を有する円筒状であって、中空内にショルダ部材 1 2 が内挿されている。したがって、ピン部材 1 1 の外周に略円筒状のショルダ部材 1 2 が位置し、ショルダ部材 1 2 の外周に略円筒状のクランプ部材 5 4 が位置している。言い換えれば、クランプ部材 5 4、ショルダ部材 1 2 およびピン部材 1 1 が、それぞれ同軸芯状の入れ子構造となっている。このクランプ部材 5 4 は、加工材 6 0 を一方の面から押圧するものであり、本実施の形態では、前記のとおり、スプリング 4 1 を介して支持部材（図示せず）に支持されている。したがって、クランプ部材 5 4 は裏当て部材 5 5 側に付勢された状態で、破線矢印 P 3 方向に進退移動可能に構成されている。

【 0 0 3 6 】

30

上記構成の回転工具部 5 1 を構成するピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2、並びにクランプ部材 5 4 は、それぞれ当接面 1 1 a および当接面 1 2 a、並びに当接面 5 4 a を備え、これら当接面 1 1 a、1 2 a、5 4 a は、駆動機構（図示せず）により進退移動し、裏当て部材 5 5 との間に配される加工材 6 0 の表面（第一面、一方の面）に当接可能となっている。また、裏当て部材 5 5 は、クランプ部材 5 4（およびピン部材 1 1、ショルダ部材 1 2）に対向する位置に設けられ、加工材 6 0 の裏面に当接するものである。図 1 では、平板状の加工材 6 0 の裏面に当接するように平坦な面を有している。

【 0 0 3 7 】

本実施の形態における回転工具部 5 1 の具体的な構成は、前述した構成に限定されず、F S J の分野で公知の構成を好適に用いることができる。また、裏当て部材 5 5 の具体的な構成も特に限定されず、加工材 6 0 の裏面の形状に合わせた形状であればよい。例えば、図 1 に示す平坦な面を有する構成以外に、複数種類の形状を有する裏当て部材 5 5 が支持部材から外して交換できる部材として別途準備されてもよい。あるいは、F S J 装置 5 0 の構成上、クランプ部材 5 4 および裏当て部材 5 5 は、備えていなくてもよく、さらに、図 1 には図示されない他の部材等が含まれてもよい。

40

【 0 0 3 8 】

加えて、摩擦攪拌接合装置としては、前記構成の F S J 装置 5 0 に限定されず、ピン部材 1 1 のみを備える単動式の摩擦攪拌点接合装置であってもよい。この摩擦攪拌点接合装置は、ピン部材 1 1 の外側にクランプ部材 5 4 を備える構成であってもよいし、前述した F S J 装置 5 0 では説明していない他の部材等を備えていてもよい。後述するように、本

50

発明では、ピン部材 11 を加工材 60 の一方の面に進入させる回転押し込み工程を行った後に、形成された凹部を埋め戻す凹部埋め戻し工程を行うことができればよいので、摩擦攪拌接合装置としても、凹部埋め戻し工程が実行できる構成であれば、どのような構成ものでもあっても好適に用いることができる。

#### 【0039】

##### [ F S ] を用いた孔補修方法 ]

次に、本実施の形態に係る孔補修方法の具体的な工程の一例について、図 2 ( a ) ~ ( c )、図 3 ( a ) ~ ( c )、図 4 ( a ) ~ ( c ) および図 5 ( a ) ~ ( c ) を参照して具体的に説明する。なお、これら各図においては、孔補修方法の工程を説明する便宜上、図 1 に示した当接面 11 a、当接面 12 a および当接面 54 a の参照符号は示さないものとする。

10

#### 【0040】

また、図 3 ( a ) ~ ( c )、図 4 ( a )、( c ) および図 5 ( a ) ~ ( c ) における矢印 p1、p2 は、回転工具部 51 を構成するピン部材 11 およびショルダ部材 12、並びにクランプ部材 54 の移動方向を示し、矢印 p1 が上方向への移動、矢印 p2 が下方向への移動を示す。また、図 3 ( a ) ~ ( c )、図 4 ( c ) および図 5 ( a )、( b ) における矢印 r は、回転部材であるピン部材 11 およびショルダ部材 12 の回転方向を示す。また、図 3 ( a ) ~ ( c )、図 4 ( c ) および図 5 ( a )、( b ) におけるブロック矢印 F は、ピン部材 11、ショルダ部材またはクランプ部材 54 により、加工材 60 としての金属材料 61 に加えられる力の方向を示す。また、ピン部材 11 およびクランプ部材 54 と明確に区別するために、ショルダ部材 12 には網掛けのハッチングを施している。

20

#### 【0041】

本実施の形態に係る孔補修方法は、準備段階、表面補修段階および裏面補修段階の三段階に区分することができる。図 2 ( a ) ~ ( c ) に示す工程は準備段階に相当し、図 3 ( a ) ~ ( c ) および図 4 ( a ) に示す工程は表面補修段階に相当し、図 4 ( b )、( c ) および図 5 ( a ) ~ ( c ) に示す工程は裏面補修段階に相当する。

#### 【0042】

準備段階では、まず図 2 ( a ) に示すように、金属板 61 ( 加工材 60 ) には穿孔作業で不具合の発生した孔 60 c が形成されている。なお、以下の説明では、不具合の発生した孔 60 c を「不具合孔 60 c」と称する。次に、図 2 ( b ) に示すように、不具合孔 60 c に充填材としてのリベット 63 を挿入し、リベット頭 63 b とは反対側の先端部 ( 図中下側 ) をかしめることにより、かしめ部 63 c を形成する。なお、この工程 ( 図 2 ( b ) 参照 ) を「孔充填工程」と称する。

30

#### 【0043】

ここで、孔充填工程では、リベット 63 を必ずかしめなくてもよい。また、不具合孔 60 c を充填する充填材はリベット 63 に限定されない。例えば航空機等の分野においては、リベット 63 の外径は、挿入される孔の内径とほぼ同等の寸法であること、材質等の観点から母材 ( 金属板 61 ) と同等であることから、充填材としてリベット 63 が好適に用いられるが、柱状の部材で不具合孔 60 c を埋めることができるものであれば、リベット 63 以外の部材も好適に用いることができる。

40

#### 【0044】

その後、図 2 ( c ) に示すように、不具合孔 60 c からはみ出た残余部分、具体的には、リベット頭 63 b およびかしめ部 63 c を除去し、不具合孔 60 c をリベット 63 の一部である充填部 63 a で充填する。この工程 ( 図 2 ( c ) 参照 ) を「残余部分除去工程」と称するが、この残余部分除去工程は、金属板 61 の表面 ( 図 2 ( a ) ~ ( c ) では図中上側 ) の残余部分を除去する「表面残余部分除去工程」と、その裏面 ( 図中下側 ) の残余部分を除去する「裏面残余部分除去工程」とに区分することができる。

#### 【0045】

なお、残余部分除去工程は必ずしも行わなくてもよい。つまり、残余部分の除去は本発明の孔補修方法において必須の工程ではない。また、図 2 ( c ) に示す状態は、不具合孔

50

60cに充填部63aが単に充填された状態に過ぎず、母材である金属板61の強度維持には何ら貢献していない上、充填部63aは不具合孔60cから脱離しやすい状態にある。それゆえ、図2(c)に示す状態は、孔補修方法とはなりえない。

【0046】

また、図2(c)に破線で示すように、不具合孔60cおよびその周囲を「補修領域Am」と定義する。この補修領域Amは、後述するように、回転部材の当接面(すなわちピン部材11の当接面11a(図1参照)およびショルダ部材12の当接面12a(図1参照))の直下となる領域である。それゆえ、補修領域Amにおいては、その中心に不具合孔60cが位置していなくてよく、不具合孔60cを含み、回転部材の当接面が当接する所定の領域となっていればよい。

10

【0047】

また、図3(a)~(c)および図4(a)に示す表面補修段階にて補修対象となる表面側の領域と、図4(b),(c)および図5(a)~(c)に示す裏面補修段階にて補修対象となる裏面側の領域とが存在するが、図2(c)においては、これらのうち一方のみ(図中上側の表面)を破線で示している。また、図2(b),(c)においては、いずれも不具合孔60cはリベット63で塞がれているので、不具合孔60cに符号は付していない。以降の工程を示す図3(a)~(c)、図4(a)~(c)および図5(a)~(c)も同様である。

【0048】

次に、表面補修段階では、まず、回転工具部51を金属板61の表面に当接させる。このとき、回転工具部51が表面側の補修領域Amに適切に当接するように位置決めを行う。この位置決めは、例えば、金属板61を移動させながら、回転させない状態の回転工具部51(静止状態にあるピン部材11およびショルダ部材12)と裏当て部材55とで、当該金属板61を何度か挟む作業が挙げられる。

20

【0049】

次に、適切に位置決めされれば、不具合孔60cの裏面に裏当て部材55を当接させるとともに、クランプ部材54により表面における不具合孔60cの外側を押圧する(図3(a)の矢印p1参照)ことで、当該金属板61を支持する。なお、裏当て部材55およびクランプ部材54により金属板61を挟み込んで支持する工程を「金属材支持工程」と称する。この金属材支持工程では、クランプ部材54と裏当て部材55とで金属材61が挟み込まれ、クランプ部材54による押圧(図3(a)のブロック矢印F参照)によりクランプ力が発生する。

30

【0050】

そして、図3(a)に示すように、位置決めされた補修領域Amに対して、ピン部材11の当接面11aおよびショルダ部材12の当接面12aを回転させながら当接させ(図中矢印p1)、一定時間回転させる(図中矢印r)。この状態では、補修領域Amは、回転するピン部材11およびショルダ部材12により「予備加熱」されていることになる。なお、図3(a)では、当接面11aおよび当接面12aは双方が補修領域Amに当接しているが、これに限定されず、回転の軸ぶれを回避するために当接面11aまたは当接面12aのいずれかのみを補修領域Amに当接させてもよい。

40

【0051】

次に、図3(b)に示すように、ピン部材11を金属板61の補修領域Amに向かって進入させる(押し込む)。これにより、補修領域Amの金属材料が軟化して塑性流動を起こし、金属板61の表面に塑性流動部60aが生じるが、この塑性流動部60aは、不具合孔60cを充填する充填部63aと、当該充填部63aの周囲に位置する金属板61の表面まで及ぶ。したがって、充填部63aの表面側の金属材料と不具合孔60cの周囲の金属材料とが全体的に攪拌されて軟化した金属材料となり、金属板61の表面に塑性流動部60aが形成される。さらに、塑性流動部60aの軟化した金属材料は押し込まれたピン部材11(図中矢印p1)により押し退けられ、ピン部材11の直下からショルダ部材12の直下に流動するので、ショルダ部材12はピン部材11から見て浮き上がる(図中

50

矢印 p 2 )。なお、この工程を「回転押し込み工程」と称する。

【 0 0 5 2 】

次に、図 3 ( c ) に示すように、突き出たピン部材 1 1 が徐々に後退する ( 引き込まれる )。ここで、ピン部材 1 1 が引き込まれる間 ( 図中矢印 p 2 )、ショルダ部材 1 2 による押圧力 ( 図中ブロック矢印 F ) は維持されるように押し込んでいる ( 図中矢印 p 1 ) ので、塑性流動部 6 0 a の軟化した金属材料は、ショルダ部材 1 2 の直下から、ピン部材 1 1 の直下に流動する。これにより、金属板 6 1 の表面に形成された凹部が埋め戻される。なお、ピン部材 1 1 は引き込み中であっても ( 図中矢印 p 2 )、その押圧力 ( 図中ブロック矢印 F ) は維持されている。また、この工程を「凹部埋め戻し工程」と称する。

【 0 0 5 3 】

その後、ピン部材 1 1 の当接面 1 1 a ( 図 1 参照 ) およびショルダ部材 1 2 の当接面 1 2 a ( 図 1 参照 ) を、互いに段差がほとんど生じない程度に略合わせて ( 面一として )、金属板 6 1 の表面を整形する。これにより、金属板 6 1 の表面は、実質的な凹部が生じない程度の略平坦な面となる。

【 0 0 5 4 】

次に、図 4 ( a ) に示すように、回転工具部 5 1 および裏当て部材 5 5 を金属板 6 1 から離す ( 図中矢印 p 2 )。このとき、金属板 6 1 の表面の塑性流動部 6 0 a は固相接合部 6 0 b となる。これにより、金属板 6 1 の表面において不具合孔 6 0 c が存在した部位は、固相接合部 6 0 b によって塞がれたことになる。

【 0 0 5 5 】

次に、裏面補修段階では、まず図 4 ( b ) の矢印 v に示すように、金属板 6 1 を反転させるか、図示しないが F S J 装置 5 0 を反転させることにより、裏面を回転工具部 5 1 に、表面を裏当て部材 5 5 に対面させる。次に、回転工具部 5 1 が裏面側の補修領域 A m に対応するように位置決めを行った上で、不具合孔 6 0 c の表面に裏当て部材 5 5 を当接させるとともに、クランプ部材 5 4 により裏面における不具合孔 6 0 c の外側を押圧する ( 金属材支持工程 )。

【 0 0 5 6 】

次に、図 4 ( c ) に示すように、回転工具部 5 1 を金属板 6 1 の裏面に当接させ、ピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2 を金属板 6 1 の裏面に当接した状態で一定時間回転させ ( 図中矢印 r )、図 5 ( a ) に示すように、ピン部材 1 1 を金属板 6 1 に向かって押し込む ( 回転押し込み工程 )。その後、図 5 ( b ) に示すように、突き出たピン部材 1 1 を徐々に引き込ませて、ショルダ部材 1 2 の直下からピン部材 1 1 の直下に流動した金属材料により凹部を埋め戻す ( 凹部埋め戻し工程 )。さらにその後、ピン部材 1 1 の当接面 1 1 a およびショルダ部材 1 2 の当接面 1 2 a を合わせて、金属板 6 1 の裏面を整形し、図 5 ( c ) に示すように、回転工具部 5 1 および裏当て部材 5 5 を金属板 6 1 から離す。このとき、金属板 6 1 の裏面の塑性流動部 6 0 a は固相接合部 6 0 b となる。これにより、金属板 6 1 の裏面において不具合孔 6 0 c が存在した部位も固相接合部 6 0 b によって塞がれ、結果として、充填部 6 3 a が周囲の金属板 6 1 と略一体化することにより不具合孔 6 0 c が塞がれたことになる。

【 0 0 5 7 】

このように、本実施の形態においては、不具合孔 6 0 c が形成された金属板 6 1 において、当該不具合孔 6 0 c に充填材 ( 例えばリベット 6 3 ) を充填し、両面から不具合孔 6 0 c に摩擦攪拌処理を施すことによって、当該不具合孔 6 0 c を補修している。これにより、母材である金属板 6 1 と充填材であるリベット 6 3 ( 厳密にはリベット 6 3 の一部である充填部 6 3 a ) との間には、実質的な境界面が生じることがない。それゆえ、母材と充填材とが略一体化されているため、補修箇所の強度等が低下するおそれがほとんどないので、不具合孔 6 0 c が適切に補修されることになる。

【 0 0 5 8 】

従来の F S J は、金属板を複数枚重ねて点接合により連結することが目的であったために、例えば、上方の金属板と下方の金属板との間に固相接合部が形成されればよく、それ

10

20

30

40

50

ゆえ、凹部の埋め戻しは必ずしも行わなくてもよかった（例えば、参考文献１・特許第３４２９４７５号公報に開示される一般的な摩擦攪拌点接合技術等）。また、公知の副動的に動作するＦＳＪ（例えば、参考文献２・特許第３７０９９７２号公報を参照）においても、形成された貫通孔を補修することを利用できることは知られていなかった。

【００５９】

これに対して、本発明は、例えば図２（ａ）～（ｃ）に示すように、金属板６１の不具合孔６０ｃに充填材（リベット６３等）を充填した上で、例えば図３（ａ）～（ｃ）、図４（ａ）～（ｃ）および図５（ａ）～（ｃ）に示すように、両面からＦＳＪを行うことにより、当該不具合孔６０ｃを有効に補修している。特に、図３（ｂ）、（ｃ）または図５（ａ）、（ｂ）に示すような凹部埋め戻し工程を行うことで、回転押し込み工程で形成されたピン部材１１により形成された凹部を単に埋め戻すだけではなく、孔充填工程で充填された充填部６３ａを金属材６１の一部に略完全に混ぜ合わせることができる。

10

【００６０】

つまり、本発明は、複数の金属板同士を連結するために、その一部を摩擦攪拌点接合で攪拌して混ぜ合わせたり、金属板に凹部を形成したりするためにＦＳＪを利用するのではなく、金属板の一部に少量の充填材を略完全に混ぜ合わせるためにＦＳＪを利用する、という独自の技術思想に基づいて、本発明者らによって完成されたものである。これにより、母材である金属板と充填材との間に、実質的に境界面が生じないように一体化した状態で、孔が補修できるので、補修箇所の強度等が有意に低下するおそれがほとんどない上に、補修の効率性の向上、補修の低コスト化、または補修対象物の重量増加の回避、といった優れた利点を得ることができるものとなっている。

20

【００６１】

〔孔補修方法の諸条件および変形例〕

ここで、本実施の形態における前記各工程の具体的な条件等は特に限定されない。例えば、孔充填工程については、母材と同組成の充填材を充填すればよいが、不具合孔６０ｃが適切に補修できるのであれば、母材とは異なる組成の充填材を充填してもよい。また、本実施の形態では、充填材として不具合孔６０ｃの内径に対応するリベット６３を用いているが、リベット６３以外の形状を有する充填材を用いてもよい。

【００６２】

また、残余部分除去工程については、本実施の形態では、図２（ｂ）、（ｃ）に示すように、金属板６１の表面および裏面の両面において同時に残余部分（リベット頭６３ｂおよびかしめ部６３ｃ）を除去してもよいが、最初は表面の残余部分（リベット頭６３ｂ）のみを除去し、表面補修段階が終了してから裏面の残余部分（かしめ部６３ｃ）を除去してもよい。この場合、金属材支持工程では、裏当て部材５５として、平坦な板状のものではなく、残余部分を含めて金属板６１の裏面全体を支持できるもの（例えば、かしめ部６３ｃに対応する箇所に孔が空いた構成、あるいは、かしめ部６３ｃの周囲に当接するようなカップ型の構成等）を用いればよい。また前述したように、かしめ部６３ｃの形成は必須ではなく、残余部分の除去も必須ではない。

30

【００６３】

また、残余部分除去工程は、金属材支持工程の前、または、凹部埋め戻し工程の後のどちらで行ってもよい。金属材支持工程の前であれば、不要な充填材（リベット６３のリベット頭６３ｂ、かしめ部６３ｃ等）を除去した状態で回転押し込み工程および凹部埋め戻し工程を行うので、これら工程を容易に行うことができる。また、凹部埋め戻し工程の後であれば、充填材の不足等といった不具合の発生を解消できるとともに、ピン部材１１あるいはショルダ部材１２が金属材６１を突き抜けてもかまわないので、これら回転部材の回転押し込み位置に精密な制御が扶養となる。いずれにせよ充填材は必要最低限の量の使用で済む（すなわち充填部６３ａのみで補修できる）ので、金属材６１の重量増加を回避することが可能である。

40

【００６４】

また、回転押し込み工程については、押し込まれるピン部材１１の回転数、押圧力、押

50

し込み速度、押し込みの維持時間等といった押し込み条件は特に限定されない。具体的には、金属板 6 1 の種類、表面または裏面の状態、不具合孔 6 0 c の寸法または形状、充填材の種類または充填状態、補修領域 A m の大きさ等の諸条件に応じて、公知の F S J の押し込み条件を参考として好適な範囲を設定することができる。同様に、凹部埋め戻し工程についても、ピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2 の回転数、押圧力、進退移動の速度、埋め戻しの維持時間等といった埋め戻し条件は特に限定されず、押し込み条件と同様に、公知の F S J の埋め戻し条件を参考として好適な範囲を設定することができる。

#### 【 0 0 6 5 】

また、回転押し込み工程および凹部埋め戻し工程で用いられる回転部材の具体的な構成も特に限定されない。本実施の形態では、図 3 ( a ) ~ ( c )、図 4 ( a ) ~ ( c ) および図 5 ( a ) ~ ( c ) に模式的に示すように、ピン部材 1 1 の外径は、不具合孔 6 0 c の内径と略同じであるが、本発明はこれに限定されず、ピン部材 1 1 の外径は、不具合孔 6 0 c の内径よりも小さくてよい。ピン部材 1 1 の外径が小さくても、F S J によってピン部材 1 1 の直下だけでなく、その周囲の金属材料も軟化して攪拌されることが実験的に検証されている（後述の実施例参照）。また、ピン部材 1 1 の寸法が小さくても有効に孔補修ができるということは、補修領域 A m と回転部材との位置合わせが相対的に容易となることを意味する。

#### 【 0 0 6 6 】

同様の理由で、ショルダ部材 1 2 の寸法、クランプ部材 5 4 の寸法および固定位置、裏当て部材 5 5 の裏当ての面積等についても特に限定されず、孔補修が可能であれば、金属材料の形状、種類または組成、不具合孔 6 0 c の寸法または深さ、充填材の種類、形状または、組成等の諸条件に応じて適宜設定することができる。

#### 【 0 0 6 7 】

さらに、補修対象となる金属材料の具体的な種類も特に限定されない。本実施の形態では、金属板 6 1 を例示しているが、このような板状のものではなく、塊状の金属材料であってもよい。塊状の金属材料に形成された不具合孔 6 0 c を補修する場合には、図 3 ( a ) ~ ( c ) に示す表面補修段階のみを行えばよい。また、塊状の金属材料を補修する場合には、金属材料の形状または設置状態にもよるが、金属材料支持工程では、裏当て部材 5 5 を用いずに、表面からクランプ部材 5 4 のみを当接するだけでもよい。この場合、不具合孔 6 0 c は図 2 ( a ) に示すような貫通孔ではなく、貫通していない凹部（貫通していない穴）である。したがって、本実施の形態に係る孔補修方法は、貫通孔の補修にも凹部の補修にも好適に用いることができる。

#### 【 0 0 6 8 】

加えて、本実施の形態に係る孔補修方法においては、用いられる摩擦攪拌点接合装置の具体的な構成は図 1 に示す構成の F S J 装置 5 0 に限定されず、F S J の分野で公知の各種構成を用いることができる。例えば、F S J 装置 5 0 においては、金属材料支持工程を実行するためのクランプ部材 5 4 および裏当て部材 5 5 は、F S J 装置 5 0 が備えていなくてもよく、別途、孔補修用の支持装置を併用するような構成であってもよい。したがって、孔補修方法としては、金属材料支持工程は行わなくてもよい場合があり得る。

#### 【 0 0 6 9 】

ただし、クランプ部材 5 4 および裏当て部材 5 5 により金属板 6 1 を支持すれば、補修対象物である金属板 6 1 の状態および補修対称箇所である補修領域 A m の相対位置が安定化するので、孔補修の安定性、再現性等を向上することが可能となる。また、クランプ部材 5 4 は、金属板 6 1 の表面を押さえつけるだけでなく、図 3 ( b ) または図 5 ( a ) に示すように、塑性流動部 6 0 a を構成する軟化した金属材料を補修領域 A m 内に収める作用も有するので、回転押し込み工程または凹部埋め戻し工程の効率を向上させることにもなる。したがって、本実施の形態では、金属材料支持工程は行われることが特に好ましい。

#### 【 0 0 7 0 】

また、孔補修工程においては、容易に裏当て部材を配置できない場合もあり得る。この場合には、摩擦攪拌点接合装置に含まれない裏当て部材を別途用いることができる。さら

10

20

30

40

50

に、この場合においては、金属材 6 1 と F S J 装置 5 0 (あるいは他の摩擦攪拌点接合装置)、前記裏当て部材を固定する必要があるが、金属材 6 1 に形成された別の孔等を利用してボルト留めしたり、吸盤等の部材を用いて真空吸着したりすればよい。

#### 【0071】

また、図 1 に示す F S J 装置 5 0 では、ピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2 は、いずれも進退移動可能に構成されているが、もちろんこれに限定されず、ピン部材 1 1 またはショルダ部材 1 2 の一方が進退移動しない構成であってもよい。さらに、ピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2 が一体となった単動式の構成であってもよい。なお、本実施の形態のように、ピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2 がそれぞれ独立して進退移動可能であれば、回転押し込み工程または凹部埋め戻し工程の効率を向上させることができるという利点がある。

10

#### 【0072】

前述した本実施の形態も含め、本発明に係る孔補修方法は、金属製の物体に穿孔作業を行う状況において、形成された孔に不具合が生じたときに、当該孔を補修する場合に広く用いることができる。本発明の代表的な適用対象としては、輸送機器の製造または整備を挙げることができる。輸送機器としては、自動車、鉄道車両、船舶、航空機等を挙げることができるが、本発明に係る孔補修方法は、特に、航空機の製造または整備に好適に用いることができる。

#### 【0073】

航空機は、他の輸送機器と比較して過酷な環境で使用されるため、航空機の製造または整備に際して、不具合の生じた孔を補修するときには、他の輸送機器の分野で用いられる方法(前述した(1)孔への充填剤の充填または(2)肉盛り溶接による孔の充填)を用いることはできない。また、航空機分野で従来用いられている方法(前述した(3)リベット等の栓部材による孔の機械的な閉塞、(4)対象となるファスナーサイズの変更、(5)ダブラ(補強板)による補強と孔の再穿孔等、(6)孔の形成された部品の再度の製作と交換)では、補修の低効率性、高コスト化または航空機の重量増加等が生じる。

20

#### 【0074】

これに対して、例えば本実施の形態に係る孔補修方法であれば、航空機を構成する部品または構造体に不具合孔 6 0 c が形成されても、F S J 装置 5 0 を用いて前述した工程を経ることで、当該不具合孔 6 0 c を適切に補修することができる。しかも、F S J を利用した孔の補修は、簡単な作業で比較的短時間に終了するので、高い効率性を実現でき、かつ、高コスト化も抑制することができる。また、不具合孔 6 0 c を充填材で充填した後に残余部分を除去するので、補修に際して重量増加を招く部材をそのまま残すことがない。したがって、孔補修に際して航空機の重量が増加することを回避できる。

30

#### 【0075】

##### (実施の形態 2)

本発明の実施の形態 2 に係る孔補修方法は、一方の面(例えば表面)のみから不具合孔 6 0 c を補修する方法である。すなわち、本発明は、前記実施の形態 1 のように金属板 6 1 の両面から不具合孔 6 0 c を補修する方法に限定されない。本実施の形態に係る孔補修方法の一例について、図 6 (a) ~ (e) および図 7 (a) ~ (e) を参照して具体的に説明する。なお、これら図においては、回転方向または力の方向を示す矢印は、前記実施の形態 1 と重複するため、その記載を省略している。

40

#### 【0076】

前記実施の形態 1 に係る孔補修方法においては、回転押し込み工程でピン部材 1 1 を押し込んでいたが、本実施の形態では、ショルダ部材 1 2 を押し込む方法となっている。具体的には、まず、図 6 (a) に示すように、金属板 6 1 において、補修準備段階が完了して不具合孔に充填部 6 3 a が充填される。次に、クランプ部材 5 4 および裏当て部材 5 5 で金属板 6 1 を支持し(金属材支持工程)、図 6 (b) に示すように、回転工具部 5 1 を位置合わせして、金属板 6 1 の補修領域 A m に回転工具部 5 1 を当接させて回転部材(ピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2)を押圧しながら回転させる。

50

## 【 0 0 7 7 】

ここで、図 6 ( c ) に示すように、回転押し込み工程では、ショルダ部材 1 2 を金属板 6 1 に向かって押し込む。このとき、ショルダ部材 1 2 は、金属板 6 1 の裏面まで及ぶように押し込まれるのではなく、裏面のごく僅か手前の位置、図 6 ( c ) では、裏面から間隔 C 0 の位置まで、できる限り高精度に押し込むことが好ましい。これにより、補修領域 A m の表面から裏面に至る金属板 6 1 の厚み方向の略全体で金属材料が軟化により塑性流動するので、ショルダ部材 1 2 の直下だけでなくピン部材 1 1 の直下に塑性流動部 6 0 a が生じる。さらに、塑性流動部 6 0 a の軟化した金属材料はショルダ部材 1 2 により押し退けられ、ピン部材 1 1 の直下へ流動するので、ピン部材 1 1 はショルダ部材 1 2 から見て浮き上がることになる。なお、間隔 C 0 の具体的な数値は特に限定されず、F S J により回転部材が裏面に達していなくても、裏面近傍の金属材料が軟化により塑性流動する程度の厚みであればよい。したがって、間隔 C 0 は、金属板 6 1 の厚み、不具合孔の内径、補修領域 A m の面積等の条件に応じて適切な値が適宜設定される。

10

## 【 0 0 7 8 】

その後、図 6 ( d ) に示すように、突き出たショルダ部材 1 2 が徐々に引き込まれることで、金属板 6 1 の表面に形成された凹部が、ピン部材 1 1 の直下からショルダ部材 1 2 の直下に流動した金属材料により埋め戻される ( 凹部埋め戻し工程 ) 。さらにその後、ピン部材 1 1 の当接面 1 1 a およびショルダ部材 1 2 の当接面 1 2 a を合わせて、金属板 6 1 の表面を整形する。これにより、金属板 6 1 の表面は、実質的な凹部が生じない程度の略平坦な表面となる。

20

## 【 0 0 7 9 】

次に、図 6 ( e ) に示すように、回転工具部 5 1 および裏当て部材 5 5 を金属板 6 1 から離す。このとき、金属板 6 1 の塑性流動部 6 0 a は固相接合部 6 0 b となる。これにより、金属板 6 1 の不具合孔が存在していた部位には、表面から裏面に至るまで固相接合部 6 0 b が形成されたことになり、それゆえ、表面から補修するだけで、充填部 6 3 a が周囲の金属板 6 1 と略一体化して不具合孔を塞ぐことができる。

## 【 0 0 8 0 】

あるいは、図 7 ( a ) に示すように、金属板 6 1 において、不具合孔 6 0 c にリベット 6 3 を挿入する点は前記実施の形態 1 に係る方法と同様であるが、リベット 6 3 は、裏当て部材 5 5 が当接する側 ( 図 2 ( b ) 参照 ) 、から挿入される。

30

## 【 0 0 8 1 】

次に、図 7 ( b ) に示すように、かしめ部 ( 図示せず ) を除去あるいは除去せずに、少なくともリベット頭 6 3 b はそのまま残した状態で、回転工具部 5 1 を位置合わせして、クランプ部材 5 4 を表面から金属板 6 1 に当接させる。さらに裏面においては、リベット頭 6 3 b も含めて押えることができる形状の裏当て部材 5 7 を当接させる。そして、金属板 6 1 の補修領域 A m に回転部材 ( ピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2 ) を当接させて押圧しながら回転させる。

## 【 0 0 8 2 】

次に、図 7 ( c ) に示すように、図 6 ( c ) に示す工程と同様に、回転押し込み工程では、ショルダ部材 1 2 を金属板 6 1 に向かって押し込む。このとき、ショルダ部材 1 2 は、間隔 C 0 を確保するように押し込まれるのではなく、金属板 6 1 の裏面を越えてリベット頭 6 3 b まで及ぶように押し込まれる。これにより、金属板 6 1 の厚み方向の略全体だけでなく、リベット頭 6 3 b の金属板 6 1 側まで金属材料が軟化により塑性流動し、金属板 6 1 の表面からリベット頭 6 3 b にまで及ぶ塑性流動部 6 0 a が生じる。そして、塑性流動部 6 0 a の軟化した金属材料はショルダ部材 1 2 により押し退けられ、ピン部材 1 1 の直下へ流動し、ピン部材 1 1 はショルダ部材 1 2 から見て浮き上がる。

40

## 【 0 0 8 3 】

その後、図 7 ( d ) に示すように、ピン部材 1 1 の直下からショルダ部材 1 2 の直下に流動した金属材料により埋め戻され、金属板 6 1 の表面が整形される ( 凹部埋め戻し工程 ) 。さらにその後、図 7 ( e ) に示すように、回転工具部 5 1 および裏当て部材 5 7 を金

50

属板 6 1 から離すと、金属板 6 1 およびリベット頭 6 3 b の塑性流動部 6 0 a は固相接合部 6 0 b となる。この状態では、金属板 6 1 の裏面にはリベット頭 6 3 b が残存している。そこで、図 7 ( f ) に示すように、裏面残余部分除去工程を行って、リベット頭 6 3 b およびこれにつながる固相接合部 6 0 b の一部を除去する。これにより、金属板 6 1 の不具合孔 6 0 c が存在していた部位には、表面から裏面に至るまで固相接合部 6 0 b が形成され、不具合孔が塞がれる。

#### 【 0 0 8 4 】

なお、図 7 ( b ) に示す状態では、リベット 6 3 のかしめ部の大きさ（かしめ部を形成する金属材料の体積）によっては、表面残余部分除去工程を行わなくてもよい。すなわち、かしめ部を残した状態で、回転部材を当接させ、回転押し込み工程に移行することもできる。この場合、凹部埋め戻し工程の後に裏面残余部分除去工程を行うのみでよいので、孔補修方法を簡素化することができる。

10

#### 【 0 0 8 5 】

このように、本発明においては、回転押し込み工程で金属材に押し込まれる回転部材は、前記実施の形態 1 のようにピン部材 1 1 に限定されるものではなく、本実施の形態のようにショルダ部材 1 2 であってもよい。それゆえ、凹部埋め戻し工程においては、金属材から引き抜かれる回転部材はピン部材 1 1 の場合もあればショルダ部材 1 2 の場合もある。いずれにせよ、凹部埋め戻し工程では、ピン部材 1 1 またはショルダ部材 1 2 を引き抜きながら、これら回転部材双方により、前記回転押し込み工程で形成された凹部を埋め戻せばよい。

20

#### 【 0 0 8 6 】

また、本発明においては、回転押し込み工程および凹部埋め戻し工程は、前記実施の形態 1 のように、金属材の表面および裏面の双方から行ってもよいし、本実施の形態のように表面のみから行ってもよい。さらに、残余部分除去工程は、表裏の両面または一方の面に対して金属材支持工程の前に行ってもよいし、凹部埋め戻し工程の後に裏面のみに対して行ってもよい。

#### 【 0 0 8 7 】

残余部分除去工程を金属材支持工程の前に行う場合（前記実施の形態 1 または図 6 ( a ) ~ ( e ) に示す方法の場合）には、不要な充填材を除去した状態で回転押し込み工程および凹部埋め戻し工程を行うことになる。残余部分除去工程は前記のとおり必ずしも行わなくてもよいが、残余部分を有効に除去すれば、孔補修方法の安定性または再現性を向上させることが可能となる。また、残余部分除去工程を凹部埋め戻し工程の後に行う場合（図 7 ( a ) ~ ( f ) に示す方法）には、必要最低限の充填材で孔を補修できるので、金属材の重量増加を回避することが可能である。

30

#### 【 実施例 】

#### 【 0 0 8 8 】

本発明について、実施例に基づいてより具体的に説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。当業者は本発明の範囲を逸脱することなく、種々の変更、修正、および改変を行うことができる。

40

#### 【 0 0 8 9 】

##### （実施例 1）

まず、F S J 装置 5 0 として、川崎重工業株式会社製、複動式 F S J ロボットシステムを用い、回転工具部 5 1 としては、外径 5 mm のピン部材 1 1、外径 1 0 mm および内径 5 . 1 mm のショルダ部材 1 2、内径 1 0 . 0 5 mm および外径 1 6 mm のクランプ部材 5 4 を用いた。

#### 【 0 0 9 0 】

次に、金属板 6 1 として、厚み 0 , 0 8 0 インチ（約 2 . 0 3 2 mm）のアルミニウム材（A L 2 0 2 4 C - T 3、スベック A M S - Q Q A - 2 5 0 / 5）を用い、図 2 ( a ) に示すように、この金属板 6 1 に 4 . 8 5 mm の不具合孔 6 0 c を穿孔し、図 2 ( b ) に示すように、この不具合孔 6 0 c にアルミニウム材のリベット 6 3 ( A L - A L Y 2 1 1

50

7 - T 4) を打鋸した。その後、図 2 ( c ) に示すように、リベット頭 6 3 b およびかしめ部 6 3 c を除去した ( 準備段階の完了 ) 。

#### 【 0 0 9 1 】

次に、図 3 ( a ) ~ ( c ) および図 4 ( a ) に示すように、前記構成の F S J 装置 5 0 を用いて表面補修段階の各工程を行い、図 4 ( b ) , ( c ) および図 5 ( a ) ~ ( c ) に示すように、金属板 6 1 を表裏反転させて裏面補修段階の各工程を行った。このとき、回転部材 ( ピン部材 1 1 およびショルダ部材 1 2 ) の回転数を 1 5 0 0 r p m に設定するとともに、押圧力を 4 5 0 0 N に設定した。

#### 【 0 0 9 2 】

得られた補修後の金属板 6 1 の断面を電子顕微鏡で観察した結果、金属板 6 1 の厚み方向全体にわたって、母材 ( 金属板 6 1 ) および充填材 ( リベット 6 3 の充填部 6 3 a ) との境界面が実質的に消失し、一体化していることが確認された。また、補修後の金属板 6 1 の断面において、マイクロビッカース硬度を測定したが、不具合孔 6 0 c のあった箇所はいずれも十分な硬度を有していることが明らかとなり、充填部 6 3 a に対応する箇所の一部では、挿入前の充填材と同等あるいはそれ以上の硬度であることが明らかとなった。

#### 【 0 0 9 3 】

##### ( 実施例 2 )

ピン部材 1 1 として、外径 4 mm のものを用いるとともに、ショルダ部材 1 2 として、外径 8 mm および内径 4 . 0 5 mm のものを用い、クランプ部材 5 4 として、内径 8 . 0 5 mm および外径 1 4 mm のものを用いた以外は、前記実施例 1 と同様に、# 1 0 の不具合孔 6 0 c を補修した。

#### 【 0 0 9 4 】

その結果、前記実施例 1 と同様に、金属板 6 1 の厚み方向全体にわたって、母材 ( 金属板 6 1 ) および充填材 ( リベット 6 3 の充填部 6 3 a ) との境界面が実質的に消失し、一体化していることが確認された。

#### 【 0 0 9 5 】

なお、本発明は上記の実施の形態の記載に限定されるものではなく、特許請求の範囲に示した範囲内で種々の変更が可能であり、異なる実施の形態や複数の変形例にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせ得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

#### 【 産業上の利用可能性 】

#### 【 0 0 9 6 】

本発明は、金属材の穿孔作業において不具合が生じた孔を補修する分野に広く用いることができ、特に、航空機の製造または整備等の分野に好適に用いることができる。

#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 9 7 】

- 1 1      ピン部材 ( 回転部材 )
- 1 2      ショルダ部材 ( 回転部材 )
- 5 0      F S J 装置
- 5 1      回転工具部
- 5 4      クランプ部材
- 5 5      裏当て部材
- 5 7      裏当て部材
- 6 0 c    不具合孔
- 6 1      金属板 ( 金属材 )
- 6 3      リベット ( 充填材 )
- 6 3 a    充填部 ( 充填材 )
- 6 3 b    リベット頭 ( 残余部分 )
- 6 3 c    かしめ部 ( 残余部分 )

10

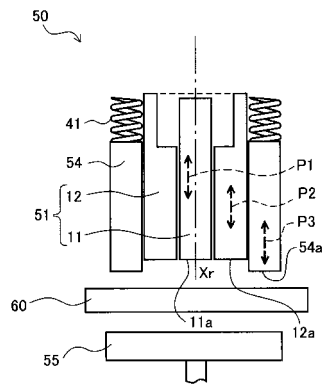
20

30

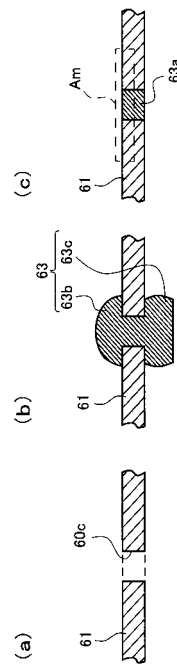
40

50

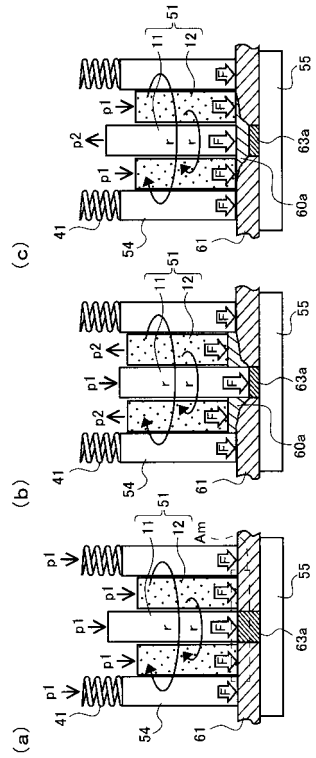
【図 1】



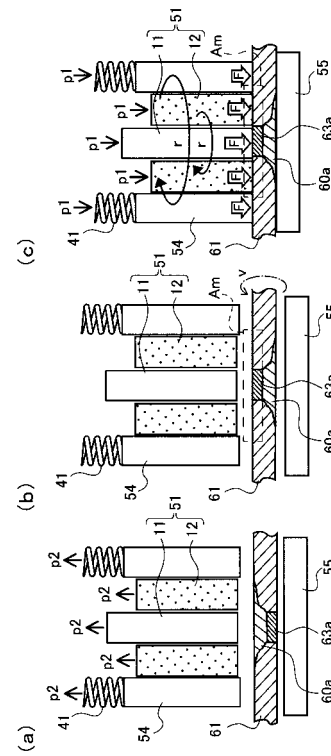
【図 2】



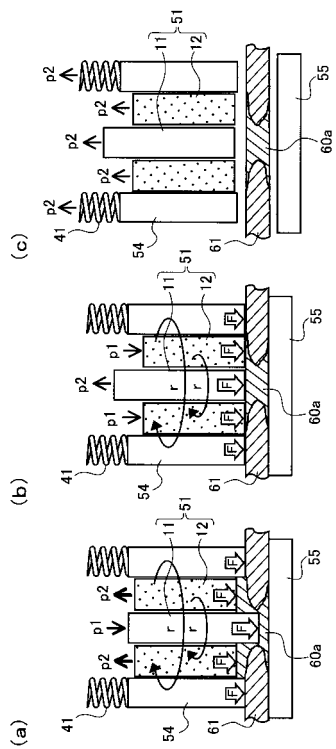
【図 3】



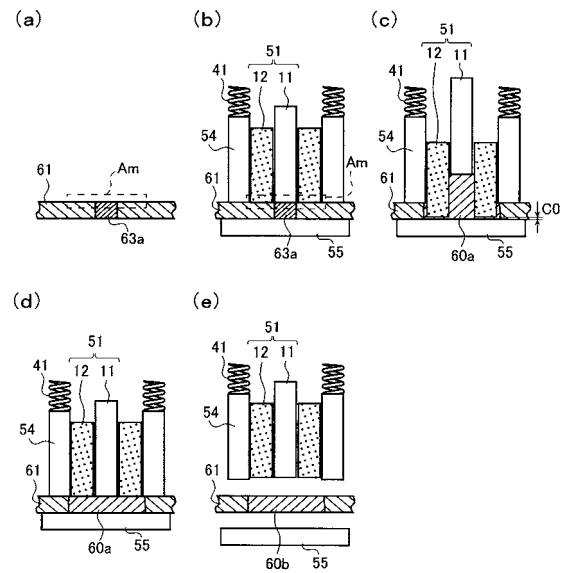
【図 4】



【図 5】



【図 6】





---

フロントページの続き

(72)発明者 上向 賢一

岐阜県各務原市川崎町 1 番地 川崎重工業株式会社岐阜工場内

F ターム(参考) 4E167 AA06 BG08 BG09 BG11 BG13 BG29 BG35 DA09 DA10 DA11  
DA12