

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7575673号
(P7575673)

(45)発行日 令和6年10月30日(2024.10.30)

(24)登録日 令和6年10月22日(2024.10.22)

(51)国際特許分類

F I

B 2 3 K 11/11 (2006.01) B 2 3 K 11/11 5 4 0

B 2 3 K 11/24 (2006.01) B 2 3 K 11/24 3 3 6

請求項の数 21 (全45頁)

(21)出願番号	特願2021-4894(P2021-4894)	(73)特許権者	000006655
(22)出願日	令和3年1月15日(2021.1.15)		日本製鉄株式会社
(65)公開番号	特開2021-109244(P2021-109244 A)	(74)代理人	東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 110001519
(43)公開日	令和3年8月2日(2021.8.2)		弁理士法人太陽国際特許事務所
審査請求日	令和5年9月19日(2023.9.19)	(72)発明者	嶋田 直明
(31)優先権主張番号	特願2020-4731(P2020-4731)		東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号
(32)優先日	令和2年1月15日(2020.1.15)		日本製鉄株式会社内
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72)発明者	児玉 真二
			東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号
			日本製鉄株式会社内
		審査官	柏原 郁昭

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 抵抗スポット溶接における打角測定方法、抵抗スポット溶接継手の製造方法及び抵抗スポット溶接装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

対向して配置された第一電極及び第二電極のうちの前記第一電極に周方向に複数のひずみゲージを取り付けた状態で、重ね合わされた複数の金属材料を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟み、

前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出する、

ことを含み、

前記複数のひずみゲージは、等間隔に配置された3つ以上のひずみゲージであり、
前記3つ以上のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε から前記打角がない場合のひずみ測定値 $\varepsilon_{\varphi = 0}$ をそれぞれ減算して複数のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ を算出し、前記複数のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出する、
抵抗スポット溶接における打角測定方法。

【請求項 2】

対向して配置された第一電極及び第二電極のうちの前記第一電極に周方向に複数のひずみゲージを取り付けた状態で、重ね合わされた複数の金属材料を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟み、

前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方

向 θ と大きさ φ を算出する、

ことを含み、

前記複数のひずみゲージは、等間隔に配置された 3 つ以上のひずみゲージであり、

前記 3 つ以上のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε から前記複数のひずみ測定値 ε の平均値 ε_m をそれぞれ減算して複数の偏差ひずみ ε' を算出し、前記複数の偏差ひずみ ε' に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出する、

抵抗スポット溶接における打角測定方法。

【請求項 3】

前記 3 つ以上のひずみゲージで測定されたひずみ測定値 ε の平均値を用いて、前記第一電極と前記溶接対象との間の加圧力をさらに算出する、

請求項 1 又は請求項 2 に記載の抵抗スポット溶接における打角測定方法。

【請求項 4】

前記第一電極は固定電極である、

請求項 1 ～ 請求項 3 のいずれか一項に記載の抵抗スポット溶接における打角測定方法。

【請求項 5】

前記第一電極に前記複数のひずみゲージとしての複数の第一ひずみゲージを取り付け、

前記第二電極に周方向に複数の第二ひずみゲージを取り付け、

前記複数の第二ひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε を用いて、前記打角の方向 θ 及び大きさ φ 、並びに / 又は、前記第二電極と前記溶接対象との間の加圧力を算出する、

請求項 1 ～ 請求項 4 のいずれか一項に記載の抵抗スポット溶接における打角測定方法。

【請求項 6】

前記複数の偏差ひずみ ε' から前記打角がない場合の前記複数の偏差ひずみ ε' である複数の基準偏差ひずみ $\varepsilon_{\varphi=0}'$ をそれぞれ減算して複数の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ を算出し、前記複数の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出する、

請求項 2、又は、請求項 2 に従属する請求項 3 ～ 請求項 5 のいずれか一項に記載の抵抗スポット溶接における打角測定方法。

【請求項 7】

前記複数のひずみゲージとして 4 つのひずみゲージを前記第一電極における周方向に 90° 間隔で離れた位置に取り付けた状態とし、

前記複数の偏差ひずみ変化量としての 4 つの偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ のうち、値がマイナス側に最も大きい第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ を特定すると共に、前記第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ が検出された位置から前記第一電極の周方向に $\pm 90^\circ$ 離れた 2 つの位置でそれぞれ検出された偏差ひずみ変化量のうち値がマイナス側に大きい方の第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ を特定し、

前記第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ 及び前記第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出する、

請求項 6 に記載の抵抗スポット溶接における打角測定方法。

【請求項 8】

式 (10) で定義される合成偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_N'$ と前記打角の大きさ φ との関係から比例係数 α を予め算出し、

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{\{(\Delta \varepsilon_1')^2 + (\Delta \varepsilon_2')^2\} \cdots (10)}$$

前記第一電極の軸線に垂直な平面で切った場合の前記第一電極の断面上に予め設定され、

前記第一電極の断面の中心から前記第一電極の径方向外側に延びる線を基準線とし、

前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線から前記第一電極の軸線に向かって降ろした垂線と前記基準線とが前記第一電極の断面上においてなす角度を前記打角の方向 $\theta [^\circ]$ とし、

前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線と前記第一電極の軸線とのなす角度を前記打角の大きさ $\varphi [^\circ]$ とし、

前記基準線上の位置、前記基準線から前記第一電極の周方向に 90° 離れた位置、前記

10

20

30

40

50

基準線から前記第一電極の周方向に 180° 離れた位置、及び、前記基準線から前記第一電極の周方向に 270° 離れた位置に、前記4つのひずみゲージをそれぞれ配置した状態とし、

前記基準線上の位置で検出された偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ を $\Delta \varepsilon_0'$ とし、

前記基準線から前記第一電極の周方向に 90° 離れた位置で検出された偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ を $\Delta \varepsilon_{90}'$ とし、

前記基準線から前記第一電極の周方向に 180° 離れた位置で検出された偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ を $\Delta \varepsilon_{180}'$ とし、

前記基準線から前記第一電極の周方向に 270° 離れた位置で検出された偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ を $\Delta \varepsilon_{270}'$ とした場合に、

$\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_0' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{90}' (< 0)$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式 (A - 1) ~ (A - 3) により算出し、

$$\theta = \arctan(|\Delta \varepsilon_2'| / |\Delta \varepsilon_1'|) \times 180 / \pi \cdots (A - 1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (A - 2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1'^2) + (\Delta \varepsilon_2'^2)} \cdots (A - 3)$$

$\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{90}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{180}' (< 0)$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式 (B - 1) ~ (B - 3) により算出し、

$$\theta = \arctan(|\Delta \varepsilon_1'| / |\Delta \varepsilon_2'|) \times 180 / \pi \cdots (B - 1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (B - 2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1'^2) + (\Delta \varepsilon_2'^2)} \cdots (B - 3)$$

$\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{90}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{180}' (< 0)$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式 (C - 1) ~ (C - 3) により算出し、

$$\theta = \{ \pi / 2 + \arctan(|\Delta \varepsilon_2'| / |\Delta \varepsilon_1'|) \} \times 180 / \pi \cdots (C - 1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (C - 2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1'^2) + (\Delta \varepsilon_2'^2)} \cdots (C - 3)$$

$\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{180}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{90}' (< 0)$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式 (D - 1) ~ (D - 3) により算出し、

$$\theta = \{ \pi / 2 + \arctan(|\Delta \varepsilon_1'| / |\Delta \varepsilon_2'|) \} \times 180 / \pi \cdots (D - 1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (D - 2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1'^2) + (\Delta \varepsilon_2'^2)} \cdots (D - 3)$$

$\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{180}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{270}' (< 0)$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式 (E - 1) ~ (E - 3) により算出し、

$$\theta = \{ \pi + \arctan(|\Delta \varepsilon_2'| / |\Delta \varepsilon_1'|) \} \times 180 / \pi \cdots (E - 1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (E - 2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1'^2) + (\Delta \varepsilon_2'^2)} \cdots (E - 3)$$

$\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{270}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{180}' (< 0)$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式 (F - 1) ~ (F - 3) により算出し、

$$\theta = \{ \pi + \arctan(|\Delta \varepsilon_1'| / |\Delta \varepsilon_2'|) \} \times 180 / \pi \cdots (F - 1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (F - 2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1'^2) + (\Delta \varepsilon_2'^2)} \cdots (F - 3)$$

$\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{270}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{90}' (< 0)$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式 (G - 1) ~ (G - 3) により算出し、

$$\theta = \{ 3\pi / 2 + \arctan(|\Delta \varepsilon_2'| / |\Delta \varepsilon_1'|) \} \times 180 / \pi \cdots (G - 1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (G - 2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1'^2) + (\Delta \varepsilon_2'^2)} \cdots (G - 3)$$

$\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_0' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{270}' (< 0)$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式 (H - 1) ~ (H - 3) により算出し、

10

20

30

40

50

$\theta = \{ 3\pi / 2 + \arctan (| \Delta \varepsilon 1' | / | \Delta \varepsilon 2' |) \times 180 / \pi \cdots (H - 1)$

$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (H - 2)$

$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{ \{ (\Delta \varepsilon 1'^2) + (\Delta \varepsilon 2')^2 \} } \cdots (H - 3)$

$\Delta \varepsilon 1' = \Delta \varepsilon_0' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon 2' = 0$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式(I - 1) ~ (I - 3)により算出し、

$\theta = 0 \cdots (I - 1)$

$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (I - 2)$

$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{ \{ (\Delta \varepsilon 1'^2) + (\Delta \varepsilon 2')^2 \} } \cdots (I - 3)$

$\Delta \varepsilon 1' = \Delta \varepsilon_0' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon 2' = 0$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式(J - 1) ~ (J - 3)により算出し、

$\theta = 90 \cdots (J - 1)$

$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (J - 2)$

$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{ \{ (\Delta \varepsilon 1'^2) + (\Delta \varepsilon 2')^2 \} } \cdots (J - 3)$

$\Delta \varepsilon 1' = \Delta \varepsilon_{180}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon 2' = 0$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式(K - 1) ~ (K - 3)により算出し、

$\theta = 180 \cdots (K - 1)$

$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (K - 2)$

$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{ \{ (\Delta \varepsilon 1'^2) + (\Delta \varepsilon 2')^2 \} } \cdots (K - 3)$

$\Delta \varepsilon 1' = \Delta \varepsilon_{270}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon 2' = 0$ であるときには、前記打角の方向 θ と大きさ φ を次式(L - 1) ~ (L - 3)により算出し、

$\theta = 270 \cdots (L - 1)$

$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (L - 2)$

$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{ \{ (\Delta \varepsilon 1'^2) + (\Delta \varepsilon 2')^2 \} } \cdots (L - 3)$

$\Delta \varepsilon 1' = 0$ 、 $\Delta \varepsilon 2' = 0$ であるときには、前記打角の方向 θ は算出せず、大きさ φ を次式(M - 1)により算出する、

$\varphi = 0 \cdots (M - 1)$

請求項7に記載の抵抗スポット溶接における打角測定方法。

【請求項9】

前記第一電極に前記複数のひずみゲージとしての複数の第一ひずみゲージを取り付け、

前記第二電極に周方向に等間隔で複数の第二ひずみゲージを取り付け、

前記複数の第一ひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出する手法と同一の手法により、前記複数の第二ひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第二電極との接触面の法線に対する前記第二電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出する、

請求項1 ~ 請求項8のいずれか一項に記載の抵抗スポット溶接における打角測定方法。

【請求項10】

対向して配置された第一電極及び第二電極のうちの前記第一電極に周方向に電気的な複数のひずみゲージを取り付けた状態で、重ね合わされた複数の金属材料を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟み、

前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出し、

その後、前記第一電極及び前記第二電極に通電して前記溶接対象をスポット溶接し、前記溶接対象から抵抗スポット溶接継手を得る、

ことを含む抵抗スポット溶接継手の製造方法。

【請求項11】

前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出し、前記打角の大きさ φ が予め定められた規定値以上である場合には、前記打角の大きさ φ を前記規定値未満に修正し、

その後、前記第一電極及び前記第二電極に通電して前記溶接対象をスポット溶接する、

10

20

30

40

50

請求項 1 0 に記載の抵抗スポット溶接継手の製造方法。

【請求項 1 2】

前記第一電極及び前記第二電極の一方は、固定電極であり、

前記第一電極及び前記第二電極のうち少なくとも前記固定電極には、前記複数のひずみゲージが取り付けられており、

前記第一電極及び前記第二電極のうち少なくとも前記固定電極の加圧力を、前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε の平均値 ε_m に基づいて算出し、

前記加圧力に基づいて、溶接ガンの位置を調整する、

請求項 1 0 又は請求項 1 1 に記載の抵抗スポット溶接継手の製造方法。

【請求項 1 3】

前記複数の金属材料は、複数の鋼板であり、

前記複数の鋼板は、重ね合わせ面に亜鉛めっきが被覆された鋼板を 1 枚以上含み、

重ね合わされた前記複数の鋼板の溶接箇所の総板厚を t [mm] とした場合に、

前記第一電極及び前記第二電極への通電時間を $(5t + 2.8\phi + 2) / 50$ [sec] 以上とする、

請求項 1 0 ~ 請求項 1 2 のいずれか一項に記載の抵抗スポット溶接継手の製造方法。

【請求項 1 4】

前記複数の金属材料は、複数の鋼板であり、

前記複数の鋼板のうち少なくとも 1 枚は、金属めっき層を有する表面処理鋼板であり、

前記第一電極及び前記第二電極への通電終了後の加圧力保持時間を H [msec]、前記複数の鋼板のうち最も板厚が大きい鋼板の板厚を t [mm]、前記複数の鋼板のうち最も引張強度が大きい鋼板の引張強度を T [MPa]、前記第一電極及び前記第二電極の加圧力を F [N] とした場合に、

$0 < \phi < 1$ であるときには、 $2 \cdot \phi \cdot (t \cdot T / F)^{1/2} \cdot H$ を満たし、

$1 < \phi < 10$ であるときには、 $(3 \cdot \phi - 1) \cdot (t \cdot T / F)^{1/2} \cdot H$ を満たし、

$10 < \phi < 20$ であるときには、 $(\phi + 19) \cdot (t \cdot T / F)^{1/2} \cdot H$ を満たす、

請求項 1 0 ~ 請求項 1 3 のいずれか一項に記載の抵抗スポット溶接継手の製造方法。

【請求項 1 5】

前記複数の金属材料は、複数の鋼板であり、

前記複数の鋼板は、重ね合わせ面に亜鉛めっきが被覆された鋼板を 1 枚以上含む、

請求項 1 0 ~ 請求項 1 4 のいずれか一項に記載の抵抗スポット溶接継手の製造方法。

【請求項 1 6】

前記複数のひずみゲージを前記第一電極に取り付けたまま、前記第一電極及び前記第二電極に通電して前記溶接対象を溶接する、

請求項 1 0 ~ 請求項 1 5 のいずれか一項に記載の抵抗スポット溶接継手の製造方法。

【請求項 1 7】

対向して配置された第一電極及び第二電極と、

前記第一電極に周方向に取り付けられた複数のひずみゲージと、

重ね合わされた複数の金属材料を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟んだ状態で前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ ϕ を算出し、その後、前記第一電極及び前記第二電極に通電して前記溶接対象をスポット溶接する制御を行う制御部と、

を備え、

前記複数のひずみゲージは、等間隔に配置された 3 つ以上のひずみゲージであり、

前記制御部は、前記 3 つ以上のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε から前記打角がない場合のひずみ測定値 $\varepsilon_{\phi=0}$ をそれぞれ減算して複数のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ を算出し、前記複数のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ ϕ を算出する、

抵抗スポット溶接装置。

【請求項 1 8】

10

20

30

40

50

対向して配置された第一電極及び第二電極と、

前記第一電極に周方向に取り付けられた複数のひずみゲージと、

重ね合わされた複数の金属材を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟んだ状態で前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出し、その後、前記第一電極及び前記第二電極に通電して前記溶接対象をスポット溶接する制御を行う制御部と、

を備え、

前記複数のひずみゲージは、等間隔に配置された3つ以上のひずみゲージであり、

前記制御部は、前記3つ以上のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε から前記複数のひずみ測定値 ε の平均値 ε_m をそれぞれ減算して複数の偏差ひずみ ε' を算出し、前記複数の偏差ひずみ ε' に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出する、

抵抗スポット溶接装置。

【請求項19】

前記制御部は、前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出し、前記打角の大きさ φ が予め定められた規定値以上である場合には、前記打角の大きさ φ を前記規定値未満に修正し、その後、前記第一電極及び前記第二電極に通電して前記溶接対象をスポット溶接する制御を行う、請求項17又は請求項18に記載の抵抗スポット溶接装置。

【請求項20】

対向して配置された第一電極及び第二電極と、

前記第一電極に周方向に取り付けられた複数のひずみゲージと、

重ね合わされた複数の金属材を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟んだ状態で前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出し、その後、前記第一電極及び前記第二電極に通電して前記溶接対象をスポット溶接する制御を行う制御部と、

を備え、

前記第一電極及び前記第二電極の一方は、固定電極であり、

前記第一電極及び前記第二電極のうち少なくとも前記固定電極には、前記複数のひずみゲージが取り付けられており、

前記制御部は、

前記第一電極及び前記第二電極のうち少なくとも前記固定電極の加圧力を、前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε の平均値 ε_m に基づいて算出し、

前記加圧力に基づいて、溶接ガンの位置を調整する制御を行う、

抵抗スポット溶接装置。

【請求項21】

前記第一電極には、前記複数のひずみゲージとしての複数の第一ひずみゲージが取り付けられ、

前記第二電極には、周方向に等間隔で複数の第二ひずみゲージが取り付けられ、

前記制御部は、前記複数の第一ひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出する手法と同一の手法により、前記複数の第二ひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第二電極との接触面の法線に対する前記第二電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出する、

請求項17～請求項20のいずれか一項に記載の抵抗スポット溶接装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、抵抗スポット溶接における打角測定方法、抵抗スポット溶接継手の製造方法及び抵抗スポット溶接装置に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

例えば、自動車部品の溶接組立工程には、量産性に優れた抵抗スポット溶接が広く適用されている。一般的に、抵抗スポット溶接機としては、産業用ロボットに抵抗スポット溶接用の一對の電極を有する溶接ガンを組み合わせた抵抗スポット溶接ロボットが用いられている。

【0003】

実際の溶接組立工程で生じる代表的な外乱の一つに、電極の打角が挙げられる。打角とは、溶接対象における電極との接触面の法線に対して電極の軸線が傾くことである。打角がある状態でスポット溶接した場合には、溶接品質への悪影響が生じる虞がある。特に、溶接対象として亜鉛めっき鋼板を用いた場合には、溶融亜鉛に起因した液体金属脆化割れ（以下、LME割れと呼ぶ。LME：Liquid Metal Embrittlement）が発生し問題になる。

10

【0004】

ここで、例えば、特許文献1～特許文献6には、打角検出手段を用いて打角を検出する技術が記載されている。また、特許文献7には、電極に光学的なひずみゲージを取り付け、通電開始後にひずみゲージから出力された信号に基づいて電極に加わる荷重の方向と大きさを検出する技術が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0005】

【文献】特開2002-35952号公報

【文献】特開2002-45976号公報

【文献】特開平10-143212号公報

【文献】特許第3359012号公報

【文献】特許第5101466号公報

【文献】特許第3982603号公報

【文献】特開2015-155103号公報

【文献】特開2011-156564号公報

【文献】特開2018-39019号公報

30

【文献】国際公開第2017/033455号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

発明者らは、打角の方向と大きさを検出することができれば、例えば、スポット溶接の打点毎に溶接可否の判断や溶接条件の変更等が可能になり、溶接品質を安定させることができる考えた。

【0007】

また、発明者らは、特許文献1～特許文献6に記載されている打角検出手段に対しては、電極の周辺部品と干渉しない省スペース性や、イニシャルコスト及びランニングコスト等の経済性が同時に要求されると考えた。

40

【0008】

さらに、発明者らは、打角の方向と大きさを検出することに着目して検討したが、特許文献7には、打角の方向と大きさを検出することは記載されていなかった。

【0009】

そこで、本発明の第一の目的は、電極の周辺部品と干渉しない省スペース性や、イニシャルコスト及びランニングコスト等の経済性の課題を解決しつつ、打角の方向と大きさを精度よく検出できる抵抗スポット溶接における打角測定方法を提供することとする。

【0010】

また、発明の第二の目的は、溶接品質を安定させることができる抵抗スポット溶接継手

50

の製造方法を提供することとする。

【0011】

さらに、発明の第三の目的は、溶接品質を安定させることができる抵抗スポット溶接装置を提供することとする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の第一態様に係る抵抗スポット溶接における打角測定方法は、対向して配置された第一電極及び第二電極のうちの前記第一電極に周方向に複数のひずみゲージを取り付けた状態で、重ね合わされた複数の金属材料を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟み、前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出する、ことを含み、前記複数のひずみゲージは、等間隔に配置された3つ以上のひずみゲージであり、前記3つ以上のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε から前記打角がない場合のひずみ測定値 $\varepsilon_{\varphi=0}$ をそれぞれ減算して複数のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ を算出し、前記複数のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出する。

10

本発明の第二態様に係る抵抗スポット溶接における打角測定方法は、対向して配置された第一電極及び第二電極のうちの前記第一電極に周方向に複数のひずみゲージを取り付けた状態で、重ね合わされた複数の金属材料を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟み、前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出する、ことを含み、前記複数のひずみゲージは、等間隔に配置された3つ以上のひずみゲージであり、前記3つ以上のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε から前記複数のひずみ測定値 ε の平均値 ε_m をそれぞれ減算して複数の偏差ひずみ ε' を算出し、前記複数の偏差ひずみ ε' に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出する。

20

【0013】

本発明の第三態様に係る抵抗スポット溶接継手の製造方法は、対向して配置された第一電極及び第二電極のうちの前記第一電極に周方向に電気的な複数のひずみゲージを取り付けた状態で、重ね合わされた複数の金属材料を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟み、前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出し、その後、前記第一電極及び前記第二電極に通電して前記溶接対象をスポット溶接し、前記溶接対象から抵抗スポット溶接継手を得る、ことを含む。

30

【0014】

本発明の第四態様に係る抵抗スポット溶接装置は、対向して配置された第一電極及び第二電極と、前記第一電極に周方向に取り付けられた複数のひずみゲージと、重ね合わされた複数の金属材料を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟んだ状態で前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出し、その後、前記第一電極及び前記第二電極に通電して前記溶接対象をスポット溶接する制御を行う制御部と、を備え、前記複数のひずみゲージは、等間隔に配置された3つ以上のひずみゲージであり、前記制御部は、前記3つ以上のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε から前記打角がない場合のひずみ測定値 $\varepsilon_{\varphi=0}$ をそれぞれ減算して複数のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ を算出し、前記複数のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出する。

40

本発明の第五態様に係る抵抗スポット溶接装置は、対向して配置された第一電極及び第二電極と、前記第一電極に周方向に取り付けられた複数のひずみゲージと、重ね合わされた複数の金属材料を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟んだ状態で前記複

50

数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出し、その後、前記第一電極及び前記第二電極に通電して前記溶接対象をスポット溶接する制御を行う制御部と、を備え、前記複数のひずみゲージは、等間隔に配置された3つ以上のひずみゲージであり、前記制御部は、前記3つ以上のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε から前記複数のひずみ測定値 ε の平均値 ε_m をそれぞれ減算して複数の偏差ひずみ ε' を算出し、前記複数の偏差ひずみ ε' に基づいて前記打角の方向 θ と大きさ φ を算出する。

本発明の第六態様に係る抵抗スポット溶接装置は、対向して配置された第一電極及び第二電極と、前記第一電極に周方向に取り付けられた複数のひずみゲージと、

重ね合わされた複数の金属材料を有する溶接対象を前記第一電極及び前記第二電極で挟んだ状態で前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε に基づいて前記溶接対象における前記第一電極との接触面の法線に対する前記第一電極の軸線の傾きである打角の方向 θ と大きさ φ を算出し、その後、前記第一電極及び前記第二電極に通電して前記溶接対象をスポット溶接する制御を行う制御部と、を備え、前記第一電極及び前記第二電極の一方は、固定電極であり、前記第一電極及び前記第二電極のうち少なくとも前記固定電極には、前記複数のひずみゲージが取り付けられており、前記制御部は、前記第一電極及び前記第二電極のうち少なくとも前記固定電極の加圧力を、前記複数のひずみゲージで測定された複数のひずみ測定値 ε の平均値 ε_m に基づいて算出し、前記加圧力に基づいて、溶接ガンの位置を調整する制御を行う。

【発明の効果】

【0015】

本発明の第一態様又は第二態様に係る抵抗スポット溶接における打角測定方法によれば、第一電極及び第二電極の周辺部品と干渉しない省スペース性や、インシャルコスト及びランニングコスト等の経済性の課題を解決しつつ、打角の方向と大きさを精度よく検出できる。

【0016】

本発明の第三態様に係る抵抗スポット溶接継手の製造方法によれば、溶接品質を安定させることができる。

【0017】

本発明の第四態様、第五態様、又は第六態様に係る抵抗スポット溶接装置によれば、溶接品質を安定させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の第一実施形態に係る抵抗スポット溶接装置を示す図である。

【図2】図1の抵抗スポット溶接装置における上電極の打角の方向 θ と大きさ φ を説明する図である。

【図3】図1の抵抗スポット溶接装置における上電極及び下電極の各加圧力と上電極及び下電極へ供給される電流のタイムチャートを示す図である。

【図4】図3の加圧工程において4つのひずみゲージで測定されたひずみ測定値 ε を打角の大きさ φ 毎に示したグラフである。

【図5】図4のグラフに基づいて算出された偏差ひずみ ε' を打角の大きさ φ 毎に示したグラフである。

【図6】図5のグラフに基づいて算出された偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ を打角の大きさ φ 毎に示したグラフである。

【図7】一例として打角の方向 $\theta = 120^\circ$ である場合の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ を打角の大きさ φ 毎に示したグラフである。

【図8】合成偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_N'$ を模式的に説明する平面図である。

【図9】合成偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_N'$ と打角の大きさ φ との関係を複数の条件毎に示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図 1 0】打角の方向 θ の変形の一例を示す図である。

【図 1 1】図 1 の制御部における処理の流れを示すフローチャートである。

【図 1 2】実施例における打角の方向 θ の測定結果を示すグラフである。

【図 1 3】実施例における打角の大きさ ϕ の測定結果を示すグラフである。

【図 1 4】本発明の第一実施形態に係る抵抗スポット溶接装置の第一変形例を示す図である。

【図 1 5】図 1 4 の抵抗スポット溶接装置における下電極の打角の方向 θ と大きさ ϕ を説明する図である。

【図 1 6】本発明の第一実施形態に係る抵抗スポット溶接装置の第二変形例を示す図である。

【図 1 7】図 1 6 の抵抗スポット溶接装置における上電極の打角の方向 θ_1 と大きさ ϕ_1 及び下電極の打角の方向 θ_2 と大きさ ϕ_2 を説明する図である。

【図 1 8】上電極及び下電極の各加圧力と上電極及び下電極に取り付けられた各 4 つのひずみゲージのひずみ測定値の平均値 ε_m との関係の一例を示すグラフである。

【図 1 9】ひずみゲージの数が 1 つ、2 つ、4 つの場合の、打角の方向 θ とひずみ測定値の平均値 ε_m との関係の一例を示す図である。

【図 2 0】打角なしの条件で測定した上電極及び下電極の各加圧力とひずみ測定値の平均値 ε_m との関係の一例を示す図である。

【図 2 1】上電極及び下電極の各々の実績加圧力と溶接ガンの高さ方向の位置との関係の一例を示すグラフである。

【図 2 2】ひずみゲージの数が 2 つ、3 つ、4 つの場合の、打角及び加圧力の検出項目とその計算方法の一例を示す図である。

【図 2 3】上電極に周方向に等間隔に配置した 4 つのひずみゲージのひずみ測定値 ε に基づいて偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ を計算した際のデータの一例を示す図である。

【図 2 4】第二実施形態に係る抵抗スポット溶接継手の製造方法の流れの一例を示すフローチャートである。

【図 2 5】打角度補正を行う前後の溶接ガンの一例を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

はじめに、本発明の第一実施形態について説明する。

【0020】

[抵抗スポット溶接装置 10 の説明]

図 1 は、本発明の第一実施形態に係る抵抗スポット溶接装置 10 を示す図である。図 1 において、(A) はブロック図を含む抵抗スポット溶接装置 10 の側面図、(B) は F 1 - F 1 線断面図である。図 1 に示されるように、抵抗スポット溶接装置 10 は、溶接ガン 12 と、複数のひずみゲージ 14 と、電源 16 と、アクチュエータ 18 と、ロボット 20 と、制御部 22 とを備える。この抵抗スポット溶接装置 10 は、重ね合わされた複数の鋼板 30 を有する溶接対象 32 をスポット溶接するものである。

【0021】

溶接対象 32 を構成する複数の鋼板 30 の枚数は、二枚に限らず、例えば、三枚でもよい。溶接対象 32 は、複数の鋼板 30 に限らず、複数の金属材料を有していてもよい。この金属材料の材料は、鋼に限らず、鋼以外の金属でもよい。さらに、金属材料の形態は、板状に限らず、板状以外でもよい。第一実施形態では、一例として、複数の鋼板 30 の枚数が二枚である場合について説明する。この複数の鋼板 30 は、「複数の金属材料」の一例である。

【0022】

溶接ガン 12 は、対向して配置された上電極 40 及び下電極 42 を有する。上電極 40 及び下電極 42 は、シャンク 44 と、電極チップ 46 とをそれぞれ有する。電極チップ 46 は、シャンク 44 の先端に取り付けられている。溶接ガン 12 の形態は、特に限定されないが、溶接ガン 12 には、例えば、側面視で C 字状の C 字ガン又は側面視で X 字状の X 字ガン等を用いることが可能である。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

複数のひずみゲージ 1 4 の数は、3 以上であれば、いくつでもよいが、第一実施形態では、一例として、4 つのひずみゲージ 1 4 を用いる場合について説明する。この 4 つのひずみゲージ 1 4 は、一例として、上電極 4 0 及び下電極 4 2 のうちの上電極 4 0 に周方向に等間隔で取り付けられている。つまり、この 4 つのひずみゲージ 1 4 は、上電極 4 0 における周方向に 90° 間隔で離れた位置に取り付けられている。この 4 つのひずみゲージ 1 4 の間隔は、 $90^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 以内が望ましく、より望ましくは $90^{\circ} \pm 3^{\circ}$ 以内である。

【 0 0 2 4 】

また、4 つのひずみゲージ 1 4 の取り付け位置は、一例として、シャンク 4 4 の電極チップ 4 6 側の位置とされている。4 つのひずみゲージ 1 4 が取り付けられた上電極 4 0 は、「第一電極」の一例であり、下電極 4 2 は、「第二電極」の一例である。

10

【 0 0 2 5 】

4 つのひずみゲージ 1 4 には、同じ構成のものが用いられる。この 4 つのひずみゲージ 1 4 には、例えば、光学式などの非電氣的な構成のものや、抵抗式などの電氣的な構成のものを用いることができる。第一実施形態では、一例として、4 つのひずみゲージ 1 4 に電氣的な構成のものを用いることとする。4 つのひずみゲージ 1 4 は、ひずみゲージ 1 4 の測定方向（伸縮方向）を上電極 4 0 の軸方向に一致させた状態で上電極 4 0 にそれぞれ取り付けられている。

【 0 0 2 6 】

電源 1 6 は、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各電極チップ 4 6 と電氣的に接続されている。上電極 4 0 及び下電極 4 2 で溶接対象 3 2 を挟み、上電極 4 0 及び下電極 4 2 に加圧力を加えた状態で、電源 1 6 によって上電極 4 0 及び下電極 4 2 の電極チップ 4 6 間に電圧が印加されると、電極チップ 4 6 間に電流が流れる。電極チップ 4 6 間に電流が流れると、溶接対象 3 2 の重ね合わせ部に接触抵抗によるジュール熱によってナゲット（溶融部）が形成され、このナゲットが冷却固化することにより、重ね合わせ部が溶接接合される。

20

【 0 0 2 7 】

アクチュエータ 1 8 は、例えば、電動式直動アクチュエータ、油圧式直動アクチュエータ、又は、空圧式直動アクチュエータである。このアクチュエータ 1 8 は、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の一方又は両方と機械的に接続されており、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の一方又は両方を互いに接離する方向に移動させるように作動する。上電極 4 0 及び下電極 4 2 が溶接対象 3 2 を挟んだ状態で、アクチュエータ 1 8 によって上電極 4 0 及び下電極 4 2 の一方又は両方が互いに近づく側に押圧されると、上電極 4 0 及び下電極 4 2 に加圧力が加えられる。

30

【 0 0 2 8 】

ロボット 2 0 は、例えば、六軸垂直多関節ロボット等である。このロボット 2 0 は、溶接ガン 1 2 を水平方向及び鉛直方向に移動させると共に、溶接ガン 1 2 を任意の回転軸を中心に回転させるように作動する。このようにロボット 2 0 が作動することにより、溶接対象 3 2 が任意の方向に傾いていても、この溶接対象 3 2 の傾きに溶接ガン 1 2 が追従し、上電極 4 0 及び下電極 4 2 で溶接対象 3 2 を挟むことが可能となっている。

【 0 0 2 9 】

制御部 2 2 は、電源 1 6、アクチュエータ 1 8、及び、ロボット 2 0 を制御するものであり、電源 1 6、アクチュエータ 1 8、及び、ロボット 2 0 と電氣的に接続されている。この制御部 2 2 は、例えば、プロセッサ 5 0 とメモリ 5 2 とを有するコンピュータによって実現される。プロセッサ 5 0 は、例えば、CPU (Central Processing Unit) によって構成され、メモリ 5 2 は、例えば、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、及び、ストレージによって構成される。

40

【 0 0 3 0 】

メモリ 5 2 は、不揮発性記憶部を有しており、この不揮発性記憶部には、プログラム 5 4 が記憶されている。このプログラム 5 4 をプロセッサ 5 0 が実行することにより、後述する種々の機能が実行される。この機能には、後述する抵抗スポット溶接継手の製造方法

50

におけるステップ S 1 ～ステップ S 8 (図 1 1 参照) を実行するための機能が含まれる。

【 0 0 3 1 】

[打角の方向と大きさの説明]

図 2 は、図 1 の抵抗スポット溶接装置 1 0 における上電極 4 0 の打角の方向 θ と大きさ φ を説明する図である。図 2 において、(A) は上電極 4 0 の打角の大きさ φ を説明する溶接ガン 1 2 の側面図、(B) は上電極 4 0 の打角の方向 θ を模式的に説明する平面図である。

【 0 0 3 2 】

実際の溶接組立工程では、製品の形状により溶接対象 3 2 が任意の方向に傾いていることがある。溶接対象 3 2 の傾きに溶接ガン 1 2 が完全に追従できれば、溶接対象 3 2 における上電極 4 0 及び下電極 4 2 との接触面の法線と、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の軸線 B とを一致させることができる。

10

【 0 0 3 3 】

しかしながら、現実には、例えば、溶接対象 3 2 の傾斜角度に誤差が生じていたり、ロボット 2 0 の動作に誤差が生じたりすることにより、溶接対象 3 2 の法線に対して上電極 4 0 及び下電極 4 2 の軸線が傾くことがある。また、例えば、溶接対象 3 2 を構成する複数の鋼板 3 0 の間に隙間が生じたり、複数の鋼板 3 0 に加工誤差が生じたりしている場合には、上電極 4 0 の軸線の傾斜角度と、下電極 4 2 の軸線 B の傾斜角度とが異なる場合がある。上電極 4 0 の軸線の傾斜角度と下電極 4 2 の軸線の傾斜角度とは、異なっていなくてもよいが、第一実施形態では、一例として、上電極 4 0 の軸線の傾斜角度と下電極 4 2 の軸線の傾斜角度とが同じである場合について説明する。

20

【 0 0 3 4 】

また、第一実施形態では、上電極 4 0 を対象にし、溶接対象 3 2 における上電極 4 0 との接触面 3 2 A の法線 A に対して上電極 4 0 の軸線 B が傾くことを打角と称する。さらに、上電極 4 0 の軸線 B に垂直な平面で切った場合の上電極 4 0 の断面を、図 2 (B) に示される通り、断面 4 0 A とした場合に、この断面 4 0 A 上に予め設定され、この断面 4 0 A の中心から上電極 4 0 の径方向外側に延びる線を、基準線 C と定義する。4 つのひずみゲージ 1 4 は、基準線 C 上の位置、基準線 C から上電極 4 0 の周方向に 90° 離れた位置、基準線 C から上電極 4 0 の周方向に 180° 離れた位置、及び、基準線 C から上電極 4 0 の周方向に 270° 離れた位置にそれぞれ配置されている。

30

【 0 0 3 5 】

また、法線 A から軸線 B に向かって降ろした垂線 D と基準線 C とが上電極 4 0 の断面 4 0 A 上においてなす角度を打角の方向 $\theta [^\circ]$ ($0^\circ \leq \theta < 360^\circ$) と定義する。さらに、同一平面上で溶接対象 3 2 の接触面 3 2 A の法線 A と上電極 4 0 の軸線 B とのなす角度を打角の大きさ $\varphi [^\circ]$ ($0^\circ \leq \varphi < 90^\circ$) と定義する。

【 0 0 3 6 】

[課題解決の着想について]

発明者らは、打角の方向 θ と大きさ φ を検出することができれば、スポット溶接の打点毎に溶接可否の判断や溶接条件の変更等が可能になり、溶接品質を安定させることができると考えた。

40

【 0 0 3 7 】

そこで、まずは、対向して配置された上電極 4 0 及び下電極 4 2 のうちの上電極 4 0 の周方向の 4 箇所に 90° 間隔で 4 つのひずみゲージ 1 4 を取り付けけた状態で、溶接対象 3 2 を上電極 4 0 及び下電極 4 2 で挟み、この上電極 4 0 及び下電極 4 2 で溶接対象 3 2 を加圧したときの上電極 4 0 のひずみを 4 つのひずみゲージ 1 4 で測定した。この結果、打角の方向 θ と大きさ φ に応じたひずみ測定値が得られるという特性があることが分かった。そして、この特性を利用することによって、打角の方向 θ と大きさ φ を検出することを着想した。

【 0 0 3 8 】

[課題解決のポイント及びメカニズム]

50

発明者らは、鋭意検討した結果、４つのひずみゲージ１４を用いた場合に、以下の要領で打角の方向 θ と大きさ φ を定量的に算出できることを見出した。以下、４つのひずみゲージ１４を用いた場合の打角の方向 θ と大きさ φ を定量的に算出するまでに至る検討内容と共に、課題解決のポイント及びメカニズムを具体的に説明する。

【００３９】

図３は、図１の抵抗スポット溶接装置１０における上電極４０及び下電極４２の各加圧力と上電極４０及び下電極４２へ供給される電流のタイムチャートを示す図である。なお、第一実施形態において加圧力とは、従来の抵抗スポット溶接装置において設定される設定加圧力を主に意味する。

【００４０】

抵抗スポット溶接は、一般的には、図３に示すようなタイムチャートに沿って実施される。すなわち、上電極４０及び下電極４２で溶接対象３２を挟んだ状態で、上電極４０及び下電極４２の加圧が開始され、その後に、上電極４０及び下電極４２への電流の供給が開始される。また、上電極４０及び下電極４２への電流の供給が停止された後に、上電極４０及び下電極４２の加圧が終了する。図３の加圧工程とは、上電極４０及び下電極４２の加圧が開始されてから、上電極４０及び下電極４２への電流の供給が開始されるまでの間の期間に相当し、図３の一定加圧期間とは、上電極４０及び下電極４２の加圧が開始されて上電極４０及び下電極４２の各加圧力が上昇し、この加圧力が一定に保持される期間に相当する。

【００４１】

発明者らは、図３の一定加圧期間において４つのひずみゲージ１４を用いて上電極４０のひずみを測定した。図４は、図３の加圧工程において４つのひずみゲージ１４で測定されたひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} を打角の大きさ φ （ $\varphi = 0^\circ$ 、 3° 、 6° 、 9° ）毎に示したグラフである。このグラフは、一例として、打角の方向 $\theta = 90^\circ$ の場合のグラフである。

【００４２】

図４の縦軸は、ひずみ測定値を示し、図４の横軸は、４つのひずみゲージ１４の取付位置 $[\circ]$ を示している。図４において、グラフＧ１は、打角の大きさ $\varphi = 0^\circ$ の場合、グラフＧ２は、打角の大きさ $\varphi = 3^\circ$ の場合、グラフＧ３は、打角の大きさ $\varphi = 6^\circ$ の場合、グラフＧ４は、打角の大きさ $\varphi = 9^\circ$ の場合をそれぞれ示している。

【００４３】

ひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} は、上電極４０に周方向に 90° 間隔で取り付けられた４つのひずみゲージ１４でそれぞれ測定された値である。すなわち、ひずみ測定値 ε_0 は、基準線Ｃ上に位置するひずみゲージ１４で測定された値であり、ひずみ測定値 ε_{90} は、基準線Ｃから上電極４０の周方向に 90° 離れた位置にあるひずみゲージ１４で測定された値であり、ひずみ測定値 ε_{180} は、基準線Ｃから上電極４０の周方向に 180° 離れた位置にあるひずみゲージ１４で測定された値であり、ひずみ測定値 ε_{270} は、基準線Ｃから上電極４０の周方向に 270° 離れた位置にあるひずみゲージ１４で測定された値である。

【００４４】

図４に示されるように、打角がある場合、発明者らは、ひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} が互いに異なる値を示すと考えた。そこで、発明者らは、打角によるひずみ測定値の変化量を取り出すために、式（１）の通り、ひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} の平均値 ε_m を算出し、式（２）～式（５）の通り、ひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} から平均値 ε_m をそれぞれ減算して偏差ひずみ ε_0' 、 ε_{90}' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' を算出した。

【００４５】

$$\varepsilon_m = (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90} + \varepsilon_{180} + \varepsilon_{270}) / 4 \cdots (1)$$

$$\varepsilon_0' = \varepsilon_0 - \varepsilon_m \cdots (2)$$

$$\varepsilon_{90}' = \varepsilon_{90} - \varepsilon_m \cdots (3)$$

10

20

30

40

50

$$\varepsilon_{180}' = \varepsilon_{180} - \varepsilon_m \quad \cdots (4)$$

$$\varepsilon_{270}' = \varepsilon_{270} - \varepsilon_m \quad \cdots (5)$$

【0046】

図5は、図4のグラフに基づいて算出された偏差ひずみ ε_0' 、 ε_90' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' を打角の大きさ φ ($\varphi = 0^\circ$ 、 3° 、 6° 、 9°)毎に示したグラフである。このグラフは、一例として、打角の方向 $\theta = 90^\circ$ の場合のグラフである。

【0047】

図5の縦軸は、偏差ひずみを示し、図5の横軸は、4つのひずみゲージ14の取付位置 $[\circ]$ を示している。図5において、グラフG1は、打角の大きさ $\varphi = 0^\circ$ の場合、グラフG2は、打角の大きさ $\varphi = 3^\circ$ の場合、グラフG3は、打角の大きさ $\varphi = 6^\circ$ の場合、グラフG4は、打角の大きさ $\varphi = 9^\circ$ の場合をそれぞれ示している。

10

【0048】

ここで、発明者らは、偏差ひずみ ε_0' 、 ε_90' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' には、打角に起因した偏差成分に加えて、上電極40の剛性が周方向に不均一であることに起因した偏差成分も含まれると考えた。また、発明者らは、打角がない場合、すなわち、打角の大きさ $\varphi = 0$ の場合でも、図5に示される通り、偏差ひずみ ε_0' 、 ε_90' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' が0にならないことに気が付いた。

【0049】

そして、発明者らは、打角に起因した偏差成分のみを抽出するためには、偏差ひずみ ε_0' 、 ε_90' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' から上電極40の剛性の影響分を除去することが好ましい。

20

【0050】

そこで、発明者らは、打角がない場合の偏差ひずみ ε_0' 、 ε_90' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' を基準偏差ひずみ ε_0 、 $\varphi = 0'$ 、 ε_90 、 $\varphi = 0'$ 、 ε_{180} 、 $\varphi = 0'$ 、 ε_{270} 、 $\varphi = 0'$ と定義した。

【0051】

そして、発明者らは、式(6)～(9)の通り、偏差ひずみ ε_0' 、 ε_90' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' から基準偏差ひずみ ε_0 、 $\varphi = 0'$ 、 ε_90 、 $\varphi = 0'$ 、 ε_{180} 、 $\varphi = 0'$ 、 ε_{270} 、 $\varphi = 0'$ をそれぞれ減算して偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_90'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{270}'$ を算出した。

30

【0052】

偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ は、基準線C上の位置で検出された偏差ひずみ変化量であり、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_90'$ は、基準線Cから上電極40の周方向に 90° 離れた位置で検出された偏差ひずみ変化量であり、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{180}'$ は、基準線Cから上電極40の周方向に 180° 離れた位置で検出された偏差ひずみ変化量であり、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{270}'$ は、基準線Cから上電極40の周方向に 270° 離れた位置で検出された偏差ひずみ変化量である。

【0053】

$$\Delta \varepsilon_0' = \varepsilon_0' - \varepsilon_0, \varphi = 0' \quad \cdots (6)$$

$$\Delta \varepsilon_90' = \varepsilon_90' - \varepsilon_90, \varphi = 0' \quad \cdots (7)$$

$$\Delta \varepsilon_{180}' = \varepsilon_{180}' - \varepsilon_{180}, \varphi = 0' \quad \cdots (8)$$

$$\Delta \varepsilon_{270}' = \varepsilon_{270}' - \varepsilon_{270}, \varphi = 0' \quad \cdots (9)$$

40

【0054】

図6は、図5のグラフに基づいて算出された偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_90'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{270}'$ を打角の大きさ φ ($\varphi = 0^\circ$ 、 3° 、 6° 、 9°)毎に示したグラフである。このグラフは、一例として、打角の方向 $\theta = 90^\circ$ の場合のグラフである。

【0055】

図6の縦軸は、偏差ひずみ変化量を示し、図6の横軸は、4つのひずみゲージ14の取付位置 $[\circ]$ を示している。図6において、グラフG1は、打角の大きさ $\varphi = 0^\circ$ の場合、グラフG2は、打角の大きさ $\varphi = 3^\circ$ の場合、グラフG3は、打角の大きさ $\varphi = 6^\circ$ の場合

50

合、グラフ G 4 は、打角の大きさ $\varphi = 9^\circ$ の場合をそれぞれ示している。

【0056】

図 6 に示されるように、打角がない場合、すなわち、打角の大きさ $\varphi = 0^\circ$ の場合に、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \vartheta_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{70}'$ は、いずれも 0 となった。

【0057】

一方、打角がある場合に、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \vartheta_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{70}'$ のうち、打角の方向における偏差ひずみ変化量はマイナス値となり、打角の方向と反対方向における偏差ひずみ変化量はプラス値となり、打角の方向と直交する方向の偏差ひずみ変化量はほぼ 0 となった。

【0058】

この図 6 に示される例では、一例として、打角の方向 $\theta = 90^\circ$ であり、打角の大きさ $\varphi = 3^\circ$ 、 6° 、 9° のいずれの場合にも、打角の方向における偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ はマイナス値となり、打角の方向と反対方向における偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{70}'$ はプラス値となり、打角の方向と直交する方向の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{180}'$ はほぼ 0 となった。なお、打角の方向 $\theta = 90^\circ$ 以外についても検討した結果、同様の傾向があることが分かった。

【0059】

このように、発明者らは、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \vartheta_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{70}'$ を算出することで、打角の方向 θ を検出できることを見出した。

【0060】

また、図 6 に示される結果から、打角の大きさ φ の増大に伴って、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \vartheta_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{70}'$ の絶対値も増加することが明らかになった。そして、発明者らは、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \vartheta_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{70}'$ を算出することで、打角の大きさ φ を検出できることを見出した。

【0061】

ここで、発明者らは、打角の方向 θ によっては、打角の方向 θ とひずみゲージ 14 の取付位置が一致しない場合があると考えた。そこで、発明者らは、一例として、打角の方向 $\theta = 120^\circ$ である場合について検討した。

【0062】

図 7 は、打角の方向 $\theta = 120^\circ$ である場合の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \vartheta_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{70}'$ を打角の大きさ φ ($\varphi = 0^\circ$ 、 3° 、 6° 、 9°) 毎に示したグラフである。

【0063】

図 7 の縦軸は、偏差ひずみ変化量を示し、図 7 の横軸は、4 つのひずみゲージ 14 の取付位置 $[\circ]$ を示している。図 7 において、グラフ G 1 は、打角の大きさ $\varphi = 0^\circ$ の場合、グラフ G 2 は、打角の大きさ $\varphi = 3^\circ$ の場合、グラフ G 3 は、打角の大きさ $\varphi = 6^\circ$ の場合、グラフ G 4 は、打角の大きさ $\varphi = 9^\circ$ の場合をそれぞれ示している。

【0064】

このように、打角の方向 $\theta = 120^\circ$ である場合に、打角の方向 $\theta = 120^\circ$ の両側に位置するひずみゲージ 14、すなわち、 90° の位置にあるひずみゲージ 14 及び 180° の位置にあるひずみゲージ 14 では、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ がマイナス値になった。また、打角の大きさ φ が増加するに伴って、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ の絶対値が増加した。

【0065】

この図 7 に示される結果から、発明者らは、打角の方向 θ とひずみゲージ 14 の取付位置が一致しない場合でも、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \vartheta_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{70}'$ を検出することで、任意の打角の方向 θ と大きさ φ を推定できると考えた。

【0066】

そして、発明者らは、打角の方向 θ とひずみゲージ 14 の取付位置が一致しない場合でも、任意の打角の方向 θ と大きさ φ を推定する手法を考え出した。以下、打角の方向 θ と

10

20

30

40

50

ひずみゲージ 14 の取付位置が一致しない場合に、任意の打角の方向 θ と大きさ φ を推定する手法を説明する。

【 0 0 6 7 】

まず、式 (1 0) により、合成偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_N'$ を定義する。

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{\{(\Delta \varepsilon_1')^2 + (\Delta \varepsilon_2')^2\} \cdots (10)}$$

【 0 0 6 8 】

図 8 は、合成偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_N'$ を模式的に説明する平面図である。第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ は、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{270}'$ のうち、値がマイナス側に最も大きい偏差ひずみ変化量である。第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ は、第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ が検出された位置から上電極 40 の周方向に $\pm 90^\circ$ 離れた 2 つの位置でそれぞれ検出された偏差ひずみ変化量のうち値がマイナス側に大きい方の第二偏差ひずみ変化量である。

10

【 0 0 6 9 】

図 8 では、一例として、打角の方向 $\theta = 120^\circ$ である場合が示されている。図 8 に示される例において、第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ は、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{270}'$ のうち、値がマイナス側に最も大きい偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ である。また、第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ は、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ が検出された位置から上電極 40 の周方向に $\pm 90^\circ$ 離れた 2 つの位置 (0° の位置及び 180° の位置) でそれぞれ検出された偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ のうち値がマイナス側に大きい方の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{180}'$ である。

20

【 0 0 7 0 】

本手法では、合成偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_N'$ をベクトルとしてとらえた場合の向きから、打角の方向 θ を算出する。また、合成偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_N'$ の大きさから打角の大きさ φ を算出する。

【 0 0 7 1 】

図 9 は、合成偏差ひずみ変化量 ε_N' と打角の大きさ φ との関係を複数の条件毎に示すグラフである。図 9 の縦軸は、合成偏差ひずみ変化量 ε_N' を示し、図 9 の横軸は、打角の大きさ φ を示している。図 9 において、グラフ G 1 は、基準条件である場合、グラフ G 2 は、基準条件に対して上電極 40 及び下電極 42 の各加圧力が増加した場合、グラフ G 3 は、基準条件に対して上電極 40 及び下電極 42 の剛性が増加した場合をそれぞれ示している。

30

【 0 0 7 2 】

図 9 に示されるように、合成偏差ひずみ変化量 ε_N' と打角の大きさ φ との間には、直線関係が成り立つ。このため、合成偏差ひずみ変化量 ε_N' と打角の大きさ φ から実験的に比例係数 α を求めることにより、打角の大きさ φ の定量予測が可能と考えられる。なお、比例係数 α は、上電極 40 及び下電極 42 の各加圧力及び上電極 40 及び下電極 42 の剛性の影響を主に受けるため、実際の溶接組立工程の開始前に、この溶接組立工程の条件で比例係数 α を実験的に求めておく必要がある。

【 0 0 7 3 】

そして、本手法では、打角の方向 θ と大きさ φ を次のように算出する。図 10 は、打角の方向 θ の変形の一例を示す図である。

40

【 0 0 7 4 】

図 10 (A) に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $0^\circ < \theta < 45^\circ$ である場合に、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_0' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{90}' (< 0)$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_0' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{90}' (< 0)$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式 (A - 1) ~ (A - 3) により算出する。

$$\theta = \arctan(|\Delta \varepsilon_2'| / |\Delta \varepsilon_1'|) \times 180 / \pi \cdots (A - 1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (A - 2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{\{(\Delta \varepsilon_1')^2 + (\Delta \varepsilon_2')^2\} \cdots (A - 3)}$$

【 0 0 7 5 】

50

一方、図10(B)に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $45^\circ < \theta < 90^\circ$ である場合に、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{90}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{0\varepsilon}' (< 0)$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{90}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{0\varepsilon}' (< 0)$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式(B-1)~(B-3)により算出する。

$$\theta = \arctan(|\Delta \varepsilon_1'| / |\Delta \varepsilon_2'|) \times 180 / \pi \cdots (B-1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (B-2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1')^2 + (\Delta \varepsilon_2')^2} \cdots (B-3)$$

【0076】

また、図10(C)に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $90^\circ < \theta < 135^\circ$ である場合に、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{90}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{1\varepsilon 80}' (< 0)$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{90}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{1\varepsilon 80}' (< 0)$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式(C-1)~(C-3)により算出する。

$$\theta = \{ \pi / 2 + \arctan(|\Delta \varepsilon_2'| / |\Delta \varepsilon_1'|) \} \times 180 / \pi \cdots (C-1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (C-2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1')^2 + (\Delta \varepsilon_2')^2} \cdots (C-3)$$

【0077】

また、図10(D)に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $135^\circ < \theta < 180^\circ$ である場合に、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{180}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{9\varepsilon 0}' (< 0)$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{180}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{9\varepsilon 0}' (< 0)$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式(D-1)~(D-3)により算出する。

$$\theta = \{ \pi / 2 + \arctan(|\Delta \varepsilon_1'| / |\Delta \varepsilon_2'|) \} \times 180 / \pi \cdots (D-1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (D-2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1')^2 + (\Delta \varepsilon_2')^2} \cdots (D-3)$$

【0078】

また、図10(E)に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $180^\circ < \theta < 225^\circ$ である場合に、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{180}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{2\varepsilon 70}' (< 0)$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{180}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{2\varepsilon 70}' (< 0)$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式(E-1)~(E-3)により算出する。

$$\theta = \{ \pi + \arctan(|\Delta \varepsilon_2'| / |\Delta \varepsilon_1'|) \} \times 180 / \pi \cdots (E-1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (E-2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1')^2 + (\Delta \varepsilon_2')^2} \cdots (E-3)$$

【0079】

また、図10(F)に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $225^\circ < \theta < 270^\circ$ である場合に、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{270}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{1\varepsilon 80}' (< 0)$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{270}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{1\varepsilon 80}' (< 0)$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式(F-1)~(F-3)により算出する。

$$\theta = \{ \pi + \arctan(|\Delta \varepsilon_1'| / |\Delta \varepsilon_2'|) \} \times 180 / \pi \cdots (F-1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (F-2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1')^2 + (\Delta \varepsilon_2')^2} \cdots (F-3)$$

【0080】

また、図10(G)に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $270^\circ < \theta < 315^\circ$ である場合に、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{270}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{0\varepsilon}' (< 0)$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{270}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta_{0\varepsilon}' (< 0)$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式(G-1)~(G-3)により算出する。

$$\theta = \{ 3\pi / 2 + \arctan(|\Delta \varepsilon_2'| / |\Delta \varepsilon_1'|) \} \times 180 / \pi \cdots (G-1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (G-2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt{(\Delta \varepsilon_1')^2 + (\Delta \varepsilon_2')^2} \cdots (G-3)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 8 1 】

また、図 1 0 (H) に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $315^\circ < \theta < 360^\circ$ である場合に、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_0' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{70}' (< 0)$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_0' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{70}' (< 0)$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式 (H - 1) ~ (H - 3) により算出する。

$$\theta = \{ 3\pi / 2 + \arctan (| \Delta \varepsilon_1' | / | \Delta \varepsilon_2' |) \times 180 / \pi \cdots (H - 1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N' \cdots (H - 2)$$

$$\Delta \varepsilon_N' = \sqrt { (\Delta \varepsilon_1'^2) + (\Delta \varepsilon_2'^2) } \cdots (H - 3)$$

【 0 0 8 2 】

10

なお、打角の方向 θ によっては、値がマイナス側に最も大きい偏差ひずみ変化量が二つ存在する可能性がある。この場合には、二つの偏差ひずみ変化量のうち一方を選択して第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ とすればよい。

【 0 0 8 3 】

例えば、打角の方向 $\theta = 45^\circ$ の場合に、値がマイナス側に最も大きい偏差ひずみ変化量は、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ と偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ である可能性がある。この場合には、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ のうち一方を選択して第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ とすればよい。

【 0 0 8 4 】

20

また、打角の方向 $\theta = 135^\circ$ の場合に、値がマイナス側に最も大きい偏差ひずみ変化量は、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ と偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{180}'$ である可能性がある。この場合には、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{180}'$ のうち一方を選択して第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ とすればよい。

【 0 0 8 5 】

また、打角の方向 $\theta = 225^\circ$ の場合に、値がマイナス側に最も大きい偏差ひずみ変化量は、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{180}'$ と偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{70}'$ である可能性がある。この場合には、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{70}'$ のうち一方を選択して第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ とすればよい。

【 0 0 8 6 】

30

また、打角の方向 $\theta = 315^\circ$ の場合に、値がマイナス側に最も大きい偏差ひずみ変化量は、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{270}'$ と偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ である可能性がある。この場合には、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{270}'$ 及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ のうち一方を選択して第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ とすればよい。

【 0 0 8 7 】

同様に、打角の方向 θ によっては、第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ の候補となる偏差ひずみ変化量が二つ存在する可能性がある。この場合には、二つの偏差ひずみ変化量のうち一方を選択して第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ とすればよい。

【 0 0 8 8 】

例えば、第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ の候補となる偏差ひずみ変化量が偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ である場合には、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ のうち一方を選択して第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ とすればよい。

40

【 0 0 8 9 】

また、第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ の候補となる偏差ひずみ変化量が偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{180}'$ である場合には、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{180}'$ のうち一方を選択して第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ とすればよい。

【 0 0 9 0 】

また、第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ の候補となる偏差ひずみ変化量が偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{270}'$ である場合には、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{180}'$

50

’及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{70}$ ’のうち一方を選択して第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2$ ’とすればよい。

【0091】

また、第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2$ ’の候補となる偏差ひずみ変化量が偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{70}$ ’及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0$ ’である場合には、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_{70}$ ’及び偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0$ ’のうち一方を選択して第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2$ ’とすればよい。

【0092】

また、特に $\Delta \varepsilon_1$ ’及び $\Delta \varepsilon_2$ ’のどちらか一方もしくは両方が0の場合、以下の式を用いればよい。

【0093】

例えば、打角の方向 θ が 0° である場合に、 $\Delta \varepsilon_1 = \Delta \varepsilon_0$ ’ (< 0)、 $\Delta \varepsilon_2 = 0$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1 = \Delta \varepsilon_0$ ’ (< 0)、 $\Delta \varepsilon_2 = 0$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式(I-1)～(I-3)により算出する。

$$\theta = 0^\circ \cdots (I-1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N \cdots (I-2)$$

$$\Delta \varepsilon_N = \sqrt{\{(\Delta \varepsilon_1)^2 + (\Delta \varepsilon_2)^2\}} \cdots (I-3)$$

【0094】

また、例えば、打角の方向 θ が 90° である場合に、 $\Delta \varepsilon_1 = \Delta \varepsilon_{90}$ ’ (< 0)、 $\Delta \varepsilon_2 = 0$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1 = \Delta \varepsilon_{90}$ ’ (< 0)、 $\Delta \varepsilon_2 = 0$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式(J-1)～(J-3)により算出する。

$$\theta = 90^\circ \cdots (J-1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N \cdots (J-2)$$

$$\Delta \varepsilon_N = \sqrt{\{(\Delta \varepsilon_1)^2 + (\Delta \varepsilon_2)^2\}} \cdots (J-3)$$

【0095】

また、例えば、打角の方向 θ が 180° である場合に、 $\Delta \varepsilon_1 = \Delta \varepsilon_{180}$ ’ (< 0)、 $\Delta \varepsilon_2 = 0$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1 = \Delta \varepsilon_{180}$ ’ (< 0)、 $\Delta \varepsilon_2 = 0$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式(K-1)～(K-3)により算出する。

$$\theta = 180^\circ \cdots (K-1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N \cdots (K-2)$$

$$\Delta \varepsilon_N = \sqrt{\{(\Delta \varepsilon_1)^2 + (\Delta \varepsilon_2)^2\}} \cdots (K-3)$$

【0096】

また、例えば、打角の方向 θ が 270° である場合に、 $\Delta \varepsilon_1 = \Delta \varepsilon_{270}$ ’ (< 0)、 $\Delta \varepsilon_2 = 0$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1 = \Delta \varepsilon_{270}$ ’ (< 0)、 $\Delta \varepsilon_2 = 0$ であるときには、打角の方向 θ と大きさ φ を次式(L-1)～(L-3)により算出する。

$$\theta = 270^\circ \cdots (L-1)$$

$$\varphi = \alpha \times \Delta \varepsilon_N \cdots (L-2)$$

$$\Delta \varepsilon_N = \sqrt{\{(\Delta \varepsilon_1)^2 + (\Delta \varepsilon_2)^2\}} \cdots (L-3)$$

【0097】

また、例えば、打角の大きさ φ が 0° である場合に、 $\Delta \varepsilon_1 = 0$ 、 $\Delta \varepsilon_2 = 0$ になる。このように、 $\Delta \varepsilon_1 = 0$ 、 $\Delta \varepsilon_2 = 0$ であるときには、打角の大きさ φ を(M-1)により算出する。打角の方向 θ は定義することができないため、算出しない。

$$\varphi = 0 \cdots (M-1)$$

【0098】

以上の手法により、打角の方向 θ と大きさ φ を定量的に求めることができる。

【0099】

[抵抗スポット溶接継手の製造方法]

次に、本発明の第一実施形態に係る抵抗スポット溶接継手の製造方法を実際の溶接組立工程に適用する場合について説明する。

【0100】

10

20

30

40

50

本発明の第一実施形態に係る抵抗スポット溶接継手の製造方法は、図 1 に示される抵抗スポット溶接装置 10 によって実行される。制御部 22 のプログラム 54 には、上述の 4 つのひずみゲージ 14 で測定されたひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} から上電極 40 の打角の方向 θ と大きさ φ を算出する複数のプロセスが含まれる。

【0101】

なお、実際の溶接組立工程の開始前に、制御部 22 は、上記式 (10) で定義される合成偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_N$ と打角の大きさ φ との関係から予め算出された比例係数 α をメモリ 52 に記憶する。この比例係数 α は、実際の溶接組立工程の開始前に、この溶接組立工程の条件で実験的に算出されたものである。また、打角がない場合の条件で算出された基準偏差ひずみ ε_0 、 $\varphi = 0^\circ$ 、 ε_{90} 、 $\varphi = 0^\circ$ 、 ε_{180} 、 $\varphi = 0^\circ$ 、 ε_{270} 、 $\varphi = 0^\circ$ をメモリ 52 に記憶する。

10

【0102】

図 11 は、図 1 の制御部 22 における処理の流れを示すフローチャートである。図 11 に示されるように、制御部 22 は、ステップ S1 ~ ステップ S8 を実行する。このステップ S1 ~ ステップ S8 のうちのステップ S1 ~ ステップ S5 は、上電極 40 の打角の方向 θ と大きさ φ を算出する処理であり、本発明の第一実施形態に係る抵抗スポット溶接における打角測定方法に相当する。

【0103】

まず、ステップ S1 では、制御部 22 によってロボット 20 及びアクチュエータ 18 が制御され、溶接対象 32 が上電極 40 及び下電極 42 に挟まれる。このとき、上電極 40 及び下電極 42 で溶接対象 32 が加圧されるように、上電極 40 及び下電極 42 の各加圧力が調整される。そして、上電極 40 及び下電極 42 で溶接対象 32 を加圧したときの上電極 40 のひずみが 4 つのひずみゲージ 14 で測定される。この 4 つのひずみゲージ 14 で測定されたひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} は、制御部 22 に出力される。このひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} は、「複数のひずみ測定値 ε 」の一例である。

20

【0104】

続いて、ステップ S2 において、制御部 22 は、4 つのひずみゲージ 14 から出力されたひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} を取得し、上記式 (1) の通り、ひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} の平均値 ε_m を算出する。また、制御部 22 は、上記式 (2) ~ 式 (5) の通り、ひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} から平均値 ε_m をそれぞれ減算して偏差ひずみ ε_0' 、 ε_{90}' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' を算出する。この偏差ひずみ ε_0' 、 ε_{90}' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' は、「複数の偏差ひずみ ε' 」の一例である。

30

【0105】

続いて、ステップ S3 において、制御部 22 は、式 (6) ~ (9) の通り、偏差ひずみ ε_0' 、 ε_{90}' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' から予めメモリ 52 に記憶した基準偏差ひずみ ε_0 、 $\varphi = 0^\circ$ 、 ε_{90} 、 $\varphi = 0^\circ$ 、 ε_{180} 、 $\varphi = 0^\circ$ 、 ε_{270} 、 $\varphi = 0^\circ$ をそれぞれ減算して偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{270}'$ を算出する。基準偏差ひずみ ε_0 、 $\varphi = 0^\circ$ 、 ε_{90} 、 $\varphi = 0^\circ$ 、 ε_{180} 、 $\varphi = 0^\circ$ 、 ε_{270} 、 $\varphi = 0^\circ$ は、「複数の基準偏差ひずみ $\varepsilon_{\varphi=0}$ 」の一例であり、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{270}'$ は、「複数の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ 」の一例である。

40

【0106】

続いて、ステップ S4 において、制御部 22 は、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{270}'$ のうち、値がマイナス側に最も大きい第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ を特定すると共に、第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ が検出された位置から上電極 40 の周方向に $\pm 90^\circ$ 離れた 2 つの位置でそれぞれ検出された偏差ひずみ変化量のうち値がマイナス側に大きい方の第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ を特定する。

【0107】

そして、ステップ S5 において、制御部 22 は、第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ 及び第二

50

偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ に基づいて上電極 40 の打角の方向 θ と大きさ φ を算出する。

【0108】

ここで、図 10 (A) に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $0^\circ < \theta < 45^\circ$ である場合に、制御部 22 は、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{01}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{02}' (< 0)$ と特定する。そして、制御部 22 は、打角の方向 θ と大きさ φ を上記式 (A-1) ~ (A-3) により算出する。

【0109】

一方、図 10 (B) に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $45^\circ < \theta < 90^\circ$ である場合に、制御部 22 は、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{01}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{02}' (< 0)$ と特定する。そして、制御部 22 は、打角の方向 θ と大きさ φ を上記式 (B-1) ~ (B-3) により算出する。

10

【0110】

また、図 10 (C) に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $90^\circ < \theta < 135^\circ$ である場合に、制御部 22 は、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{01}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{02}' (< 0)$ と特定する。そして、制御部 22 は、打角の方向 θ と大きさ φ を上記式 (C-1) ~ (C-3) により算出する。

【0111】

また、図 10 (D) に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $135^\circ < \theta < 180^\circ$ である場合に、制御部 22 は、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{01}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{02}' (< 0)$ と特定する。そして、制御部 22 は、打角の方向 θ と大きさ φ を上記式 (D-1) ~ (D-3) により算出する。

20

【0112】

また、図 10 (E) に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $180^\circ < \theta < 225^\circ$ である場合に、制御部 22 は、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{01}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{02}' (< 0)$ と特定する。そして、制御部 22 は、打角の方向 θ と大きさ φ を上記式 (E-1) ~ (E-3) により算出する。

【0113】

また、図 10 (F) に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $225^\circ < \theta < 270^\circ$ である場合に、制御部 22 は、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{01}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{02}' (< 0)$ と特定する。そして、制御部 22 は、打角の方向 θ と大きさ φ を上記式 (F-1) ~ (F-3) により算出する。

30

【0114】

また、図 10 (G) に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $270^\circ < \theta < 315^\circ$ である場合に、制御部 22 は、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{01}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{02}' (< 0)$ と特定する。そして、制御部 22 は、打角の方向 θ と大きさ φ を上記式 (G-1) ~ (G-3) により算出する。

【0115】

また、図 10 (H) に示されるように、例えば、打角の方向 θ が $315^\circ < \theta < 360^\circ$ である場合に、制御部 22 は、 $\Delta \varepsilon_1' = \Delta \varepsilon_{01}' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon_2' = \Delta \varepsilon_{02}' (< 0)$ と特定する。そして、制御部 22 は、打角の方向 θ と大きさ φ を上記式 (H-1) ~ (H-3) により算出する。

40

【0116】

なお、上述の通り、打角の方向 θ によっては、値がマイナス側に最も大きい偏差ひずみ変化量が二つ存在する可能性がある。この場合に、制御部 22 は、二つの偏差ひずみ変化量のうち一方を選択して第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ とする。

【0117】

同様に、打角の方向 θ によっては、第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ の候補となる偏差ひずみ変化量が二つ存在する可能性がある。この場合に、制御部 22 は、二つの偏差ひずみ変化量のうち一方を選択して第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ とする。

【0118】

50

また、特に $\Delta \varepsilon 1'$ 及び $\Delta \varepsilon 2'$ のどちらか一方もしくは両方が 0 の場合、次式を用いて算出する。

【0119】

例えば、 $\Delta \varepsilon 1' = \Delta \varepsilon 0' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon 2' = 0$ の場合、上記式 (I - 1) ~ (I - 3) により算出する。

【0120】

また、例えば、 $\Delta \varepsilon 1' = \Delta \varepsilon 0' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon 2' = 0$ の場合、上記式 (J - 1) ~ (J - 3) により算出する。

【0121】

また、例えば、 $\Delta \varepsilon 1' = \Delta \varepsilon 80' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon 2' = 0$ の場合、上記式 (K - 1) ~ (K - 3) により算出する。 10

【0122】

また、例えば、 $\Delta \varepsilon 1' = \Delta \varepsilon 70' (< 0)$ 、 $\Delta \varepsilon 2' = 0$ の場合、上記式 (L - 1) ~ (L - 3) により算出する。

【0123】

また、 $\Delta \varepsilon 1' = 0$ 、 $\Delta \varepsilon 2' = 0$ の場合、打角の大きさ φ を上記式 (M - 1) により算出する。打角の方向 θ は定義することができないため、算出しない。

【0124】

このように、制御部 22 は、以上のステップ S1 ~ ステップ S5 によって、上電極 40 の打角の方向 θ と大きさ φ を定量的に求める。 20

【0125】

続いて、ステップ S6 において、制御部 22 は、打角の大きさ φ が予め定められた規定値以上であるか否かを判断する。規定値は、任意の値に設定される。例えば、規定値は、 1° である。

【0126】

ここで、制御部 22 は、打角の大きさ φ が規定値未満であると判断した場合には、後述するステップ S8 に移行する。一方、制御部 22 は、打角の大きさ φ が規定値以上であると判断した場合には、ステップ S7 に移行する。ステップ S7 において、制御部 22 は、打角の大きさ φ が規定値未満に修正されるように、ロボット 20 を制御し、上電極 40 及び下電極 42 の位置を変更する。そして、制御部 22 は、ステップ S8 に移行する。 30

【0127】

続いて、ステップ S8 において、制御部 22 は、電源 16 を制御し、上電極 40 及び下電極 42 に通電させる。このようにして上電極 40 及び下電極 42 に通電されると、溶接対象 32 が抵抗スポット溶接され、これにより、溶接対象 32 から抵抗スポット溶接継手が得られる。

【0128】

なお、複数の鋼板 30 が、重ね合わせ面に垂鉛系めっきが被覆された鋼板を 1 枚以上含む場合に、制御部 22 は、次のようにしてもよい。すなわち、重ね合わされた複数の鋼板 30 の溶接箇所の総板厚を t [mm] とした場合に、制御部 22 は、上電極 40 及び下電極 42 への通電時間を $(5t + 2.8\varphi + 2) / 50$ [sec] 以上としてもよい。この 40

【0129】

また、複数の鋼板 30 のうち少なくとも 1 枚が、金属めっき層を有する表面処理鋼板である場合に、制御部 22 は、次のようにしてもよい。すなわち、上電極 40 及び下電極 42 への通電終了後の加圧力保持時間を H [msec]、複数の鋼板 30 のうち最も板厚が大きい鋼板の板厚を t [mm]、複数の鋼板 30 のうち最も引張強度が大きい鋼板の引張強度を T [MPa]、上電極 40 及び下電極 42 の各加圧力を F [N] とした場合に、制御部 22 は、 $0 < \varphi < 1$ であるときには、 $2 \cdot \varphi \cdot (t \cdot T / F)^{1/2} \cdot H$ を満たし、 $1 < \varphi < 10$ であるときには、 $(3 \cdot \varphi - 1) \cdot (t \cdot T / F)^{1/2} \cdot H$ を満たし、 10

$\varphi < 20$ であるときには、 $(\varphi + 19) \cdot (t \cdot T / F)^{1/2} \cdot H$ を満たすように、上電極 40 及び下電極 42 への通電終了後の加圧力保持時間及び上電極 40 及び下電極 42 の各加圧力を制御してもよい。これらの式を用いて加圧力保持時間及び加圧力を算出すること自体は、国際公開第 2017/033455 号パンフレットに記載されている。

【0130】

[作用及び効果]

次に、本発明の第一実施形態の作用及び効果について説明する。

【0131】

以上詳述した通り、第一実施形態によれば、打角の方向 θ と大きさ φ を算出する際に、ひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} からひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} の平均値 ε_m をそれぞれ減算して偏差ひずみ ε_0' 、 ε_{90}' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' を算出する。これにより、打角によるひずみ測定値の変化量を取り出すことができるので、例えば、ひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} をそのまま用いる場合に比して、打角の方向 θ と大きさ φ を精度よく検出できる。

10

【0132】

また、第一実施形態によれば、打角の方向 θ と大きさ φ を算出する際に、偏差ひずみ ε_0' 、 ε_{90}' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' から打角がない場合の偏差ひずみ ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} である基準偏差ひずみ ε_0 、 $\varphi = 0'$ 、 ε_{90} 、 $\varphi = 0'$ 、 ε_{180} 、 $\varphi = 0'$ 、 ε_{270} 、 $\varphi = 0'$ をそれぞれ減算して偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{270}'$ を算出する。これにより、上電極 40 の剛性が周方向に不均一であることに起因した偏差成分を除去でき、打角に起因した偏差成分のみを抽出できるので、例えば、偏差ひずみ ε_0' 、 ε_{90}' 、 ε_{180}' 、 ε_{270}' をそのまま用いる場合に比して、打角の方向 θ と大きさ φ の検出精度を向上させることができる。

20

【0133】

また、第一実施形態によれば、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0'$ 、 $\Delta \varepsilon_{90}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}'$ 、 $\Delta \varepsilon_{270}'$ のうち、値がマイナス側に最も大きい第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ を特定すると共に、第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ が検出された位置から上電極 40 の周方向に $\pm 90^\circ$ 離れた 2 つの位置でそれぞれ検出された偏差ひずみ変化量のうち値がマイナス側に大きい方の第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ を特定し、第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ 及び第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ に基づいて打角の方向 θ と大きさ φ を算出する。したがって、打角の方向 θ と大きさ φ に応じて感度よく増減する第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ 及び第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ に基づいて打角の方向 θ と大きさ φ を算出するので、打角の方向 θ と大きさ φ の検出精度を向上させることができる。

30

【0134】

また、第一実施形態によれば、第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ 及び第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ の合成値である合成偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_N'$ と打角の大きさ φ との関係から比例係数 α を予め算出し、実際の打角の測定では、上記式 (A-2) 等の通り、合成偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_N'$ に比例係数 α を乗算して打角の大きさ φ を算出する。これにより、上電極 40 及び下電極 42 の各加圧力及び上電極 40 及び下電極 42 の剛性の影響を排除して打角の大きさ φ を検出できる。

40

【0135】

また、第一実施形態によれば、特定された第一偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1'$ 及び第二偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2'$ に応じて予め定められた上記式 (A-1) ~ (H-3) により打角の方向 θ と大きさ φ を算出する。したがって、打角の方向 θ と大きさ φ を幾何学的に算出するので、打角の方向 θ と大きさ φ の検出精度を向上させることができる。

【0136】

また、第一実施形態によれば、一例として、打角の方向 θ と大きさ φ を算出し、その後、上電極 40 及び下電極 42 に通電して溶接対象 32 をスポット溶接する工程に移行する。したがって、例えば、溶接対象 32 をスポット溶接する工程の前に、打角の大きさ φ を修正したり、スポット溶接する工程への移行を中止したりすることができる。

50

【 0 1 3 7 】

また、第一実施形態によれば、打角の方向 θ と大きさ ϕ を算出し、打角の大きさ ϕ が予め定められた規定値以上である場合には、打角の大きさ ϕ を規定値未満に修正し、その後、上電極40及び下電極42に通電して溶接対象32をスポット溶接する。したがって、打角の大きさ ϕ が規定値以上である状態で溶接対象32が抵抗スポット溶接されることを抑制できるので、溶接品質を安定させることができる。これにより、例えば、溶接対象32として亜鉛めっき鋼板を用いた場合には、LME割れの発生を抑制できる。

【 0 1 3 8 】

また、第一実施形態によれば、打角の方向 θ と大きさ ϕ を算出するために、安価で小型であるひずみゲージ14を用いるので、上電極40及び下電極42の周辺部品と干渉しない省スペース性や、イニシャルコスト及びランニングコスト等の経済性の課題を解決できる。

10

【 0 1 3 9 】

また、第一実施形態によれば、4つのひずみゲージ14を上電極40に取り付けたまま、上電極40及び下電極42に通電して溶接対象32を溶接する。したがって、例えば、打角を検出するための打角検出手段を取り外してから、上電極40及び下電極42に通電して溶接対象32を溶接する場合に比して、工数を削減できるので、溶接コストを低減できる。

【 0 1 4 0 】

[特許文献に記載された技術との相違点]

20

次に、第一実施形態について、特許文献に記載された技術との相違点を説明する。

【 0 1 4 1 】

(1) 特許文献1について

特許文献1には、電極に着脱可能な面直度検知治具が記載されている。この面直度検知治具には、鋼板と接触する検知棒が3つ以上備わり、検知棒に連結された板ばねのひずみをひずみゲージ14により検知する。

【 0 1 4 2 】

特許文献1では、接触棒に連結された板ばねのひずみをひずみゲージ14で測定するのに対して、第一実施形態は、上電極40自体のひずみをひずみゲージ14で直接測定している点が異なる。特許文献1では、溶接時に面直度検知治具を取り外す必要があるが、第一実施形態では、溶接時にひずみゲージ14の取り外しが不要である。

30

【 0 1 4 3 】

(2) 特許文献2について

特許文献2には、電極に多軸振動センサを取り付け、多軸振動センサで検出された振動(加速度)から電極の3次元的な変位を算出し、打角を検出することが記載されている。

【 0 1 4 4 】

特許文献2では、振動(加速度)から算出される電極の変位情報を使用するのに対して、第一実施形態は、上電極40のひずみをひずみゲージ14で測定して打角を検出する点が異なる。

【 0 1 4 5 】

40

(3) 特許文献3について

特許文献3には、溶接材を加圧した際の電極間の距離を求め、この値から打角を検出する溶接ロボットが記載されている。

【 0 1 4 6 】

特許文献3では、溶接ロボットの基本機能を活用するため、電極にセンサを設置しないのに対して、第一実施形態は、電極にひずみゲージ14をセンサとして取り付ける点が異なる。

【 0 1 4 7 】

(4) 特許文献4について

特許文献4には、溶接の打点近傍の複数個所に電極を移動させ、このときの反力の大き

50

さから打角を検出する溶接ロボットが記載されている。

【0148】

特許文献4では、溶接ロボットの基本機能を活用するため、電極にセンサを設置しないのに対して、第一実施形態は、電極にひずみゲージ14をセンサとして取り付ける点異なる。

【0149】

(5) 特許文献5について

特許文献5には、目視式のインジケータを用いて、電極の傾斜角度を測定する方法が記載されている。

【0150】

特許文献5では、目視式のインジケータを用いるのに対し、第一実施形態は、電極に取り付けたひずみゲージ14をセンサとして用いる点異なる。

【0151】

(6) 特許文献6について

特許文献6には、電極に代えて電極ホルダに取り付けられるヘッドに感圧素子を取り付けて、電極の面直度を疑似的に測定する方法が記載されている。

【0152】

特許文献6では、感圧センサを用いるのに対し、本発明は、ひずみゲージ14を用いる点で異なる。また、特許文献6では、電極に代えて電極ホルダにヘッドを取り付けるため、そのままでは、溶接できないのに対し、第一実施形態は、上電極40にひずみゲージ14を取り付けるため、そのまま溶接できる点で異なる。

【0153】

(7) 特許文献7について

特許文献7には、非電氣的ひずみゲージ14を電極に取り付けて、電極にかかる荷重の方向と大きさを検出する技術が記載されている。

【0154】

特許文献7では、電極にかかる荷重の方向と大きさを検出するのに対し、第一実施形態は、打角の方向と大きさを検出する点で異なる。また、特許文献7では、電極に通電してから電極のひずみを検出するのに対し、第一実施形態では、上電極40及び下電極42に通電する前に上電極40のひずみを検出する点異なる。

【0155】

[実施例]

次に、本発明の第一実施形態の実施例について説明する。

【0156】

表1は、本発明の第一実施形態の実施例における測定条件を示す表である。図12は、実施例における打角の方向 θ の測定結果を示すグラフである。図12の縦軸は、上述の制御部22で算出された打角の方向 θ を示し、図12の横軸は、実際に設定された打角の方向 θ を示している。図12において、 $\triangle$ マークは、打角の大きさ $\varphi = 3^\circ$ の場合、 $\square$ マークは、打角の大きさ $\varphi = 6^\circ$ の場合、 $\diamond$ マークは、打角の大きさ $\varphi = 9^\circ$ の場合をそれぞれ示している。

【0157】

また、図13は、実施例における打角の大きさ φ の測定結果を示すグラフである。図13の縦軸は、上述の制御部22で算出された打角の大きさ φ を示し、図13の横軸は、実際に設定された打角の大きさ φ を示している。図13において、 $\triangle$ マークは、打角がない場合、 $\square$ マークは、打角の方向 $\theta = 90^\circ$ の場合、 $\diamond$ マークは、打角の方向 $\theta = 105^\circ$ の場合、 $\times$ マークは、打角の方向 $\theta = 120^\circ$ の場合、 $*$ マークは、打角の方向 $\theta = 135^\circ$ の場合、 $\circ$ マークは、打角の方向 $\theta = 150^\circ$ の場合、 $+$ マークは、打角の方向 $\theta = 165^\circ$ の場合、 $\cdot$ マークは、打角の方向 $\theta = 180^\circ$ の場合をそれぞれ示している。

【0158】

図12、図13に示される測定結果より、実用上十分な精度で打角の方向 θ と大きさ φ

10

20

30

40

50

を予測できることが確認された。

【表 1】

溶接ロボット	六軸多関節ロボット
電極シャング 4 4 径	1 6 mm
電極チップ 4 6 形状	DR 型、先端径：6 mm、先端曲率半径：4 0 mm
設定加圧力	3 9 2 0 N
打角範囲	方向 θ : $0^{\circ} \leq \theta \leq 180^{\circ}$ 大きさ ϕ : $0^{\circ} \leq \phi \leq 9^{\circ}$

10

【0 1 5 9】

また、重ね合わされた上下一対の合金化溶融亜鉛めっき鋼板（GA 鋼板）を溶接対象 3 2 にして、第一実施形態を適用した抵抗スポット溶接を行った。溶接対象 3 2 の溶接箇所
の中央部を観察し、LME 割れの有無を調査した結果を表 2 に示す。

【0 1 6 0】

なお、試験番号 1 は、重ね合わされた一对の鋼板の溶接箇所の総板厚を t [mm] とした
場合に、上電極 4 0 及び下電極 4 2 への通電時間を $(5t + 2.8\phi + 2) / 50$ [sec] 以上とした例である。

【0 1 6 1】

また、試験番号 2 は、上電極 4 0 及び下電極 4 2 への通電終了後の加圧力保持時間を H
[msec]、一对の鋼板のそれぞれの板厚を t [mm]、一对の鋼板のそれぞれの引張
強度を T [MPa]、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力を F [N]、打角の大きさ ϕ
 $= 6^{\circ}$ とした場合に、 $(3 \cdot \phi - 1) \cdot (t \cdot T / F)^{1/2} H$ を満たすようにした例で
ある。

20

【0 1 6 2】

また、試験番号 3 は、加圧時に打角の大きさ $\phi = 6^{\circ}$ に設定されており、その後、溶接
開始前に打角の大きさ $\phi = 0^{\circ}$ に修正した例である。

【表 2】

試験 番号	上板		下板		打角の 大きさ φ [°]	加圧力 [N]	電流 [A]	通電 時間 [sec]	保持 時間 [msec]	割れの 有無
	板厚 [mm]		強度 [MPa]							
1	1.6	980	1.6	980	6	3920	9000	0.7	10	無
2	1.6	980	1.6	980	6	3920	9000	0.4	40	無
3	1.6	980	1.6	980	6→0	3920	9000	0.4	10	無

30

【0 1 6 3】

表 2 に示される通り、試験番号 1 では、第一実施形態を適用し、さらに、打角の大きさ
 ϕ に応じた通電時間を適用した結果、LME 割れは観察されなかった。また、試験番号 2
では、打角の大きさ ϕ に応じた保持時間を適用した結果、LME 割れは観察されなかった
。さらに、試験番号 3 では、加圧時の打角の大きさ $\phi = 6^{\circ}$ を検出し、その後、溶接開始
前に打角の大きさ $\phi = 0^{\circ}$ に修正した結果、LME 割れ観察されなかった。このように、
実施例から、第一実施形態が LME 割れの抑制に有効であることを確認できた。

40

【0 1 6 4】

〔変形例〕

次に、本発明の第一実施形態の変形例について説明する。

【0 1 6 5】

（第一変形例）

図 1 4 は、本発明の第一実施形態に係る抵抗スポット溶接装置 1 0 の第一変形例を示す
図である。図 1 4 において、(A) はブロック図を含む抵抗スポット溶接装置 1 0 の側面

50

図、(B)はF14-F14線断面図である。また、図15は、図14の抵抗スポット溶接装置10における下電極42の打角の方向 θ と大きさ φ を説明する図である。図15において、(A)は下電極42の打角の大きさ φ を説明する溶接ガン12の側面図、(B)は下電極42の打角の方向 θ を模式的に説明する底面図である。

【0166】

第一実施形態では、4つのひずみゲージ14が、上電極40に取り付けられているが、図14、図15に示される第一変形例では、4つのひずみゲージ14が、下電極42に取り付けられている。4つのひずみゲージ14が取り付けられた下電極42は、「第一電極」の一例であり、上電極40は、「第二電極」の一例である。

【0167】

図15(B)に示されるように、この第一変形例では、基準線Cを次のように定義する。すなわち、下電極42の軸線Bに垂直な平面で切った場合の下電極42の断面を、図15(B)に示される通り、断面42Aとした場合に、この断面42A上に予め設定され、この断面42Aの中心から下電極42の径方向外側に延びる線を、基準線Cと定義する。4つのひずみゲージ14は、基準線C上の位置、基準線Cから上電極40の周方向に 90° 離れた位置、基準線Cから上電極40の周方向に 180° 離れた位置、及び、基準線Cから上電極40の周方向に 270° 離れた位置にそれぞれ配置されている。

【0168】

また、溶接対象32の接触面32Bの法線Aに対する下電極42の軸線Bの傾きは、下電極42の打角である。第一変形例では、法線Aから軸線Bに向かって降ろした垂線Dと基準線Cとが下電極42の断面42A上においてなす角度を打角の方向 $\theta [^\circ]$ ($0^\circ < \theta < 360^\circ$)と定義する。さらに、図15(A)に示されるように、同一平面上で溶接対象32の接触面32Bの法線Aと下電極42の軸線Bとのなす角度を打角の大きさ $\varphi [^\circ]$ ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$)と定義する。

【0169】

そして、この第一変形例では、第一実施形態と同一の手法により、下電極42の打角の方向 θ と大きさ φ が算出される。すなわち、下電極42に取り付けられた4つのひずみゲージ14で測定された4つのひずみ測定値 ε_0 、 ε_{90} 、 ε_{180} 、 ε_{270} に基づいて下電極42の打角の方向 θ と大きさ φ が算出される。

【0170】

このような第一変形例によっても、上記第一実施形態と同様の作用及び効果を得ることができる。

【0171】

(第二変形例)

図16は、本発明の第一実施形態に係る抵抗スポット溶接装置10の第二変形例を示す図である。図16において、(A)はブロック図を含む抵抗スポット溶接装置10の側面図、(B)はF16A-F16A線断面図、(C)はF16B-F16B線断面図である。

【0172】

また、図17は、図16の抵抗スポット溶接装置10における上電極40の打角の方向 θ_1 と大きさ φ_1 及び下電極42の打角の方向 θ_2 と大きさ φ_2 を説明する図である。図17において、(A)は上電極40の打角の大きさ φ_1 及び下電極42の打角の大きさ φ_2 を説明する溶接ガン12の側面図、(B)は上電極40の打角の方向 θ_1 を模式的に説明する平面図、(C)は下電極42の打角の方向 θ_2 を模式的に説明する底面図である。

【0173】

この第二変形例は、第一実施形態と第一変形例を組み合わせたものである。すなわち、第二変形例において、上電極40には、4つのひずみゲージ14Aが取り付けられており、下電極42には、4つのひずみゲージ14Bが取り付けられている。上電極40に取り付けられた4つのひずみゲージ14Aは、第一実施形態における4つのひずみゲージ14(図1、図2参照)に相当し、下電極42に取り付けられた4つのひずみゲージ14Bは、第一変形例における4つのひずみゲージ14(図14、図15参照)に相当する。

10

20

30

40

50

【 0 1 7 4 】

この第二変形例において、上電極 4 0 は、「第一電極」の一例であり、下電極 4 2 は、「第二電極」の一例である。上電極 4 0 に取り付けられた 4 つのひずみゲージ 1 4 A は、「複数の第一ひずみゲージ」の一例であり、下電極 4 2 に取り付けられた 4 つのひずみゲージ 1 4 B は、「複数の第二ひずみゲージ」の一例である。

【 0 1 7 5 】

この第二変形例において、上電極 4 0 の打角の方向 $\theta 1$ と大きさ $\phi 1$ は、第一実施形態と同一の手法により算出される。同様に、下電極 4 2 の打角の方向 $\theta 2$ と大きさ $\phi 2$ は、第一変形例と同一の手法により算出される。

【 0 1 7 6 】

この第二変形例によれば、上電極 4 0 の打角の方向 $\theta 1$ と大きさ $\phi 1$ 、及び、下電極 4 2 の打角の方向 $\theta 2$ と大きさ $\phi 2$ を個別に算出できる。これにより、例えば、溶接対象 3 2 を構成する複数の鋼板 3 0 の間に生じた隙間の影響等により、上電極 4 0 及び下電極 4 2 のどちらか一方にのみ打角がある場合でも対応することができる。

【 0 1 7 7 】

なお、下記式 (1 1) で算出される打角の方向 $\theta 2'$ を下電極 4 2 の打角の方向としてもよい。このようにすると、下電極 4 2 の打角の方向 $\theta 2'$ を上電極 4 0 の打角の方向 $\theta 1$ に合わせた状態で下電極 4 2 の打角の方向 $\theta 2'$ と上電極 4 0 の打角の方向 $\theta 1$ とを比較できる。

$$\theta 2' = \theta 2 - 180 [^\circ] \cdots (11)$$

【 0 1 7 8 】

(その他の変形例)

第一実施形態では、複数のひずみゲージ 1 4 の一例として、4 つのひずみゲージ 1 4 が上電極 4 0 に取り付けられているが、上電極 4 0 に周方向に等間隔で取り付けられる複数のひずみゲージ 1 4 の数は、3 つ以上であれば、いくつでもよい。

【 0 1 7 9 】

また、上記第一変形例において、下電極 4 2 に周方向に等間隔で 3 つ以上の複数のひずみゲージ 1 4 が取り付けられてもよく、同様に、上記第二変形例において、上電極 4 0 に周方向に等間隔で 3 つ以上の複数のひずみゲージ 1 4 A が取り付けられ、下電極 4 2 に周方向に等間隔で 3 つ以上の複数のひずみゲージ 1 4 B が取り付けられてもよい。

【 0 1 8 0 】

また、第一実施形態、第一変形例及び第二変形例では、一例として、上電極 4 0 の軸線の傾斜角度と下電極 4 2 の軸線の傾斜角度とが同じである図を用いて説明がされているが、第一実施形態、第一変形例及び第二変形例において、抵抗スポット溶接における打角測定方法は、上電極 4 0 の軸線の傾斜角度と下電極 4 2 の軸線の傾斜角度とが異なる場合、上電極 4 0 の軸線が鋼板と垂直で下電極 4 2 の軸線が鋼板の法線に対して傾斜する場合、及び、上電極 4 0 の軸線が鋼板の法線に対して傾斜し下電極 4 2 の軸線が鋼板と垂直である場合に適用されてもよい。

【 0 1 8 1 】

次に、本発明の第二実施形態について説明する。

【 0 1 8 2 】

[新たな課題解決の着想について]

発明者らは、第一実施形態に対して鋭意検討した結果、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の少なくとも一方の周方向に等間隔で取り付けられる複数のひずみゲージ 1 4 の数は、3 つ以上でなくてもよいことを見出した。また、複数のひずみゲージ 1 4 が不等間隔に配置された場合でも、打角の方向 θ と大きさ ϕ を検出する新たな手法を見出した。

【 0 1 8 3 】

さらに、発明者らは、打角の方向 θ と大きさ ϕ を検出することについて検討している際に、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力を検出することができれば、溶接ガン 1 2 の高さ方向の位置ずれを検出することができ、溶接ガン 1 2 の高さ方向の位置ずれを補正す

10

20

30

40

50

ば、溶接品質をさらに安定させることができると考えた。なお、第二実施形態において加圧力とは、本実施形態に係る抵抗スポット溶接装置において算出される実績加圧力を主に意味する。

【 0 1 8 4 】

そこで、試しに上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各周方向の 4 箇所に 9 0 ° 間隔で 4 つのひずみゲージ 1 4 を取り付けた状態で、溶接対象 3 2 を上電極 4 0 及び下電極 4 2 で挟み、この上電極 4 0 及び下電極 4 2 で溶接対象 3 2 を加圧したときの上電極 4 0 のひずみ及び下電極 4 2 のひずみを各 4 つのひずみゲージ 1 4 で測定した。この結果、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力に応じたひずみ測定値が得られるという特性があることが分かった。そして、この特性を利用することによって、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力を検出することを着想した。

10

【 0 1 8 5 】

[新たな課題解決のポイント及びメカニズム]

以下、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力を定量的に算出するまでに至る検討内容、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の少なくとも一方の周方向に等間隔で取り付けられる複数のひずみゲージ 1 4 の数が 3 つ以上でなくてもよいことの検討内容、及び、複数のひずみゲージ 1 4 が不等間隔に配置された場合でも、打角の方向 θ と大きさ φ を検出する新たな手法をそれぞれ具体的に説明する。

【 0 1 8 6 】

本発明者らは、溶接ガン 1 2 の位置ずれと打角が複合した外乱条件を想定している。したがって、打角がある状態でも、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力を高精度に検出する必要がある。そこで、発明者らは、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各周方向の 4 箇所に 9 0 ° 間隔で 4 つのひずみゲージ 1 4 を取り付けて、各 4 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値を、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力を変化させて測定した。

20

【 0 1 8 7 】

図 1 8 は、上記測定により得られた上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力と上電極 4 0 及び下電極 4 2 に取り付けられた各 4 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m (4 点平均値) との関係を示すグラフである。図 1 8 の縦軸は、加圧力 [N] を示しており、図 1 8 の横軸は、ひずみ測定値の平均値 ε_m を示している。また、 $\bullet$ 印は、上電極 4 0 に取り付けられた 4 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m を表しており、 $\square$ 印は、下電極 4 2 に取り付けられた 4 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m を表している。

30

【 0 1 8 8 】

図 1 8 に示されるように、上電極 4 0 に取り付けられた 4 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m 、及び、下電極 4 2 に取り付けられた 4 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m は、いずれも上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力と比例することが分かった。また、上電極 4 0 に取り付けられた 4 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m と、下電極 4 2 に取り付けられた 4 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m とは、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力が変化しても、同様の値であることが分かった。

40

【 0 1 8 9 】

上記測定結果より、発明者らは、等間隔に配置された複数のひずみゲージ 1 4 から得られたひずみ測定値の平均値 ε_m は打角の影響を受けにくく、また、加圧力と相関があると考えた。以下に、このような加圧力測定方法を考案するに至った根拠となるデータをさらに示す。なお、等間隔に配置された複数のひずみゲージ 1 4 は、「等間隔配置ひずみゲージ」の一例である。

【 0 1 9 0 】

図 1 9 は、ひずみゲージ 1 4 の数が 1 つ、2 つ、4 つの場合の、打角の方向 θ [°] とひずみ測定値の平均値 ε_m との関係を示す。図 1 9 に示す測定では、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力を一定に設定した条件とした。図 1 9 (A) はひずみゲージ 1 4 の数が

50

1つの場合の測定結果を示し、図19(B)はひずみゲージ14の数が2つの場合の測定結果を示し、図19(C)はひずみゲージ14の数が4つの場合の測定結果を示している。図19(A)～(C)において、縦軸はひずみ測定値の平均値 ε_m を示し、横軸は打角の方向 θ [°]を示している。図19に示す測定では、加圧力を4000Nとし、打角の大きさ φ を3°とした。

【0191】

図19(A)において、□印は基準線C上の位置(0°の位置)にひずみゲージ14を配置した場合の測定結果を表し、○印は基準線Cから90°離れた位置にひずみゲージ14を配置した場合の測定結果を表し、×印は基準線Cから180°離れた位置にひずみゲージ14を配置した場合の測定結果を表し、*印は基準線Cから270°離れた位置にひずみゲージ14を配置した場合の測定結果を表す。図19(A)に示す測定では、ひずみゲージ14の数が1つであるので、ひずみ測定値の平均値 ε_m は、1つのひずみゲージ14のひずみ測定値そのものである。

10

【0192】

図19(B)において、グラフG1は基準線C上の位置(0°の位置)に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値と基準線Cから180°離れた位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値の平均値 ε_m を示し、グラフG2は基準線C上の位置(0°の位置)に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値と基準線Cから90°離れた位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値の平均値 ε_m を示している。

20

【0193】

図19(C)において、グラフG1は基準線C上の位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値と、基準線Cから90°離れた位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値と、基準線Cから180°離れた位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値と、基準線Cから270°離れた位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値の平均値 ε_m (4点平均値)を示している。

【0194】

また、図20は、打角なしの条件で測定した上電極40及び下電極42の各加圧力[N]とひずみ測定値の平均値 ε_m との関係を示す。図20(A)はひずみゲージ14の数が2つの場合の測定結果を示し、図20(B)はひずみゲージ14の数が4つの場合の測定結果を示している。図20(A)、(B)において、縦軸はひずみ測定値の平均値 ε_m を示し、横軸は加圧力[N]を示している。

30

【0195】

図20(A)において、○印は上電極40の基準線C上の位置(0°の位置)に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値と基準線Cから180°離れた位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値の平均値 ε_m を示し、×印は下電極42の基準線C上の位置(0°の位置)に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値と基準線Cから180°離れた位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値の平均値 ε_m を示し、□印は上電極40の基準線Cから90°離れた位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値と基準線Cから270°離れた位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値の平均値 ε_m を示し、○印は下電極42の基準線Cから90°離れた位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値と基準線Cから270°離れた位置に配置されたひずみゲージ14のひずみ測定値の平均値 ε_m を示している。

40

【0196】

図20(B)において、○印は上電極40に取り付けられた4つのひずみゲージ14のひずみ測定値の平均値 ε_m (4点平均値)を示し、□印は下電極42に取り付けられた4つのひずみゲージ14のひずみ測定値の平均値 ε_m (4点平均値)を示している。

【0197】

図19(A)に示される測定結果より、ひずみゲージの数が1つの場合、ひずみ測定値の平均値 ε_m は、打角の方向 θ によって変化しており、ひずみゲージが加圧力検出手段として適さないことが分かった。

50

【 0 1 9 8 】

図 1 9 (B) に示される測定結果より、ひずみゲージの数が 2 つの場合、グラフ G 2 で示されるように、互いに 9 0 ° 離れた位置に配置された 2 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m は、打角の方向 θ によって変化しており、ひずみゲージが加圧力検出手段として適さないことが分かった。一方、グラフ G 1 で示されるように、互いに 1 8 0 ° 離れた位置に配置された 2 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m は、打角の方向 θ によってほとんど変化していない。また、図 2 0 (A) に示されるように、互いに 1 8 0 ° 離れた位置に配置された 2 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m は、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力と相関を示すことが分かった。

【 0 1 9 9 】

10

図 1 9 (C) に示される測定結果より、ひずみゲージの数が 4 つの場合、グラフ G 1 で示されるように、4 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m は、打角の方向 θ によってほとんど変化していない。また、図 2 0 (B) に示されるように、4 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m は、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力と相関を示すことが分かった。

【 0 2 0 0 】

以上の測定結果より、等間隔に配置された複数のひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値から算出した平均値 ε_m は、打角がある状況下でも高精度な加圧力検出を可能とする検出値であることが分かった。

【 0 2 0 1 】

20

また、発明者らは、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各々の実績加圧力を溶接ガン 1 2 の高さ方向の位置を変化させて測定した。

【 0 2 0 2 】

図 2 1 は、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各々の実績加圧力と溶接ガン 1 2 の高さ方向の位置との関係を示すグラフである。図 2 1 の縦軸は、実績加圧力 [N] を示しており、図 2 1 の横軸は、溶接ガン 1 2 の高さ方向の位置 [mm] を示している。また、グラフ G 1 は、上電極 4 0 の実績加圧力を表しており、グラフ G 2 は、下電極 4 2 の実績加圧力を表している。

【 0 2 0 3 】

図 2 1 に示されるように、溶接ガン 1 2 の位置がずれると、上電極 4 0 の実績加圧力が一定のまま、下電極 4 2 の実績加圧力が変化する。例えば、下電極 4 2 と溶接対象 3 2 がジャストタッチする位置関係に対して、溶接ガン 1 2 の位置が下電極 4 2 側にずれた場合、下電極 4 2 と溶接対象 3 2 との間にクリアランス（すなわち隙間）が生じるため、下電極 4 2 の実績加圧力は上電極 4 0 の実績加圧力に比べて低下する。反対に、下電極 4 2 と溶接対象 3 2 がジャストタッチする位置関係に対して、溶接ガン 1 2 の位置が上電極 4 0 側にずれた場合、下電極 4 2 が溶接対象 3 2 を押し上げるため、下電極 4 2 の実績加圧力は上電極 4 0 の実績加圧力に対して増加する。したがって、発明者らは、上電極 4 0 及び下電極 4 2 の各加圧力差を利用することにより、溶接ガン 1 2 の位置ずれを検出することができると考えた。

30

【 0 2 0 4 】

40

なお、これらの変化は、溶接ガン 1 2 と溶接対象 3 2 との相対的な位置関係に起因するものであり、溶接ガン 1 2 の位置が変化しなくても溶接対象 3 2 の位置が変化した場合においても、上記と同様の変化が生じると考えられる。

【 0 2 0 5 】

ところで、図 2 1 に示されるように、上電極 4 0 の実績加圧力が溶接ガン 1 2 の位置に関係なく一定であるのは、上電極 4 0 の実績加圧力が一定となるように、ロボット 2 0 に備えられたモータのトルクが制御されているからである。また、下電極 4 2 の実績加圧力が溶接ガン 1 2 の位置によって変化するの、溶接ガン 1 2 に作用する力のつり合いから解釈できる。上電極 4 0 及び下電極 4 2 で溶接対象 3 2 を加圧したときに溶接ガン 1 2 に作用する力は、(1) 上電極 4 0 が溶接対象 3 2 の接触面から受ける反力、(2) 溶接ガ

50

ン 1 2 を把持するロボット 2 0 のアームから作用する力、(3) 下電極 4 2 が溶接対象 3 2 との接触面から受ける反力の 3 つである。このうち、(1) の反力は、前述の通り、溶接ガン 1 2 の位置ずれに関係なしに一定である。一方、(2) の力は、溶接ガン 1 2 の位置ずれによって変化すると考えられる。例えば、上電極 4 0 及び下電極 4 2 と溶接対象 3 2 との間にクリアランスが無い場合、上電極 4 0 及び下電極 4 2 は溶接対象 3 2 にほぼ同時に接触するが、クリアランスがある場合、下電極 4 2 が溶接対象 3 2 に先に接触し、その次に上電極 4 0 が溶接対象 3 2 に接触するようになる。この結果、ロボット 2 0 のアームの関節部に外部負荷が作用するが、ロボット 2 0 のアームはその姿勢を維持するように位置制御されるため、外部負荷分、関節部のモータトルクを変化させる。すなわち、溶接ガン 1 2 に作用する(2) の力が変化することになる。以上を整理すると、溶接ガン 1 2 の位置ずれにより、(1) の反力は変化せず、(2) の力が変化すると考えられる。また、上電極 4 0 及び下電極 4 2 で溶接対象 3 2 を加圧したときに溶接ガン 1 2 に作用している力はバランスする必要があるので、(2) の力が変化した分、下電極 4 2 に作用する(3) の反力が変化すると考えられる。

10

【 0 2 0 6 】

このように、溶接ガン 1 2 の高さ方向の位置が変化しても、上電極 4 0 の実績加圧力が略一定となるように溶接ガン 1 2 の高さ方向の位置が調整される制御がロボット 2 0 に対して行われる場合、下電極 4 2 の実績加圧力は、溶接ガン 1 2 の高さ方向の位置と比例することが分かった。

【 0 2 0 7 】

20

以上より、発明者らは、例えば、上電極 4 0 の実績加圧力が略一定となるように溶接ガン 1 2 の高さ方向の位置が調整される制御がロボット 2 0 に対して行われる場合には、下電極 4 2 に等間隔に複数のひずみゲージ 1 4 を取り付けて、この複数のひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値の平均値 ε_m を算出すれば、溶接ガン 1 2 の高さ方向の位置を推定できると考えた。

【 0 2 0 8 】

また、発明者らは、C 字ガン又は X 字ガンへの適用について検討した。まず、C 字ガンについて説明する。C 字ガンは、一般に、上電極及び下電極のうち一方が可動電極であり他方が固定電極である片側駆動である。可動電極については、可動電極を駆動するモータのトルクから加圧力を算出できるが、固定電極には加圧力の検出手段がない。よって、少なくとも固定電極にひずみゲージを配置する必要がある。一方、打角については、可動電極及び固定電極のうち少なくともいずれか一方にひずみゲージを取り付けて測定すればよい。したがって、C 字ガンでは、打角の測定と上電極及び下電極の各加圧力の検出とを行うには、表 3 のパターン 1 ~ 6 とすればよいと考えられる。

30

【 0 2 0 9 】

すなわち、パターン 1 は、可動電極を駆動するモータのトルクから加圧力を算出し、固定電極に取り付けたひずみゲージで加圧力の検出と打角の測定の両方を行うパターンである。また、パターン 2 は、可動電極及び固定電極の両方に取り付けたひずみゲージで加圧力を検出し、固定電極に取り付けたひずみゲージで打角を測定するパターンである。パターン 3 は、可動電極を駆動するモータのトルクから加圧力を算出し、可動電極に取り付けたひずみゲージで打角を測定し、固定電極に取り付けたひずみゲージで加圧力を検出するパターンである。パターン 4 は、可動電極及び固定電極の両方に取り付けたひずみゲージで加圧力を検出し、可動電極に取り付けたひずみゲージで打角を測定するパターンである。パターン 5 は、可動電極を駆動するモータのトルクから加圧力を算出し、可動電極及び固定電極の両方に取り付けたひずみゲージで打角を測定し、さらに固定電極に取り付けたひずみゲージで加圧力を検出するパターンである。パターン 6 は、可動電極及び固定電極の両方に取り付けたひずみゲージで加圧力の検出と打角の測定の両方を行うパターンである。

40

【 0 2 1 0 】

なお、加圧力は溶接品質に影響を及ぼすパラメータのため、加圧力を一定に制御しない

50

溶接ガンは無いと考えられるが、仮に、加圧力を一定に制御しない場合においても、配置パターンに関しては、「加圧力一定制御あり」と同様に、パターン１～６を採用可能であると考えられる。

【０２１１】

続いて、X字ガンについて説明する。上電極及び下電極のうち一方が可動電極であり他方が固定電極である片側駆動のX字ガンは、配置パターンに関しては、C字ガンと同様に、パターン１～６を採用可能であると考えられる。また、上電極及び下電極の両方が可動電極であり、かつ、２個のモータで上電極及び下電極を個別に駆動できる両側駆動のX字ガンは、配置パターンに関しては、パターン１～６に加えて、各可動電極を駆動するモータのトルクから加圧力を算出し、可動電極及び固定電極のいずれか一方に取り付けたひずみゲージで打角を測定するパターンを採用可能であると考えられる。また、１個のモータで上電極及び下電極を駆動でき、かつ、上電極の加圧力及び下電極の加圧力を１個のモータから算出できる両側駆動のX字ガンは、上述の２個のモータで上電極及び下電極を個別に駆動できる両側駆動のX字ガンと同様の配置パターンを採用可能であると考えられる。

10

また、１個のモータで上電極及び下電極を駆動できるが、上電極の加圧力及び下電極の加圧力を１個のモータから算出できない両側駆動のX字ガンは、上電極及び下電極の両方に取り付けたひずみゲージで加圧力を検出し、可動電極及び固定電極のいずれか一方に取り付けたひずみゲージで打角を測定するパターンを採用すればよいと考えられる。

【０２１２】

【表３】

20

形式	加圧力一定制御の有無		ひずみゲージによる検出形態					
			パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	パターン5	パターン6
C字ガン 片側駆動	あり	可動電極	＝ ※加圧力はモータトルクから算出	加圧力	打角 ※加圧力はモータトルクから算出	加圧力 打角	打角 ※加圧力はモータトルクから算出	加圧力 打角
		固定電極	加圧力 打角	加圧力 打角	加圧力	加圧力	加圧力 打角	加圧力 打角
	なし	加圧力一定制御ありの場合と同様のパターンを採用可能						
X字ガン 片側駆動	C字ガンと同様のパターンを採用可能							
X字ガン 両側駆動	＜2個のモータで上電極及び下電極を個別に駆動する場合＞ 上記パターン1～6に加えて、各可動電極を駆動するモータのトルクから加圧力を算出し、可動電極及び固定電極のいずれか一方に取り付けたひずみゲージで打角を測定するパターンを採用可能							
	＜1個のモータで上電極及び下電極を駆動する場合＞ ・上電極の加圧力及び下電極の加圧力を1個のモータのトルクから算出できる場合 ⇒2個のモータで上電極及び下電極を個別に駆動する場合と同様の配置パターンを採用可能 ・上電極の加圧力及び下電極の加圧力を1個のモータのトルクから算出できない場合 ⇒上電極及び下電極の両方に取り付けたひずみゲージで加圧力を検出し、可動電極及び固定電極のいずれか一方に取り付けたひずみゲージで打角を測定するパターンを採用							

30

40

【０２１３】

また、発明者らは、先ず、上述の通り４つのひずみゲージ１４を等間隔に配置した場合の具体的な打角算出方法を考案したが、図２２に示すように、９０°離れて隣り合う２つのひずみゲージのひずみ測定値からでも、打角を計算できることを見出した。図２２には、打角、加圧力、及び、打角と加圧力をそれぞれ検出するのに適したひずみゲージの数と

50

配置が示されている。図 2 2 において黒点はひずみゲージを表している。

【 0 2 1 4 】

図 2 3 は、一例として、上電極 4 0 のシャンク部に等間隔 (9 0 ° 間隔) で配置した 4 つのひずみゲージ 1 4 のひずみ測定値 ε から、偏差ひずみ ε' ($\varepsilon' = \varepsilon - \varepsilon_m$) を計算し、続いて偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ ($\Delta \varepsilon' = \varepsilon' - \varepsilon_{\varphi=0}'$) を計算した際のデータを示している。図 2 3 (A) ~ (C) は、上述の図 4 ~ 図 6 に対応し、図 2 3 (D) は、上述の図 7 に対応する。

図 2 3 の計算式に示すように、 $\varepsilon_m = \varepsilon_{\varphi=0}$ の関係を前提とすると、 $\Delta \varepsilon' = \Delta \varepsilon$ の関係が成り立つ。すなわち、ひずみ測定値の平均値 ε_m が基準偏差ひずみ $\varepsilon_{\varphi=0}$ に略等しいことを利用すると、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ ($\Delta \varepsilon' = \varepsilon' - \varepsilon_{\varphi=0}'$) は、ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ ($\Delta \varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_{\varphi=0}$) に置き換えることができる。9 0 ° 離れて隣り合う 2 つのひずみゲージのひずみ測定値のみしか得られない場合など、周方向に等間隔で配置された複数のひずみゲージ (等間隔配置ひずみゲージ) が無く、ひずみ測定値の平均値 ε_m が算出できない場合であっても、偏差ひずみ ε' を用いず、偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ の代わりにひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ を用いることにより、打角の大きさ φ と打角の方向 θ を推定することが可能である。

10

【 0 2 1 5 】

図中には示していないが、ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ の計算結果から、第一ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1$ 及び第二ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2$ を選び、式 (1 2) より、合成ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_N$ を計算することにより、打角の大きさ φ と打角の方向 θ を推定することが可能である。

20

$$\Delta \varepsilon_N = \sqrt{ \{ (\Delta \varepsilon_1)^2 + (\Delta \varepsilon_2)^2 \} } \cdots (1 2)$$

【 0 2 1 6 】

なお、第一ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1$ は、ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0$ 、 $\Delta \varepsilon_{90}$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}$ 、 $\Delta \varepsilon_{270}$ のうち、値がマイナス側に最も大きいひずみ変化量である。第二ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_2$ は、第一ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_1$ が検出された位置から上電極 4 0 の周方向に $\pm 90^\circ$ 離れた 2 つの位置でそれぞれ検出されたひずみ変化量のうち値がマイナス側に大きい方の第二ひずみ変化量である。ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon_0$ 、 $\Delta \varepsilon_{90}$ 、 $\Delta \varepsilon_{180}$ 、 $\Delta \varepsilon_{270}$ は、式 (1 3) ~ 式 (1 6) で算出される。

$$\Delta \varepsilon_0 = \varepsilon_0 - \varepsilon_{\varphi=0} \cdots (1 3)$$

$$\Delta \varepsilon_{90} = \varepsilon_{90} - \varepsilon_{\varphi=0} \cdots (1 4)$$

$$\Delta \varepsilon_{180} = \varepsilon_{180} - \varepsilon_{\varphi=0} \cdots (1 5)$$

$$\Delta \varepsilon_{270} = \varepsilon_{270} - \varepsilon_{\varphi=0} \cdots (1 6)$$

30

【 0 2 1 7 】

ここで、図 2 3 (C) の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ のグラフ (ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ のグラフと略等しい) に着目すると、取付位置 9 0 ° のひずみ測定値と、取付位置 9 0 ° から 1 8 0 ° 離れた取付位置 2 7 0 ° のひずみ測定値は、大きさがほぼ同じで符号が反対である。また、図 2 3 (D) に示す打角方向が 1 2 0 ° の場合の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ の値 (ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ の値と略等しい) から、取付位置 0 ° のひずみ測定値と取付位置 1 8 0 ° のひずみ測定値の関係、並びに、取付位置 9 0 ° のひずみ測定値と取付位置 2 7 0 ° のひずみ測定値の関係は、大きさが同じで、符号が反対になっている。したがって、取付位置が 9 0 ° 離れて隣り合う 2 点の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ から、周方向 4 箇所の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ の分布を推定することが可能であり、取付位置が 9 0 ° 離れて隣り合う 2 点のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ から、周方向 4 箇所の偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ の分布を推定することが可能である。すなわち、取付位置が 9 0 ° 離れて隣り合う 2 点のひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ から、打角の大きさ φ と方向 θ を推定することができる。

40

【 0 2 1 8 】

以上をまとめると、図 2 2 に示されるように、ひずみゲージの数は 4 つに限定されるものではなく、2 つ以上であればよい。ひずみゲージ数が 3 つの場合、1 2 0 ° の等間隔に配置してもよい。この場合、加圧力は 3 つのひずみ測定値の平均値 ε_m から算出し、打角は偏差ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon'$ 又は、ひずみ変化量 $\Delta \varepsilon$ から算出すればよい。また、3 つのひず

50

みゲージは、 90° 、 90° 、 180° の不等間隔に配置してもよい。この場合、加圧力は 180° 離れた2つ（向かい合う2つ）のひずみゲージから得られるひずみ測定値の平均値 ε_m から算出し、打角はひずみ変化量 $\Delta\varepsilon$ から算出すればよい。なお、この場合、偏差ひずみ変化量 $\Delta\varepsilon'$ は使用できない。ひずみゲージが4つ以上の場合、等間隔（つまり 360° /ひずみゲージの個数で得られる間隔）でひずみゲージを配置してもよい。この場合、加圧力は、ひずみ測定値の平均値 ε_m から算出し、打角は偏差ひずみ変化量 $\Delta\varepsilon'$ 又はひずみ変化量 $\Delta\varepsilon$ から算出すればよい。

【0219】

[抵抗スポット溶接継手の製造方法]

次に、本発明の第二実施形態に係る抵抗スポット溶接継手の製造方法を実際の溶接組立工程に適用する場合について説明する。

10

【0220】

本発明の第二実施形態に係る抵抗スポット溶接継手の製造方法では、一例として、図16に示される抵抗スポット溶接装置10を用いることとする。なお、上電極40に取り付けられた複数のひずみゲージ14Aと、下電極42に取り付けられた複数のひずみゲージ14Bとを区別しない場合には、複数のひずみゲージ14A及び複数のひずみゲージ14Bをそれぞれ複数のひずみゲージ14と称する。また、第二実施形態では、一例として、上電極40を可動電極とし、下電極42を固定電極として説明する。

【0221】

第二実施形態に係る抵抗スポット溶接継手の製造方法は、図24に示すステップS10～ステップS12を備える。ステップS10は、加圧力及び打角検出工程であり、ステップS11は、加圧力及び打角補正工程であり、ステップS12は、通電工程である。

20

【0222】

ステップS10のうちの加圧力検出工程では、上電極40に取り付けられた複数のひずみゲージ14Aによって得られたひずみ測定値の平均値 ε_m 、及び、下電極42に取り付けられた複数のひずみゲージ14Bによって得られたひずみ測定値の平均値 ε_m を算出し、予め求めておいた平均値 ε_m と加圧力の大きさの関係（図18参照）から、上電極40及び下電極42の各加圧力に換算する。溶接対象32とのクリアランスを含む溶接ガン12の位置ずれは、上電極40の加圧力に対する下電極42の加圧力の大小関係から推定する。すなわち、下電極42の加圧力の値が上電極40の加圧力の値と等しければ、溶接ガン12の位置ずれが無いと判断し、下電極42の加圧力の値が上電極40の加圧力の値よりも小さければ、クリアランスがあると判断し、下電極42の加圧力の値が上電極40の加圧力の値よりも大きければ、溶接ガン12が理想的な接触位置から上電極40側にずれている（すなわち下電極42によって溶接対象32を押し上げる方向にずれている）と判断する。

30

【0223】

また、ステップS10のうちの打角測定工程では、上電極40に取り付けられた複数のひずみゲージ14A、及び、下電極42に取り付けられた複数のひずみゲージ14Bの少なくとも一方を用いて偏差ひずみ変化量 $\Delta\varepsilon'$ を計算し、この値のシャンクの周囲の分布状況から打角を計算する。なお、図22に示されるように、偏差ひずみ変化量 $\Delta\varepsilon'$ の代わりに、ひずみ変化量 $\Delta\varepsilon$ を用いてもよい。打角の詳細な算出方法については、第一実施形態と同様である。

40

【0224】

続いて、ステップS11では、溶接ガン12の位置を高さ方向（すなわち溶接対象32の板厚方向）に変えて、上電極40の加圧力と下電極42の加圧力が均等になるようにする。具体的には、下電極42の加圧力の値が上電極40の加圧力の値よりも小さい場合、溶接ガン12による加圧位置を、初期の加圧位置から上電極40側に移動させる。反対に、下電極42の加圧力の値が上電極40の加圧力の値よりも大きい場合、溶接ガン12による加圧位置を、初期の加圧位置から下電極42側に移動させる。また、打角に関しては、溶接ガン12の溶接対象32に対する姿勢を変えることにより、打角の大きさ ϕ が規定

50

値未満になるよう補正する。

【 0 2 2 5 】

続いて、ステップ S 1 2 では、上電極 4 0 及び下電極 4 2 に通電させ、一定時間保持する。これにより、溶接対象 3 2 が抵抗スポット溶接され、これにより、溶接対象 3 2 から抵抗スポット溶接継手が得られる。

【 0 2 2 6 】

なお、ステップ S 1 1 の補正工程では、加圧力補正及び打角補正の順、又は、打角補正及び加圧力補正の順に行うことができるが、打角補正及び加圧力補正の順であることがより好ましい。以下に詳細を説明する。すなわち、図 2 5 は打角度補正を行う前後の溶接ガン 1 2 (C 字ガン) を模式的に示している。仮に、図中の制御点 P で示すロボットの制御点と下電極 4 2 の先端位置に若干の位置ずれがあった場合、回転中心の不一致により、打角を補正した後に、溶接対象 3 2 の板厚方向への位置ずれが同時に生じ、結果として上電極 4 0 及び下電極 4 2 の加圧力にアンバランスが生じることが予測される。したがって、最初に打角補正を行い、続いて加圧力補正を行うことが望ましい。なお、一般的にロボットは制御点 P を中心に姿勢制御が行われる。制御点 P の位置はユーザが任意に設定可能であり、溶接ガン 1 2 においては、通常、固定電極 (この場合、下電極 4 2) の先端部分に設定される。

10

【 0 2 2 7 】

[作用及び効果]

以上詳述したように、本発明の第二実施形態によれば、溶接ガン 1 2 の位置ずれの検出と打角の測定を同時に行うことができる。したがって、例えば、亜鉛めっき鋼板の抵抗スポット溶接において、本発明の第二実施形態を活用した溶接方法により、溶接ガン 1 2 の位置ずれと打角が組み合わさった条件下で生じる L M E 割れを低減することができる。すなわち、L M E 割れは、溶接対象 3 2 と下電極 4 2 間の隙間であるクリアランスや、溶接対象 3 2 の鋼板表面に対する上電極 4 0 及び下電極 4 2 の傾きである打角といった外乱がある場合に発生しやすい傾向があり、特に、クリアランスと打角が同時に作用する場合に起こりやすい。しかしながら、クリアランスを含む溶接ガン 1 2 の位置ずれに打角が組み合わさった場合でも、本発明の第二実施形態によれば、これら外乱を定量的に検出し、検出した外乱に基づいて溶接ガン 1 2 の位置及び姿勢を補正して、L M E 割れを低減することができる。

20

30

【 0 2 2 8 】

[特許文献に記載された技術との相違点]

次に、第二実施形態について、特許文献に記載された技術との相違点を説明する。特許文献 8 には、溶接ガンの上電極及び下電極にひずみゲージを貼り付けて、上電極及び下電極の各加圧力を検出し、各加圧力が均等になるように溶接ガンの位置を補正する溶接方法が記載されている。

【 0 2 2 9 】

特許文献 8 に記載の溶接方法では、ひずみゲージの個数、配置方法が規定されていない。また、第二実施形態は、加圧力を検出することに加えて打角を同時に測定する点異なる。

40

【 0 2 3 0 】

[実施例]

第二実施形態に基づいて行った実施例を説明する。鋼板には、板厚 1 . 6 mm、引張強さ 9 8 0 M P a の亜鉛めっき鋼板を使用し、これを 2 枚重ね合わせて溶接対象である板組を構成した。溶接ガンには C 字ガンを使用した。ひずみゲージは、上電極のシャンクと下電極のシャンクの周囲に各 4 つずつ、9 0 ° の等間隔に配置した。また、上電極及び下電極の加圧力は 4 0 0 0 N に設定した。

【 0 2 3 1 】

以下、表 4 を用いて説明する。本発明の実施例である本発明例では、初期の打角とクリアランスは、それぞれ 4 ° と 0 . 3 mm に設定した。加圧力及び打角検出工程では、上電

50

極の加圧力 4 0 0 0 N に対して、下電極で 3 5 0 0 N の加圧力が検出され、3 . 8 ° の打角が検出された。加圧力及び打角補正工程では、上電極と下電極の加圧力がともに 4 0 0 0 N を示すように溶接ガンの位置を鋼板の板厚方向に変更した。なお、このときの溶接ガンの移動量は、結果的に 0 . 2 8 m m であった。また、打角の検出結果に基づいて、打角が 0 に近づく方向に、溶接ガンの姿勢を 3 . 8 ° 変更した。通電条件では、前述の板組を表中に示した条件で通電した。溶接後の板組を研磨し、腐食させた後、光学顕微鏡を用いて溶接部の断面を観察した結果、本発明例の溶接部からは L M E 割れが観察されなかった。

一方、比較例では、本発明例と同様の外乱条件を設定し、加圧力及び打角検出工程並びに加圧力及び打角補正工程を実施しなかった。比較例では、通電条件を本発明例と同一とした。溶接部の断面を観察した結果、比較例の溶接部からは L M E 割れが観察された。

10

【 0 2 3 2 】

【表 4 】

		本発明例	比較例
クリアランス設定値		0.3mm	0.3mm
打角設定値		4°	4°
加圧力及び打角 検出工程	加圧力検出値	上電極：4000N 下電極：3500N	上電極：－ 下電極：－
	打角検出値	3.8°	－
加圧力及び打角 補正工程	溶接ガンの位置補正後の加圧力	上電極：4000N 下電極：4000N	上電極：－ 下電極：－
	溶接ガンの位置補正量	0.28mm	－
	打角補正量	3.8°	－
通電工程		通電時間：18cycles 溶接電流：7kA 保持時間：4cycles	通電時間：18cycles 溶接電流：7kA 保持時間：4cycles
LME 割れの有無（LME あり断面/観察断面数）		0/3	3/3

20

【 0 2 3 3 】

〔 変形例 〕

次に、第二実施形態の変形例について説明する。

30

【 0 2 3 4 】

第二実施形態の「新たな課題解決のポイント及びメカニズム」（図 2 2 参照）で説明した通り、第二実施形態では、上電極 4 0 及び下電極 4 2 に取り付けるひずみゲージ 1 4 の数は、2 以上でもよい。

【 0 2 3 5 】

また、第二実施形態の「新たな課題解決のポイント及びメカニズム」（表 3 参照）で説明した通り、溶接ガン 1 2 は、C 字ガン以外に、X 字ガンでもよい。さらに、X 字ガンは、片側駆動又は両側駆動でもよい。

【 0 2 3 6 】

また、ひずみゲージ 1 4 による検出形態は、表 3 に示される複数のパターンのいずれかでもよい。

40

【 0 2 3 7 】

以上、本発明の第一及び第二実施形態について説明したが、本発明は、上記に限定されるものでなく、上記以外にも、その主旨を逸脱しない範囲内において種々変形して実施可能であることは勿論である。

【符号の説明】

【 0 2 3 8 】

1 0 抵抗スポット溶接装置

1 2 溶接ガン

50

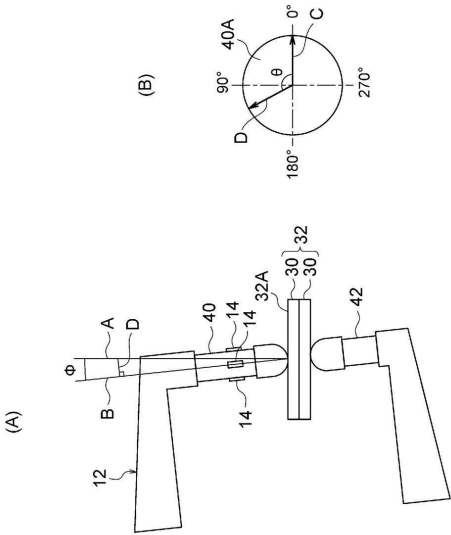
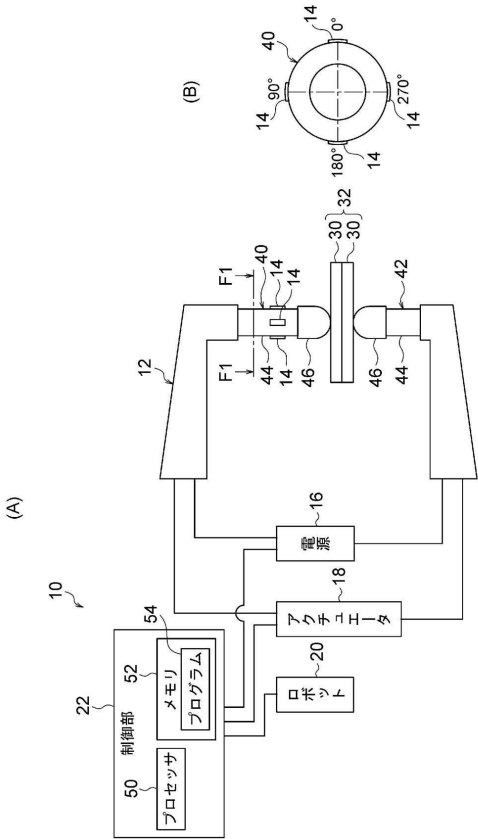
- 1 4 ひずみゲージ
- 1 4 A ひずみゲージ（第一ひずみゲージの一例）
- 1 4 B ひずみゲージ（第二ひずみゲージの一例）
- 2 2 制御部
- 3 0 鋼板
- 3 2 溶接対象
- 4 0 上電極（第一電極又は第二電極の一例）
- 4 2 下電極（第二電極又は第一電極の一例）
- 4 4 シャンク
- 4 6 電極チップ

10

【図面】

【図 1】

【図 2】



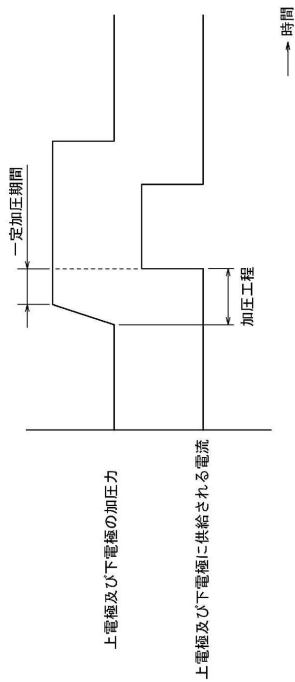
20

30

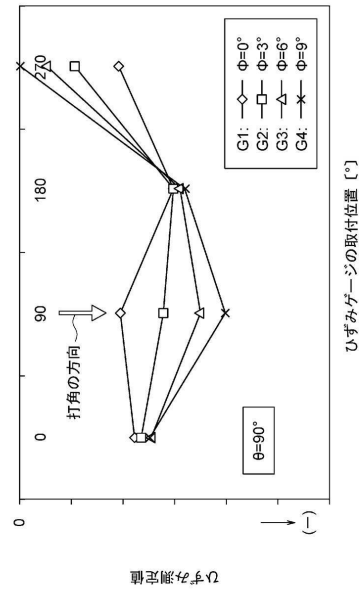
40

50

【図 3】



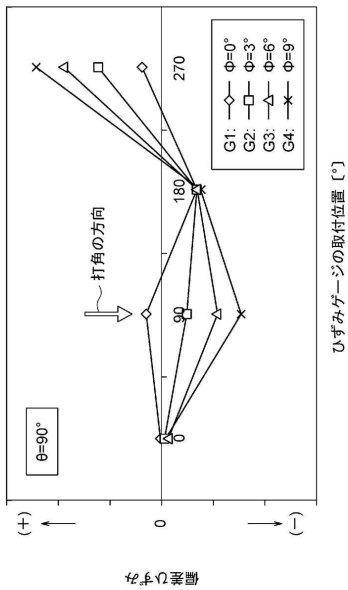
【図 4】



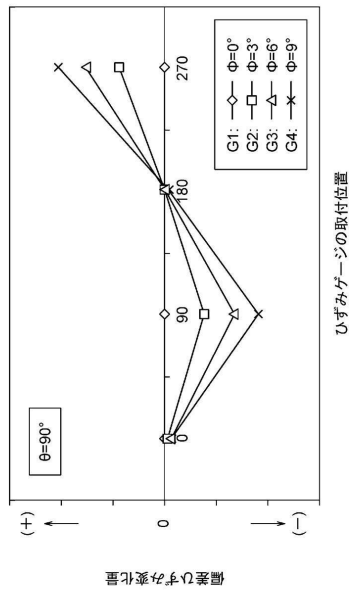
10

20

【図 5】



【図 6】

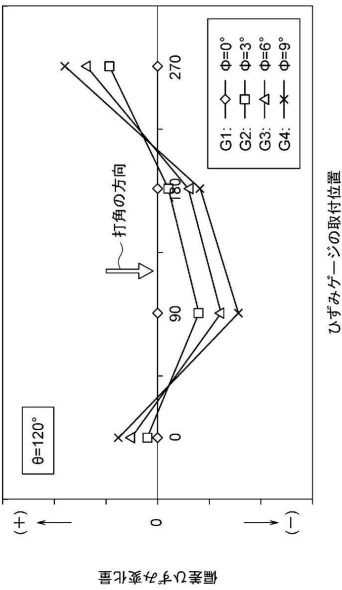


30

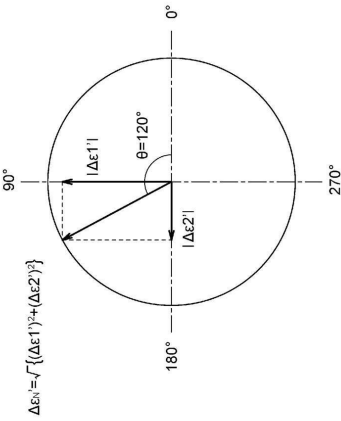
40

50

【図 7】



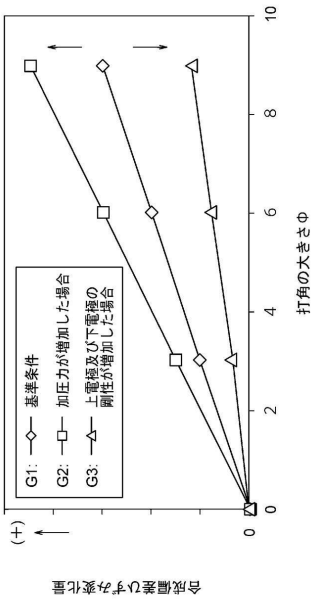
【図 8】



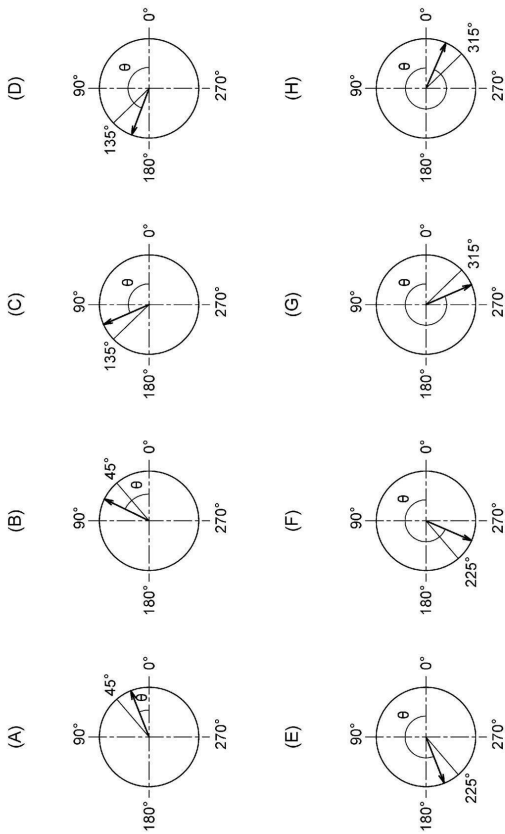
10

20

【図 9】



【図 10】

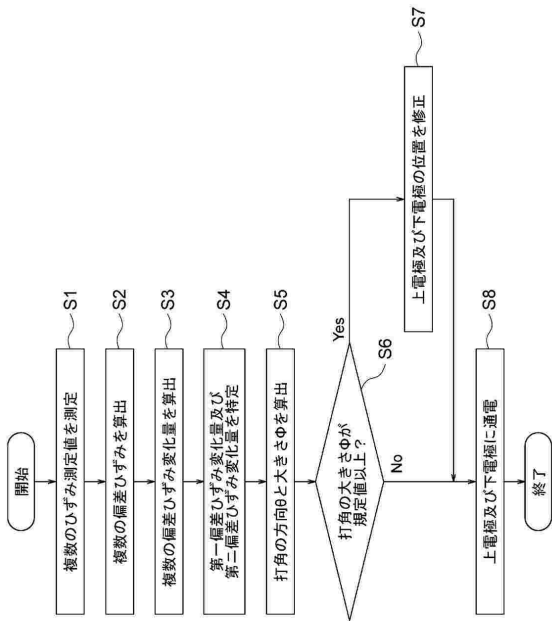


30

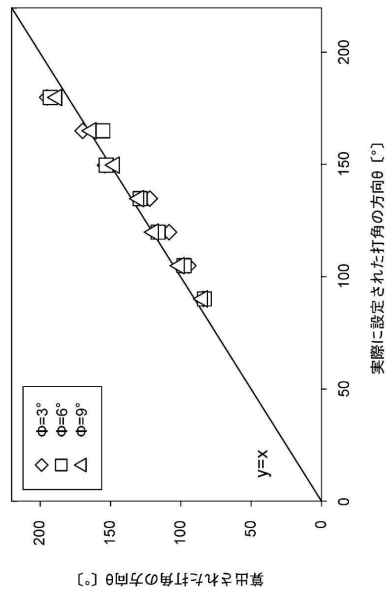
40

50

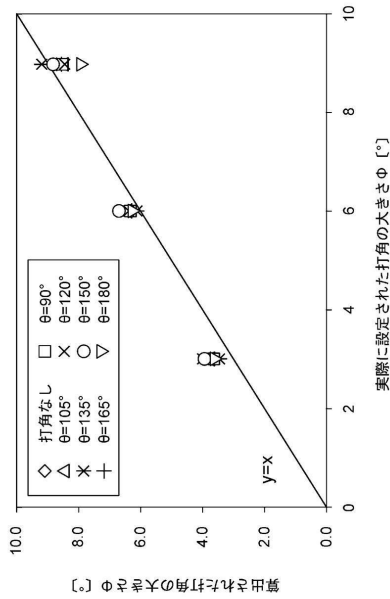
【図 1 1】



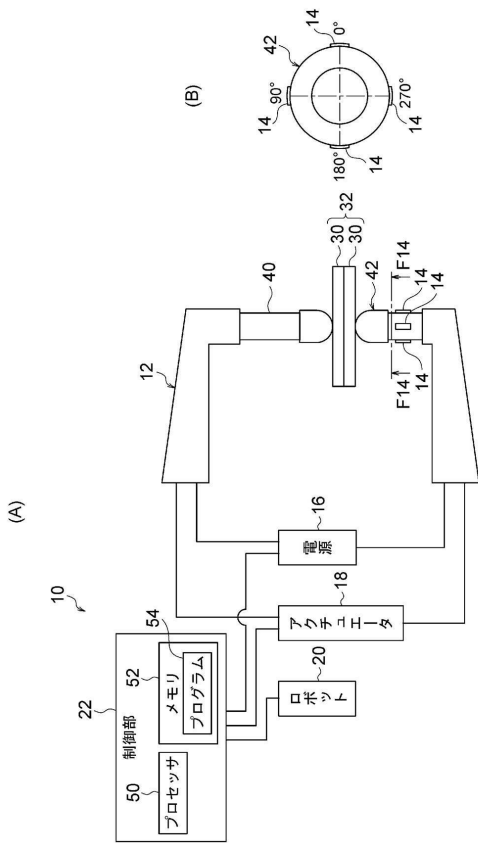
【図 1 2】



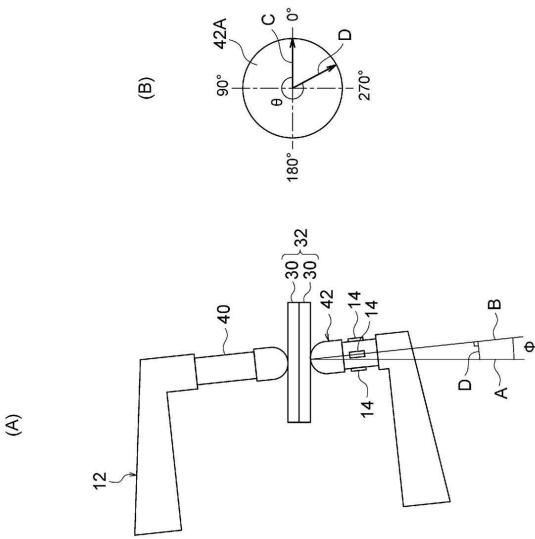
【図 1 3】



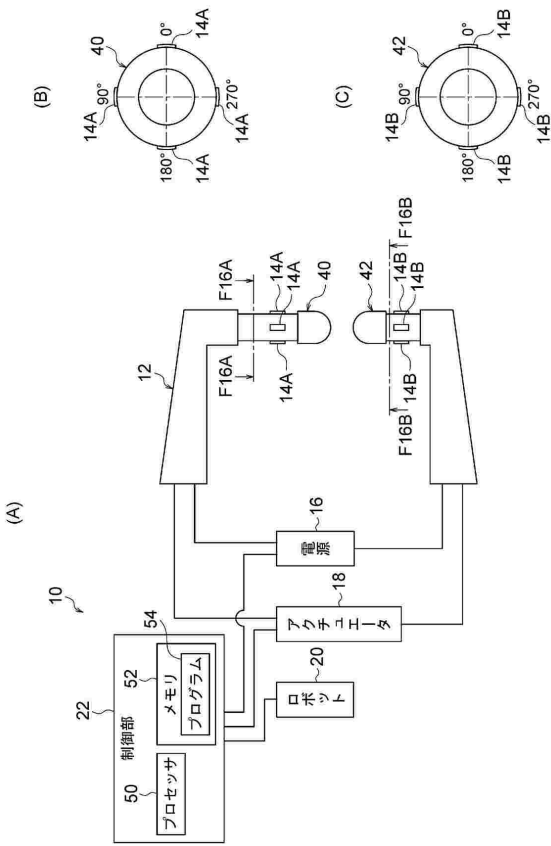
【図 1 4】



【図 15】



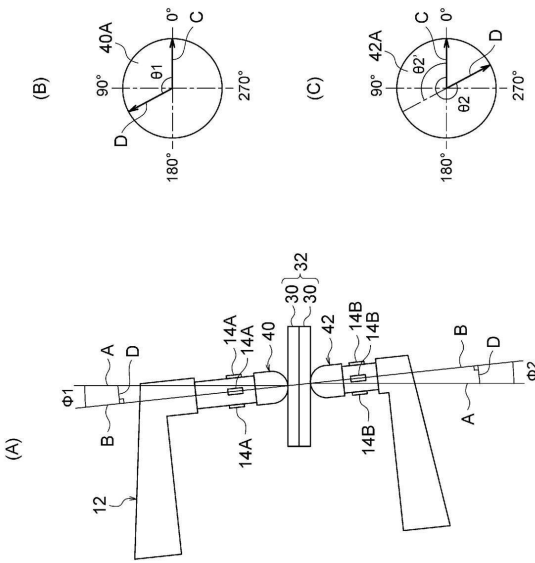
【図 16】



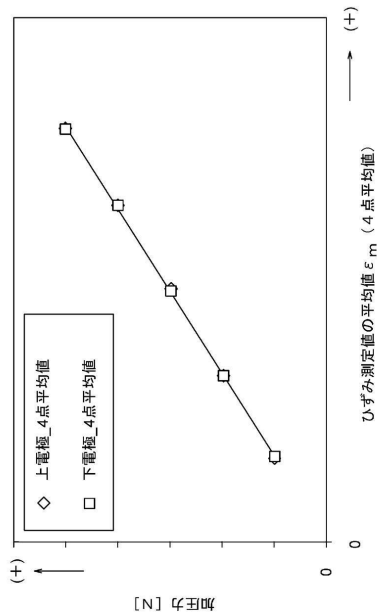
10

20

【図 17】



【図 18】

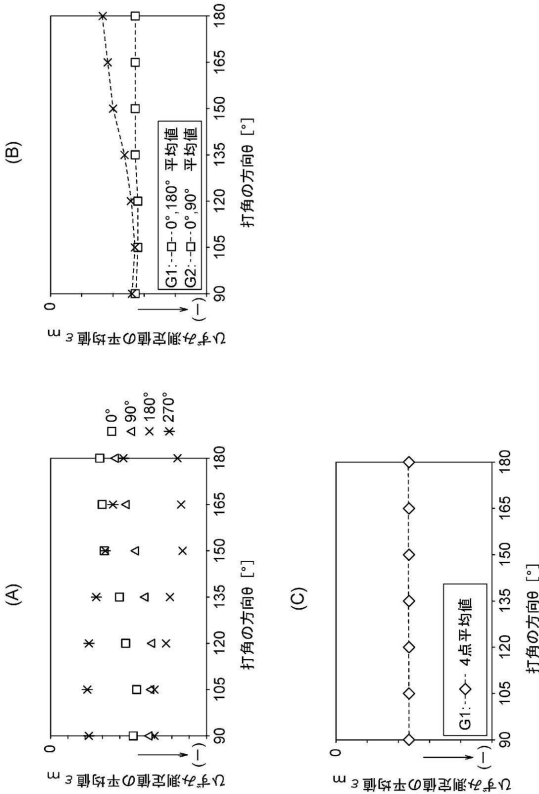


30

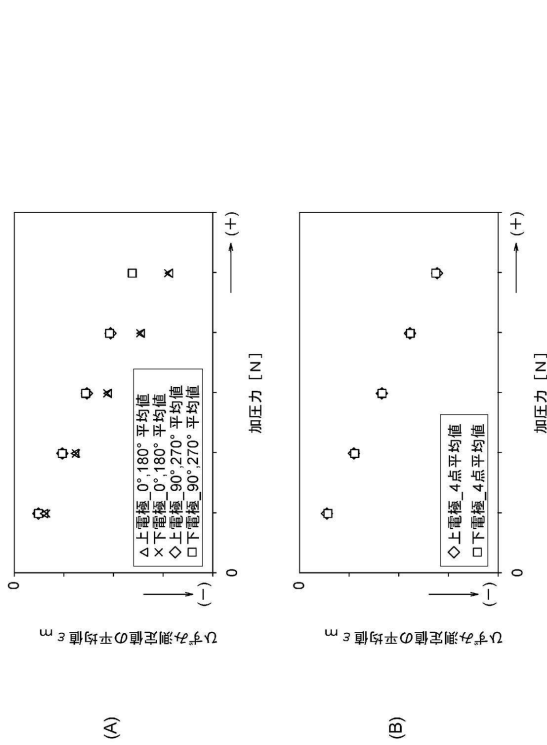
40

50

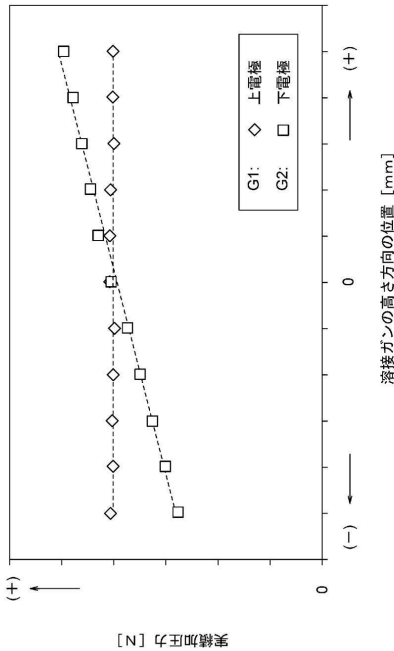
【図 19】



【図 20】



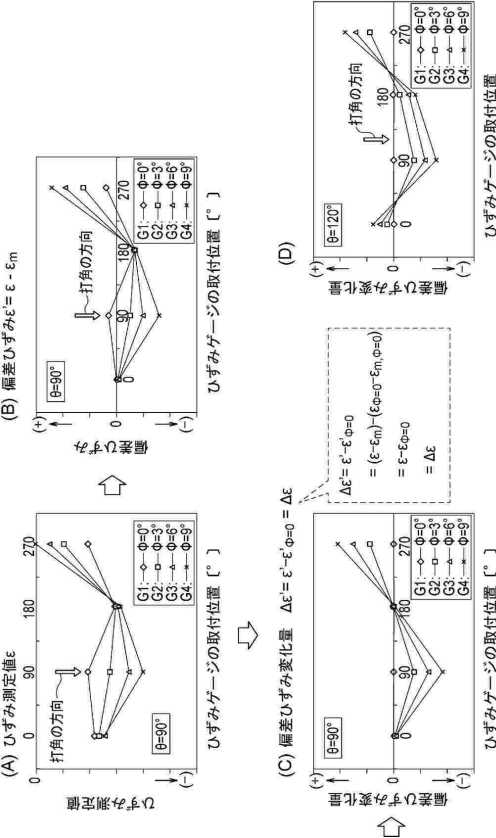
【図 21】



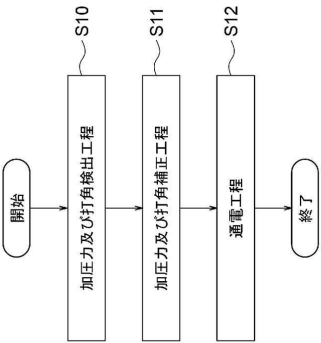
【図 22】

検出項目	配置	計算方法
打角	2つ	$\varepsilon \rightarrow \Delta\varepsilon \rightarrow \Delta\varepsilon_1, \Delta\varepsilon_2 \rightarrow \Delta\varepsilon_N$
	3つ	$\varepsilon \rightarrow \Delta\varepsilon \rightarrow \Delta\varepsilon_1, \Delta\varepsilon_2 \rightarrow \Delta\varepsilon_N$ $\varepsilon \rightarrow \varepsilon' \rightarrow \Delta\varepsilon' \rightarrow \Delta\varepsilon_1', \Delta\varepsilon_2' \rightarrow \Delta\varepsilon_N'$
	4つ	$\varepsilon \rightarrow \Delta\varepsilon \rightarrow \Delta\varepsilon_1, \Delta\varepsilon_2 \rightarrow \Delta\varepsilon_N$ $\varepsilon \rightarrow \varepsilon' \rightarrow \Delta\varepsilon' \rightarrow \Delta\varepsilon_1', \Delta\varepsilon_2' \rightarrow \Delta\varepsilon_N'$
	2つ	$\varepsilon \rightarrow \varepsilon_m = (\varepsilon_{90} + \varepsilon_{270}) / 2$
加圧力	3つ	$\varepsilon \rightarrow \varepsilon_m = (\varepsilon_{90} + \varepsilon_{210} + \varepsilon_{330}) / 3$
	4つ	$\varepsilon \rightarrow \varepsilon_m = (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90} + \varepsilon_{180} + \varepsilon_{270}) / 4$
	2つ	—
打角と加圧力	3つ	打角: $\varepsilon \rightarrow \Delta\varepsilon \rightarrow \Delta\varepsilon_1, \Delta\varepsilon_2 \rightarrow \Delta\varepsilon_N$ 加圧力: $\varepsilon \rightarrow \varepsilon_m = (\varepsilon_{90} + \varepsilon_{270}) / 2$ ※不均等配置の場合
	4つ	打角: $\varepsilon \rightarrow \Delta\varepsilon \rightarrow \Delta\varepsilon_1, \Delta\varepsilon_2 \rightarrow \Delta\varepsilon_N$ 加圧力: $\varepsilon \rightarrow \varepsilon_m = (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90} + \varepsilon_{180} + \varepsilon_{270}) / 4$

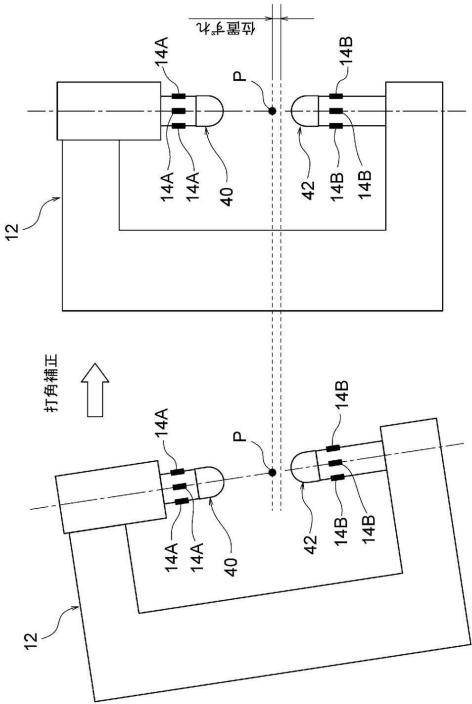
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 1 5 - 1 5 5 1 0 3 (J P , A)
 特開 2 0 0 2 - 0 3 5 9 5 2 (J P , A)
 特開 2 0 1 8 - 0 3 9 0 1 9 (J P , A)
 国際公開第 2 0 1 7 / 0 3 3 4 5 5 (W O , A 1)
 特開 2 0 1 8 - 1 7 6 1 8 4 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
 B 2 3 K 1 1 / 1 1
 B 2 3 K 1 1 / 2 4