

(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2015-94607

(P2015-94607A)

(43) 公開日 平成27年5月18日(2015.5.18)

(51) Int. Cl.

G 0 1 B 7/16 (2006.01)

F 1

G 0 1 B 7/16

R

テーマコード (参考)

2 F 0 6 3

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2013-232603 (P2013-232603)

(22) 出願日 平成25年11月8日 (2013.11.8)

(71) 出願人 000142067

株式会社共和電業

東京都調布市調布ヶ丘3丁目5番地1

(74) 代理人 100082636

弁理士 真田 修治

(72) 発明者 遠藤 茂樹

東京都調布市調布ヶ丘3丁目5番地1 株

式会社共和電業内

Fターム(参考) 2F063 AA25 CB01 DD04 DD05 DD06

EC05 EC06 EC22 EC25 EC26

LA27

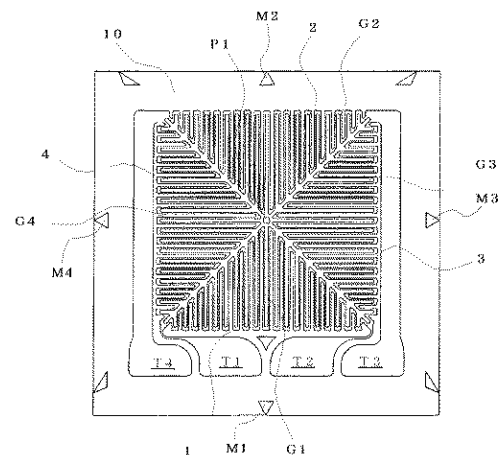
(54) 【発明の名称】 ひずみゲージおよびひずみ解析システム

(57) 【要約】

【課題】 主軸方向、横軸方向共に温度変化の影響を受けないひずみゲージを使用して、ひずみ量と共にひずみの主軸方向を解析できるひずみ解析システムを提供する。

【解決手段】 基板10上に形成され、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第1および第2の主軸ひずみゲージ(1および2)と、上記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージ(3および4)との計4つのひずみゲージを備える。また、各ひずみゲージの端点同士を接続する4つの接続端子(T1〜T4)を備える。これら4つのひずみゲージは、電気抵抗値および抵抗温度係数を等しくする。これにより、周囲温度が変化した時に、上記の4つのひずみゲージにおける抵抗値の変化分は全て等しくなり、互いに相殺される、即ち、上述の等価ブリッジ回路の出力には、見掛け上のひずみ出力が生じないことになる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージであって、正方形を対角線で区切って、4 つの二等辺三角形領域を仮想したとき、前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージは、前記対角線の交点を対称としてそれぞれ主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向配置された各二等辺三角形の斜辺および底辺近傍で順次折り返されて主軸方向に直線状の受感部を有する三角形の第 1 および第 2 の主軸グリッド部に形成されてなり、前記第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージは、前記交点を対称として、それぞれ前記主軸方向に直交する横軸方向に沿って対向配置され、前記横軸方向に対向配置された各二等辺三角形の斜辺および底辺近傍で順次折り返されて横軸方向に直線状の受感部を有する三角形の第 1 および第 2 の横軸グリッド部に形成されてなり、且つ前記第 1 の主軸グリッド部の一端と前記第 2 の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第 1 の接続端子と、前記第 1 の主軸グリッド部の他端と前記第 1 の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第 2 の接続端子と、前記第 1 の横軸グリッド部の他端と前記第 2 の主軸グリッド部の一端との接続部に接続された第 3 の接続端子と、前記第 2 の主軸グリッド部の他端と前記第 2 の横軸グリッド部の他端との接続点に接続された第 4 の接続端子と、を備え、前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージと前記第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージのそれぞれの電気抵抗値を均等にすると共に抵抗温度係数を均等にし、前記主軸方向とこれに直行する横軸方向のグリッドが被測定体とひずみゲージとの線膨張係数差から受感し発生する抵抗値変化と温度変化による抵抗温度係数から発生する二つの合成された抵抗値変化の熱ひずみ出力成分が均等になるように形成したことを特徴とするひずみゲージ。

【請求項 2】

等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージであって、円形を 90 度間隔の分割線で区切って、4 つの扇形領域を仮想したとき、前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージは、前記分割線の交点を対称としてそれぞれ主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向配置された扇形の斜辺部および円弧部近傍で順次折り返されて主軸方向に直線状の受感部を有する扇形状の第 1 および第 2 の主軸グリッド部に形成されてなり、前記第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージは、前記分割線の交点を対称として、それぞれ前記主軸方向に直交する横軸方向に沿って対向配置され、前記横軸方向に対向配置された扇形の斜辺部および円弧部近傍で順次折り返されて横軸方向に直線状の受感部を有する扇形状の第 1 および第 2 の横軸グリッド部に形成されてなり、且つ前記第 1 の主軸グリッド部の一端と前記第 2 の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第 1 の接続端子と、前記第 1 の主軸グリッド部の他端と前記第 1 の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第 2 の接続端子と、前記第 1 の横軸グリッド部の他端と、前記第 2 の主軸グリッド部の一端との接続部に接続された第 3 の接続端子と、前記第 2 の主軸グリッド部の他端と前記第 2 の横軸グリッド部の他端との接続点に接続された第 4 の接続端子と、を備え、前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージと前記第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージのそれぞれの電気抵抗値を均等にすると共に抵抗温度係数を均等にし、前記主軸方向とこれに直行する横軸方向のグリッドが被測定体とひずみゲージとの線膨張係数差から受感し発生する抵抗値変化と温度変化による抵抗温度係数から発生する二つの合成された抵抗値変化の熱ひずみ出力成分が均等になるように形成したことを特徴とするひずみゲージ。

【請求項 3】

等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の

横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージであって、正方形を対角線で区切って、4つの二等辺三角形領域を仮想したとき、前記第1および第2の主軸ひずみゲージは、前記対角線の交点を対称としてそれぞれ主軸方向に直交する横軸方向に沿って対向配置され、前記横軸方向に対向配置された二等辺三角形の2つの斜辺近傍で順次折り返されて主軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の第1および第2の主軸グリッド部に形成されてなり、前記第1および第2の横軸ひずみゲージは、前記交点を対称として、それぞれ前記主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向配置された二等辺三角形の2つの斜辺近傍で順次折り返されて横軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の第1および第2の横軸グリッド部に形成されてなり、且つ前記第1の主軸グリッド部の一端と前記第2の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第1の接続端子と、前記第1の主軸グリッド部の他端と前記第1の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第2の接続端子と、前記第1の横軸グリッド部の他端と前記第2の主軸グリッド部の一端との接続部に接続された第3の接続端子と、前記第2の主軸グリッド部の他端と前記第2の横軸グリッド部の他端との接続点に接続された第4の接続端子と、を備え、前記第1および第2の主軸ひずみゲージと前記第1および第2の横軸ひずみゲージのそれぞれの電気抵抗値を均等にすると共に抵抗温度係数を均等にし、前記主軸方向とこれに直行する横軸方向のグリッドが被測定体とひずみゲージとの線膨張係数差から受感し発生する抵抗値変化と温度変化による抵抗温度係数から発生する二つの合成された抵抗値変化の熱ひずみ出力成分が均等になるように形成したことを特徴とするひずみゲージ。

【請求項4】

等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第1および第2の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージであって、円形を90度間隔の分割線で区切って、4つの扇形領域を仮想したとき、前記第1および第2の主軸ひずみゲージは、前記分割線の交点を対称としてそれぞれ主軸方向に直交する横軸方向に沿って対向配置され、前記横軸方向に対向配置された扇形の各斜辺部近傍で順次折り返されて主軸方向に直線状の受感部を有する扇形状の第1および第2の主軸グリッド部に形成されてなり、前記第1および第2の横軸ひずみゲージは、前記交点を対称として、それぞれ前記主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向配置された扇形の2つの斜辺近傍で順次折り返されて副軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の第1および第2の横軸グリッド部に形成されてなり、且つ前記第1の主軸グリッド部の一端と前記第2の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第1の接続端子と、前記第1の主軸グリッド部の他端と前記第1の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第2の接続端子と、前記第1の横軸グリッド部の他端と、前記第2の主軸グリッド部の一端との接続部に接続された第3の接続端子と、前記第2の主軸グリッド部の他端と前記第2の横軸グリッド部の他端との接続点に接続された第4の接続端子と、を備え、前記第1および第2の主軸ひずみゲージと前記第1および第2の横軸ひずみゲージのそれぞれの電気抵抗値を均等にすると共に抵抗温度係数を均等にし、前記主軸方向とこれに直行する横軸方向のグリッドが被測定体とひずみゲージとの線膨張係数差から受感し発生する抵抗値変化と温度変化による抵抗温度係数から発生する二つの合成された抵抗値変化の熱ひずみ出力成分が均等になるように形成したことを特徴とするひずみゲージ。

【請求項5】

請求項1～請求項4のいずれか1項に記載のひずみゲージを、3個以上の奇数個である n 個を用いて、 $360^\circ / n$ の等角度間隔で同心円上に、且つ基準とするひずみゲージの主軸方向を基準軸として配置すると共に、他の残り $(n-1)$ 個のひずみゲージの主軸方向を、前記基準軸を基準に $180^\circ / n$ ずつ、ずらせて設置してなり、前記各ひずみゲージの各入力端子にブリッジ電圧を供給したとき、その各出力端子から出力されるひずみ出力が最大であるひずみゲージの出力および当該最大ひずみを出力するひずみゲージの設置角度位置に基づき、当該被測定対象物に出ずる最大ひずみ出力および主ひずみ方向を所定

の精度をもって検出し得るように構成したことを特徴とするひずみ解析システム。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のひずみ解析システムにおいて、3 個のひずみゲージ A、B、C を 120 度間隔で同心円上に且つ、第 1 のひずみゲージ A の主軸方向を基準軸として配置すると共に、第 2 のひずみゲージ B および第 3 のひずみゲージ C を +60 度および -60 度ずらせて配置してなり、前記ひずみゲージ A、B、C の各入力端子にブリッジ電圧を供給することにより、前記第 1 のひずみゲージ A のひずみ出力が ε_a 、前記第 2 のひずみゲージ B のひずみ出力が ε_b 、前記第 3 のひずみゲージ C のひずみ出力が ε_c であるとしたとき、最大の極値を示すひずみゲージから出力されるひずみ出力を、下記 (1) 式より求め、

【数 1】

$$\varepsilon = 0.816 \times \sqrt{\{(\varepsilon_a \cdot \varepsilon_a) + (\varepsilon_b \cdot \varepsilon_b) + (\varepsilon_c \cdot \varepsilon_c)\}} \cdots \cdots (1)$$

10

さらに、被測定対象物における主ひずみ方向を、前記最大極値を示したひずみゲージの配置方向から求めることを特徴とするひずみ解析システム。

【請求項 7】

請求項 5 に記載のひずみ解析システムにおいて、5 個のひずみゲージ A、B、C、D、E を同心円上に 72 度間隔であって且つ、第 1 のひずみゲージ A の主軸方向を基準軸として配置すると共に、第 2 のひずみゲージ B、第 3 のひずみゲージ C、第 4 のひずみゲージ D、第 5 のひずみゲージ E を順次 36 度ずらせて配置してなり、前記ひずみゲージ A、B、C、D、E の各入力端子にブリッジ電圧を供給することにより、前記第 1 のひずみゲージ A のひずみ出力が ε_a 、前記第 2 のひずみゲージ B のひずみ出力が ε_b 、前記第 3 のひずみゲージ C のひずみ出力が ε_c 、前記第 4 のひずみゲージ D のひずみ出力が ε_d 、前記第 5 のひずみゲージ E のひずみ出力が ε_e であるとしたとき、最大の極値を示すひずみゲージから出力される出力を、下記 (2) 式より求め、

【数 2】

$$\varepsilon = 0.632 \times \sqrt{\{(\varepsilon_a \cdot \varepsilon_a) + (\varepsilon_b \cdot \varepsilon_b) + (\varepsilon_c \cdot \varepsilon_c) + (\varepsilon_d \cdot \varepsilon_d) + (\varepsilon_e \cdot \varepsilon_e)\}} \cdots \cdots (2)$$

20

被測定対象物における主ひずみ方向を、前記最大極値を示したひずみゲージの配置方向から求めることを特徴とするひずみ解析システム。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、ひずみゲージおよびそのひずみゲージを用いたひずみ解析システムに関し、特に、温度変化を伴う環境での安定したひずみ計測を行い得るひずみゲージおよびそのひずみゲージを用いたひずみ解析システムに係るものである。

【背景技術】

【0002】

一般に、Ni-Cr 系の合金や Cu-Ni 合金等より成るひずみ感応抵抗体を、基板の表面に添着形成したひずみゲージを用いてひずみ測定を行う場合には、この基板を被測定対象物表面に添着して、1 つまたは 2 つもしくは 4 つのひずみ感応抵抗体を用いてホイートストンブリッジ回路を構成し、そのホイートストンブリッジ回路で抵抗値変化に対応するひずみ出力を検出するようにしている。

40

また、このようなひずみ感応抵抗体は、温度によって抵抗値が変化する。換言すれば抵抗温度係数を有しているために、所定の温度補償を施す必要がある。この温度補償の方法としては、従来から次のような各種の補償方法が採られている。

第 1 の方法は、最も多く用いられている「アクティブ・ダミー法」であり、回路構成としては、ブリッジの相隣る辺に、それぞれアクティブゲージと、ダミーゲージを挿入して構成されるものである。

第 2 の方法は、「ひずみ・温度 2 素子による回路補償法」であり、1 枚のゲージに二つの素子を有し、一つはひずみと温度により、他方は主に温度により抵抗が変化し、それぞ

50

れブリッジの隣接 2 辺に接続され、外部抵抗を調整し温度影響を相殺するようにしたものである。

【0003】

第 3 の方法は、高温のひずみ測定に多く用いられる熱電対法であり、ブリッジに直流電源を用い、熱電対の出力でひずみゲージの零点移動による出力電圧を相殺させて温度補償を行うものである。

第 4 の方法は、抵抗温度係数組合せ温度補償ゲージを用いる方法であり、抵抗温度係数の異なった二つの抵抗素子を組合せて、一つのゲージを形成したものであり、被測定材料に合せてそれぞれの抵抗と温度係数とが選択される。その構成としては、被測定材料に添着されたとき、所定の決められた温度範囲で正の温度係数を有する一つの素子と、負の温度係数を有する他の一つの素子とを、直列に接続してなるものである。

10

ところが、従来のひずみおよびひずみ解析システムでは、単軸ひずみゲージを推定されるひずみ方向への数ヶ所に計装して、測定を実行している。単軸ゲージでは、温度による見掛けひずみやドリフトによる経時変化が含まれるため、温度変化を伴う熱応力解析等への適用には十分な精度が得られない。また、4 ゲージ式ひずみゲージに比べて、主軸方向での感度が低い等の問題点を有している。

【0004】

また、アクティブ・ダミー法においては、ひずみ感応素子の位置と測温素子（ダミーゲージや熱電対）の位置とが離れた部位にあることや、抵抗素材の不均一性等の問題点を有している。このために、“温度によるひずみ感応素子の抵抗値変化の相殺”を完全に行うことができなかった。また、アクティブゲージとダミーゲージとを個々に被測定体へ添着させ、夫々を結線している。よって、測定準備に多くの作業が必要となる。

20

また、前記いずれの補償方法においても、ひずみ感応素子の電気抵抗温度係数と、被測定対象物となる構成材料の物理定数等の諸条件の係数とが、合致しなければならない。これを合致させるためには、鉄、ステンレス、銅、アルミニウム材、プラスチック材、コンクリート材、等々の、被測定対象物の線膨張係数に合致するように、ひずみゲージのひずみ感応素子の材質そのものを、選択する必要がある。また、ひずみ感応素子に特殊な熱処理を施すようにして、ある特定被測定対象物の材質専用のひずみゲージとしなければならず、ひずみゲージの製作技術上に困難なことがあった。さらに、被測定対象物の線膨張係数には、方向性があるばかりか製作履歴により違いがあり、温度による影響を完全に無くして測定誤差を零にする、ことができなかった。

30

【0005】

このような問題点に対処すべく、本発明者は、先に、特開平 07-270109 号（特許文献 1）を提案した。

この特許文献 1 に記載のひずみゲージは、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージと該二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の等価回路バランス調整用のひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージであって、前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージと前記第 1 および第 2 の等価回路バランス調整用のひずみゲージのそれぞれの電気抵抗値を均等にすると共に抵抗温度係数を均等にし、前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージのそれぞれの受感軸方向を一致させ、前記第 1 および第 2 の等価回路バランス調整用のひずみゲージの形状を、前記受感軸方向とこれに直交する方向の熱ひずみ出力成分が均等になるように、前記第 1 および第 2 の等価回路バランス調整用のひずみゲージの形状を、回転対称軸を中心とする回転対称の矩形のうず巻き状に形成すると共に、前記ブリッジ回路の二辺にそれぞれ接続される該第 1 および第 2 の等価回路バランス調整用のひずみゲージの両端末点と回転対称中心点との間のそれぞれの抵抗値を等しく設定したことを特徴としている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

50

【特許文献1】特開平07-270109号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献1に記載のひずみゲージは、第1および第2の主軸ひずみゲージが主軸方向のひずみを検出するのみで、第1および第2の等価回路バランス調整用のひずみゲージは、ひずみ検出には、殆ど機能せず、その分ひずみ感度を低下させるものとなっており、また、主軸方向のひずみゲージの形態と等価回路バランス調整用のひずみゲージとは、その形状が大きく異なっていることから、経時変化にドリフトの発生の虞れがある。

10

本発明は、上述の事情に鑑みてなされたもので、その第1の目的は、温度環境変化によるひずみ測定誤差を確実に相殺されることができ、しかも、被測定対象物の材質を考慮せずに用いることができ、第2の目的は、ひずみ感度を増大させることができるひずみゲージを提供することにある。

また、本発明の第3の目的は、被測定対象物における未知の主ひずみ方向を、所定の精度で求めることができると共に、当該主ひずみ方向最大ひずみ値を簡易に求め得るひずみ解析方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

請求項1に記載した発明に係るひずみゲージは、上述した目的を達成するために、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第1および第2の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージであって、正方形を対角線で区切って、4つの二等辺三角形領域を仮想したとき、前記第1および第2の主軸ひずみゲージは、前記対角線の交点を対称としてそれぞれ主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向配置された各二等辺三角形の斜辺および底辺近傍で順次折り返されて主軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の第1および第2の主軸グリッド部に形成されてなり、前記第1および第2の横軸ひずみゲージは、前記交点を対称として、それぞれ前記主軸方向に直交する横軸方向に沿って対向配置され、前記横軸方向に対向配置された各二等辺三角形の斜辺および底辺近傍で順次折り返されて横軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の第1および第2の横軸グリッド部に形成されてなり、且つ前記第1の主軸グリッド部の一端と前記第2の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第1の接続端子と、前記第1の主軸グリッド部の他端と前記第1の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第2の接続端子と、前記第1の横軸グリッド部の他端と前記第2の主軸グリッド部の一端との接続部に接続された第3の接続端子と、前記第2の主軸グリッド部の他端と前記第2の横軸グリッド部の他端との接続点に接続された第4の接続端子と、を備え、前記第1および第2の主軸ひずみゲージと前記第1および第2の横軸ひずみゲージのそれぞれの電気抵抗値を均等にすると共に抵抗温度係数を均等にし、前記主軸方向とこれに直行する横軸方向のグリッドが被測定体とひずみゲージとの線膨張係数差から受感し発生する抵抗値変化と温度変化による抵抗温度係数から発生する二つの合成された抵抗値変化の熱ひずみ出力成分が均等になるように形成したことを特徴としている。

20

30

40

【0009】

請求項2に記載した発明に係るブリッジゲージは、上述した目的を達成するために、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第1および第2の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージであって、円形を90度間隔の分割線で区切って、4つの扇形領域を仮想したとき、前記第1および第2の主軸ひずみゲージは、前記分割線の交点を対称としてそれぞれ主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向配置された扇形の斜辺部および円弧部近傍で順

50

次折り返されて主軸方向に直線状の受感部を有する扇形状の第1および第2の主軸グリッド部に形成されてなり、前記第1および第2の横軸ひずみゲージは、前記分割線の交点を対称として、それぞれ前記主軸方向に直交する横軸方向に沿って対向配置され、前記横軸方向に対向配置された扇形の斜辺部および円弧部近傍で順次折り返されて横軸方向に直線状の受感部を有する扇形状の第1および第2の横軸グリッド部に形成されてなり、且つ前記第1の主軸グリッド部の一端と前記第2の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第1の接続端子と、前記第1の主軸グリッド部の他端と前記第1の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第2の接続端子と、前記第1の横軸グリッド部の他端と、前記第2の主軸グリッド部の一端との接続部に接続された第3の接続端子と、前記第2の主軸グリッド部の他端と前記第2の横軸グリッド部の他端との接続点に接続された第4の接続端子と、を備え、前記第1および第2の主軸ひずみゲージと前記第1および第2の横軸ひずみゲージのそれぞれの電気抵抗値を均等にすると共に抵抗温度係数を均等にし、前記主軸方向とこれに直行する横軸方向のグリッドが被測定体とひずみゲージとの線膨張係数差から受感し発生する抵抗値変化と温度変化による抵抗温度係数から発生する二つの合成された抵抗値変化の熱ひずみ出力成分が均等になるように形成したことを特徴としている。

10

【0010】

請求項3に記載した発明に係るひずみゲージは、上述した目的を達成するために、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第1および第2の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージであって、正方形を対角線で区切って、4つの二等辺三角形領域を仮想したとき、前記第1および第2の主軸ひずみゲージは、前記対角線の交点を対称としてそれぞれ主軸方向に直交する横軸方向に沿って対向配置され、前記横軸方向に対向配置された二等辺三角形の2つの斜辺近傍で順次折り返されて主軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の第1および第2の主軸グリッド部に形成されてなり、前記第1および第2の横軸ひずみゲージは、前記交点を対称として、それぞれ前記主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向配置された二等辺三角形の2つの斜辺近傍で順次折り返されて横軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の第1および第2の横軸グリッド部に形成されてなり、且つ前記第1の主軸グリッド部の一端と前記第2の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第1の接続端子と、前記第1の主軸グリッド部の他端と前記第1の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第2の接続端子と、前記第1の横軸グリッド部の他端と前記第2の主軸グリッド部の一端との接続部に接続された第3の接続端子と、前記第2の主軸グリッド部の他端と前記第2の横軸グリッド部の他端との接続点に接続された第4の接続端子と、を備え、前記第1および第2の主軸ひずみゲージと前記第1および第2の横軸ひずみゲージのそれぞれの電気抵抗値を均等にすると共に抵抗温度係数を均等にし、前記主軸方向とこれに直行する横軸方向のグリッドが被測定体とひずみゲージとの線膨張係数差から受感し発生する抵抗値変化と温度変化による抵抗温度係数から発生する二つの合成された抵抗値変化の熱ひずみ出力成分が均等になるように形成したことを特徴としている。

20

30

【0011】

請求項4に記載した発明に係るひずみゲージは、上述した目的を達成するために、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第1および第2の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージであって、円形を90度間隔の分割線で区切って、4つの扇形領域を仮想したとき、前記第1および第2の主軸ひずみゲージは、前記分割線の交点を対称としてそれぞれ主軸方向に直交する横軸方向に沿って対向配置され、前記横軸方向に対向配置された扇形の各斜辺部近傍で順次折り返されて主軸方向に直線状の受感部を有する扇形状の第1および第2の主軸グリッド部に形成されてなり、前記第1および第2の横軸ひずみゲージは、前記交点を対称として、それぞれ前記主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向配置された扇形の2つの斜辺近傍で順次折り返されて副軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の

40

50

第1および第2の横軸グリッド部に形成されてなり、且つ前記第1の主軸グリッド部の一端と前記第2の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第1の接続端子と、前記第1の主軸グリッド部の他端と前記第1の横軸グリッド部の一端との接続部に接続された第2の接続端子と、前記第1の横軸グリッド部の他端と、前記第2の主軸グリッド部の一端との接続部に接続された第3の接続端子と、前記第2の主軸グリッド部の他端と前記第2の横軸グリッド部の他端との接続点に接続された第4の接続端子と、を備え、前記第1および第2の主軸ひずみゲージと前記第1および第2の横軸ひずみゲージのそれぞれの電気抵抗値を均等にすると共に抵抗温度係数を均等にし、前記主軸方向とこれに直行する横軸方向のグリッドが被測定体とひずみゲージとの線膨張係数差から受感し発生する抵抗値変化と温度変化による抵抗温度係数から発生する二つの合成された抵抗値変化の熱ひずみ出力成分が均等になるように形成したことを特徴としている。

10

【0012】

請求項5に記載した発明に係るひずみゲージは、上述した目的を達成するために、請求項1～請求項4のいずれか1項に記載のひずみゲージを、3個以上の奇数個であるn個を用いて、 $360^\circ / n$ の等角度間隔で同心円上に、且つ基準とするひずみゲージの主軸方向を基準軸として配置すると共に、他の残り $(n-1)$ 個のひずみゲージの主軸方向を、前記基準軸を基準に $180^\circ / n$ ずつ、ずらせて設置してなり、前記各ひずみゲージの各入力端子にブリッジ電圧を供給したとき、その各出力端子から出力されるひずみ出力が最大であるひずみゲージの出力および当該最大ひずみを出力するひずみゲージの設置角度位置に基づき、当該被測定対象物に出ずる最大ひずみ出力および主ひずみ方向を所定の精度をもって検出し得るように構成したことを特徴としている。

20

請求項6に記載した発明に係るひずみゲージは、上述した目的を達成するために、3個のひずみゲージA、B、Cを120度間隔で同心円上に且つ、第1のひずみゲージAの主軸方向を基準軸として配置すると共に、第2のひずみゲージBおよび第3のひずみゲージCを $+60^\circ$ および -60° ずらせて配置してなり、前記ひずみゲージA、B、Cの各入力端子にブリッジ電圧を供給することにより、前記第1のひずみゲージAのひずみ出力が ε_a 、前記第2のひずみゲージBのひずみ出力が ε_b 、前記第3のひずみゲージCのひずみ出力が ε_c であるとしたとき、最大の極値を示すひずみゲージから出力されるひずみ出力を、下記(1)式より求め、

【0013】

【数1】

$$\varepsilon = 0.816 \times \sqrt{\{(\varepsilon_a \cdot \varepsilon_a) + (\varepsilon_b \cdot \varepsilon_b) + (\varepsilon_c \cdot \varepsilon_c)\}} \cdots \cdots (1)$$

30

さらに、被測定対象物における主ひずみ方向を、前記最大極値を示したひずみゲージの配置方向から求めることを特徴としている。

請求項7に記載した発明に係るひずみゲージは、上述した目的を達成するために、5個のひずみゲージA、B、C、D、Eを同心円上に72度間隔であって且つ、第1のひずみゲージAの主軸方向を基準軸として配置すると共に、第2のひずみゲージB、第3のひずみゲージC、第4のひずみゲージD、第5のひずみゲージEを順次36度ずらせて配置してなり、前記ひずみゲージA、B、C、D、Eの各入力端子にブリッジ電圧を供給することにより、前記第1のひずみゲージAのひずみ出力が ε_a 、前記第2のひずみゲージBのひずみ出力が ε_b 、前記第3のひずみゲージCのひずみ出力が ε_c 、前記第4のひずみゲージDのひずみ出力が ε_d 、前記第5のひずみゲージEのひずみ出力が ε_e であるとしたとき、最大の極値を示すひずみゲージから出力される出力を、下記(2)式より求め、

40

【0014】

【数2】

$$\varepsilon = 0.632 \times \sqrt{\{(\varepsilon_a \cdot \varepsilon_a) + (\varepsilon_b \cdot \varepsilon_b) + (\varepsilon_c \cdot \varepsilon_c) + (\varepsilon_d \cdot \varepsilon_d) + (\varepsilon_e \cdot \varepsilon_e)\}} \cdots \cdots (2)$$

被測定対象物における主ひずみ方向を、前記最大極値を示したひずみゲージの配置方向から求めることを特徴としている。

50

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第1および第2の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージであって、正方形または円形を対角線で区切って、4つの二等辺三角形領域または扇形領域を仮想したとき、前記第1および第2の主軸ひずみゲージは、前記対角線の交点を対称として対向配置され、主軸方向または横軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状または扇形状の第1および第2の主軸グリッド部に形成されてなり、前記第1および第2の横軸ひずみゲージは、前記交点を対称として、対向配置され、横軸方向または主軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状または扇形状の第1および第2の横軸グリッド部に形成されてなり、前記第1および第2の主軸ひずみゲージと前記第1および第2の横軸ひずみゲージのそれぞれの電気抵抗値を均等にすると共に抵抗温度係数を均等にし、前記主軸方向とこれに直行する横軸方向のグリッドが被測定体とひずみゲージとの線膨張係数差から受感し発生する抵抗値変化と温度変化による抵抗温度係数から発生する二つの合成された抵抗値変化の熱ひずみ出力成分が均等になるように形成したことにより、

10

第1に、第1および第2の主軸グリッド部が縦方向のひずみを感知し、他の第1および第2の横軸グリッド部は、横方向のひずみにおいてもポアソン比に応じて、縦横比を確実にひずみを感知するために感度が高く、

第2に、第1、第2の主軸グリッド部と、第1、第2の横軸グリッド部の4つのグリッド部の形状が対称であり、電気抵抗が均等で且つ共に抵抗温度係数を均等になるよう形成したことにより、回路内が等価回路となり、抵抗温度係数変化による零点変動が発生せず、被測定対象物と、ひずみゲージの線膨張率差から発生する熱出力に対しても影響がなく、安定した且つ正確なひずみ計測を行うことができ、

20

第3に、一枚の基板上に第1、第2の主軸グリッド部および第1、第2の横軸グリッド部を一体的にしかも同時に形成してなるものであるから、比抵抗や抵抗温度係数と接続部で発生する熱起電力等が均一化されるという効果に加えて、小形化が可能で、4つのゲージ素子が極く狭い領域に配設でき、同一の温度条件に晒され、温度補償が極めて正確に行えると共に、従来のひずみゲージに比べて感度が高く（約2.6倍）、ひずみ測定の準備の際の、4枚のひずみゲージを被測定対象物に添着する手間とブリッジ結線時のゲージリードの半田付けの手間が、従来のひずみゲージの添着の場合に比べて、大幅に軽減化され、さらには、各ゲージ素子と被測定体との間の接着層も従来のように4枚別々に接着する場合に比べて、一度に添着されることから均質化される、という効果も得られる。

30

【0016】

第4に、被測定対象物の材質によりゲージの抵抗素材の材質を整合させたり、特殊な熱処理や圧延を施す必要はないから、汎用性が極めて広いひずみゲージを安価に提供することができる。

また、本発明に係るひずみ計測システムによれば、3個以上の奇数個である n 個を用いて、 $360^\circ/n$ の等角度間隔で同心円上に、且つ基準とするひずみゲージの主軸方向を基準軸として配置すると共に、他の残り $(n-1)$ 個のひずみゲージの主軸方向を、前記基準軸を基準に $180^\circ/n$ ずつ、ずらせて設置してなり、前記各ひずみゲージの各入力端子にブリッジ電圧を供給したとき、その各出力端子から出力されるひずみ出力が最大であるひずみゲージの出力および当該最大ひずみを出力するひずみゲージの設置角度位置に基づき、当該被測定対象物に出ずる最大ひずみ出力および主ひずみ方向を所定の精度をもって検出し得るように構成したことにより、被測定対象物に基準軸を定めて上記の特徴を有するひずみゲージを任意に添着するだけでなく、当該主ひずみ方向と、その最大ひずみ量を計測することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係るひずみゲージのパターン形状を示す平面図であ

50

る。

【図 2】本発明の第 2 の実施の形態に係るひずみゲージのパターン形状を示す平面図である。

【図 3】本発明の第 3 の実施の形態に係るひずみゲージのパターン形状を示す平面図である。

【図 4】本発明の第 4 の実施の形態に係るひずみゲージのパターン形状を示す平面図である。

【図 5】図 1 に示すひずみゲージで形成されるホイートストンブリッジ回路を示す等価回路図である。

【図 6】本発明の第 6 の実施の形態に係る 3 個のひずみゲージを用いて行うひずみ解析システムの一例としての配置構成を示す平面図である。

【図 7】3 軸ひずみゲージのそれぞれのひずみ出力の位相関係を示すグラフである。

【図 8】5 個のひずみゲージを同心円上に 72° 間隔で配置した平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下発明の実施の形態は、特許請求の範囲にかかる発明を限定するものではなく、また、実施の形態の中で説明されている各特徴の組み合わせの全てが本発明の解決手段に必須であるとは限らない。

【0019】

〔第 1 の実施形態〕

本発明の第 1 の実施の形態に係るひずみゲージは、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージである。

図 1 は、本発明の第 1 の実施の形態に係るひずみゲージのパターン形状を示す平面図である。ひずみの測定時には、使用者が、このひずみゲージを被測定対象物あるいは変換器の起歪部（図示は省略）に接着、スパッタリング、溶射等の手段により直接または間接に添着する。

図 1 に示すひずみゲージは、その主要部として、基板 10 上に一体的に形成され、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 1 および 2 と、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 3 および 4 と、の計 4 つのひずみゲージを備える。

前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 1 および 2 と、前記第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 3 および 4 の各々は、ひずみ感応抵抗体によって形成される。しかも、前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 1 および 2 は、前記ひずみ感応抵抗体が敷設される基板領域の正方形内を互いに直交する 2 本の対角線で区切った時に仮想される、4 つの二等辺三角形領域に配設されるものである。

【0020】

より具体的には、前記ひずみ感応抵抗体は、前記対角線の交点 P 1 を点対称に（換言すれば、交点 P 1 を通る主軸方向に直交する横軸と軸対称に）、それぞれ主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向配置された二等辺三角形の斜辺および底辺近傍で順次折り返して主軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の第 1 および第 2 の主軸グリッド部 G 1 および G 2 を形成する。

また、前記第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 3 および 4 も、前記と同様に、上述の正方形内を対角線で区切って、4 つの二等辺三角形領域に設置されるものである。より具体的には、前記ひずみ感応抵抗体は、前記対角線の交点 P 1 を中心とする点対称に（換言すれば、交点 P 1 を通る主軸方向の軸を対称として）、それぞれ横軸方向に沿って対向配置され、前記横軸方向に対向配置された二等辺三角形の斜辺および底辺近傍で順次折り返して横軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の第 1 および第 2 の横軸グリッド部 G 3 および G 4 を形成する。

なお、前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 1 および 2 の各々の受感軸方向は、本ひずみゲージの基準として示される小三角形形状の指標 M 1 と M 2 を結ぶ線分方向であり、この指標 M 1 と M 2 を主軸方向と一致させるものとする。また、第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 3 および 4 の各々の受感軸方向は、前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 1 および 2 の各々の受感軸方向と直交する横軸方向と一致させるものとする。このとき、指標 M 3 と M 4 とは、横軸方向と一致するように付設されている。

【0021】

また、図 1 に示すひずみゲージは、他の構成要素として、基板 10 上に形成され、前記第 1 主軸グリッド部 G 1 の一端と前記第 2 の横軸グリッド部 G 4 の一端との接続部に接続された第 1 の接続端子 T 1 と、前記第 1 の主軸グリッド部 G 1 の他端と前記第 1 の横軸グリッド部 G 3 の一端との接続部に接続された第 2 の接続端子 T 2 と、前記第 1 の横軸グリッド部 G 3 の他端と前記第 2 の主軸グリッド部 G 2 の一端との接続部に接続された第 3 の接続端子 T 3 と、前記第 2 の主軸グリッド部 G 2 の他端と前記第 2 の横軸グリッド部 G 4 の他端との接続点に接続された第 4 の接続端子 T 4 と、を備える（この第 1 の実施の形態に係るひずみゲージは、請求項 1 に対応する）。

10

本発明の第 1 の実施の形態に係るひずみゲージは、上述のように、第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 1 および 2 と、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 3 および 4 とを、交点 P 1 の点対称に配置する構成としたので、主軸方向のひずみ量の測定と、横軸方向のひずみ量の測定とを同時に行うことができ、等価回路内の感度 S は、一般的に主軸方向の感度は 1.0 であり、横軸方向は、ポアソン比 ν に依存し、一般的に感度は、 -0.3 である。

20

【0022】

従って、ブリッジの等価回路内の感度 S は、一般的に

$$S = (1 \varepsilon + 1 \varepsilon) - (-0.3 \varepsilon - 0.3 \varepsilon) = 2.6$$

となり、2.6 倍の感度を有し、ひずみ感応抵抗素材のゲージ率 K が、 $K = 2.0$ のとき、ブリッジ回路内のゲージ率は、5.2 となる。

また、本発明の第 1 の実施の形態に係るひずみゲージは、前記のように構成すると共に、第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 1 および 2 と、第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 3 および 4 は、点対称（または軸対称）の形状を呈しており、その各々のひずみゲージの電気抵抗値が均等になるようにする。さらに、第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 1 および 2 と、第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 3 および 4 の各々の抵抗温度係数も均等になるようにする。また、図 1 に示すひずみゲージのパターン形状から、第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 1 および 2 の各々の受感軸方向は一致している。さらに、第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 3 および 4 の各々の受感軸方向も、同様に一致している。

30

このように構成したことにより、本発明の第 1 の実施の形態に係るひずみゲージは、主軸方向とこれに直交する横軸方向の熱ひずみ出力成分は均等となる。これにより、主軸方向とこれに直交する横軸方向の温度変化による抵抗変化分の影響は均等に補償することができる。従って、周囲温度が変化した時に、前記の 4 つのひずみゲージにおける抵抗値の変化分は全て等しくなり、たとえ被測定対象物が如何なる線膨張率の材質のものであっても、互いに相殺されるので、上述の等価ブリッジ回路の出力には、見掛け上のひずみ出力と経時的変化のドリフトが生じないことになる。

40

【0023】

この第 1 の主軸ひずみゲージ 1 と第 2 の主軸ひずみゲージ 2 は、図 5 に示す等価ブリッジ回路としてのホイートストンブリッジ回路（以下、単に「ブリッジ回路」という）の対向する二辺のそれぞれに接続され、第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 3 および 4 は、これらに隣接する他の二辺のそれぞれに接続されている。この第 1 の主軸ひずみゲージ 1 と第 2 の横軸ひずみゲージ 4 との接続点 a と、第 2 の主軸ひずみゲージ 2 と、第 1 の横軸ひずみゲージ 3 との接続点 b の間にブリッジ電圧 E_{in} が、第 1 の接続端子 T 1 および T 3 の接続端子 T 3 をそれぞれ介して供給されるようになっている。

また、第 2 の主軸ひずみゲージ 2 と第 2 の横軸ひずみゲージ 4 との接続点 c と、第 1 の

50

主軸ひずみゲージ 1 と第 1 の横軸ひずみゲージ 3 との接続点 d の間からは、ひずみ出力電圧 E_{out} が、第 4 の接端子 T 4 および第 2 の接続端子 T 2 をそれぞれ介して取り出せるようになっている。

このように、第 1 ～第 4 の接続端子 T 1 ～T 4 は、ブリッジ電源と、ひずみ測定器との電気接続用の端子であり、ブリッジ電源をブリッジ回路に供給すると共に、ひずみ出力を該ひずみ測定器にまで導くためのゲージリードまたはリード線を電気抵抗溶接（例えばスポット溶接）、半田付け等により固着するのに適した面積を有している。

【0024】

第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 1 および 2 と、第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 3 および 4 と、配線パターン、接続端子 T 1 ～T 4 の各々を形成するひずみ感応抵抗素材には、任意の抵抗素材を適用することができる。例えば、Ni-Cr（系）合金、Fe-Cr-Al 合金（商品名：カルマ、Kアロイ、エパノーム、KANTHAL 等）、Pt-W 合金、Cu-Ni 合金（商品名：アドバンス、コンスタントン、ユーリカ）、Pt および Ti または半導体などを、用途に合わせて用いることができる。

10

基板 10 を構成する素材としては、例えば、ポリミイド、ポリエステル、エポキシ、フェノールなどの樹脂および和紙を、用途に合わせて適宜の材質のものを用いることができる。

基板 10 に形成された指標 M 1 および M 2 は、第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 1 および 2 の主軸方向を示すものである。

また、指標 M 3 と M 4 は、第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 3 および 4 の横軸方向を示すものである。

20

これらの指標 M 1 ～M 4 は、ひずみゲージを被測定対象物上に添着する際の目印となる。

【0025】

〔第 2 の実施形態〕

本発明の第 2 の実施形態に係るひずみゲージは、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージである。本発明の第 2 の実施形態に係るひずみゲージの特徴は、基板領域が円形領域であることである。被測定対象物の形状や状態によっては、このような円形のひずみゲージが必要となる。

30

図 2 は、本発明の第 2 の実施の形態に係るひずみゲージのパターン形状を示す平面図である。ひずみの測定時には、使用者が、このひずみゲージを被測定対象物あるいは変換器の起歪部（図示は省略）に直接または間接に添着する。

図 2 に示すひずみゲージは、基板（図示は省略）上に形成され、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 11 および 12 と、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 13 および 14 と、の計 4 つのひずみゲージを備える。

前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 11 および 12 と、前記第 1 および第 2 の横軸ひずみゲージ 13 および 14 の各々はひずみ感応抵抗体によって形成される。しかも、前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 11 および 12 は、前記ひずみ感応抵抗体が敷設される基板領域の円形を互いに直交する 2 本の分割線で区切った時に示される、4 つの扇形領域に配設されるものである。

40

【0026】

より具体的には、前記ひずみ感応抵抗体は、円形基板内を 90 度間隔の分割線で区切って 4 つの扇形領域を仮想したとき、その 4 つの扇形領域に 4 つのひずみゲージが形成される。前記第 1 および第 2 の主軸ひずみゲージ 11 および 12 は、前記分割線の交点を対称としてそれぞれ主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向配置された扇形の斜辺部および円弧部近傍で順次折り返されて前記主軸方向に直線状の受感部を有する扇形状の第 1 および第 2 の主軸グリッド部 G 11 および G 12 を形成する。

50

同様に、前記第1および第2の横軸ひずみゲージ13および14は、前記分割線の交点P11を点対称に、それぞれ前記主軸方向に直交する横軸方向に沿って対向配置され、前記横軸方向に対向配置された扇形の斜辺部および円弧部近傍で順次折り返されて横軸方向に直線状の受感部を有する扇形状の第1および第2の横軸グリッド部G13およびG14を形成する。

なお、前記第1および第2の主軸ひずみゲージ11および12の各々の受感軸方向は、本ひずみゲージの基準として示される軸方向と一致させるものとする。また、第1および第2の横軸ひずみゲージ13および14の各々の受感軸方向は、前記第1および第2の主軸ひずみゲージ11および12の各々の受感軸方向と直交させるものとする。

【0027】

また、図2に示すひずみゲージは、他の構成要素として、前記第1主軸グリッド部G11の一端と前記第2の横軸グリッド部G14の一端との接続部に接続された第1の接続端子T11と、前記第1の主軸グリッド部G11の他端と前記第1の横軸グリッド部G13の一端との接続部に接続された第2の接続端子T12と、前記第1の横軸グリッド部G13の他端と前記第2の主軸グリッド部G12の一端との接続部に接続された第3の接続端子T13と、前記第2の主軸グリッド部G12の他端と前記第2の横軸グリッド部G14の他端との接続点に接続された第4の接続端子T14と、を備える（この第2の実施の形態に係るひずみゲージは、請求項2に対応する）。

本発明の第2の実施の形態に係るひずみゲージは、上述のように、第1および第2の主軸ひずみゲージ11および12と、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージ13および14とを、交点P11の点対称に配置する構成としたので、主軸方向のひずみ量の測定と、横軸方向のひずみ量の測定とを上述したように同時に行うことができる。

【0028】

また、本発明の第2の実施の形態に係るひずみゲージは、前記のように構成すると共に、第1および第2の主軸ひずみゲージ11および12と、第1および第2の横軸ひずみゲージ13および14の各々の電気抵抗値が均等になるようにする。さらに、第1および第2の主軸ひずみゲージ11および12と、第1および第2の横軸ひずみゲージ13および14の各々の抵抗温度係数も均等になるようにする。

また、図2に示すひずみゲージのパターン形状から、第1および第2の主軸ひずみゲージ11および12の各々の受感軸方向は一致している。さらに、第1および第2の横軸ひずみゲージ13および14の各々の受感軸方向も、同様に一致している。

このように、第1の主軸グリッド部G11と第2の主軸グリッド部G13が共に軸対象に形成されており、同時に第1の横軸グリッド部G12と第2の横軸グリッド部G14の4つのグリッド部がすべて軸対象となるように構成したことにより、本発明の第2の実施の形態に係るひずみゲージは、主軸方向とこれに直行する横軸方向の熱ひずみ出力成分は均等となる。これにより、主軸方向とこれに直行する横軸方向の温度変化による抵抗変化分の影響は均等に補償することができる。即ち、このひずみゲージが如何なる線膨張係数の材質よりなる被測定対象物に添着された場合であっても、その周囲温度が変化した時に、前記の4つのひずみゲージにおける抵抗値の変化分は全て等しくなり、互いに相殺されるので、上述の等価ブリッジ回路の出力には、見掛け上のひずみ出力と経時的変化のドリフトが生じないことになる。換言すれば、温度による見掛けひずみが、被測定体の線膨張率の影響を受けないひずみゲージを実現することができる。

【0029】

第1～第4の接続端子T11～T14は、図5において説明したように、電源を有するひずみ測定器との電気接続用の端子であり、ひずみ出力を該ひずみ測定器にまで導くためのゲージリードまたはリード線を電気抵抗溶接（例えばスポット溶接）、半田付け等により固着するのに適した面積を有している。

第1および第2の主軸ひずみゲージ11および12と、第1および第2の横軸ひずみゲージ13および14の各々を形成する抵抗素材には、任意の抵抗素材を充当することがで

10

20

30

40

50

きる。例えば、Ni-Cr（系）合金、Fe-Cr-Al合金（商品名：カルマ、Kアロイ、エバノーム、KANTHAL等）、Pt-W合金、Cu-Ni合金（商品名：アドバンス、コンスタンタン、ユーリカ）、PtおよびTiまたは半導体などを、用途に合わせて用いることができる。

前記基板を構成する素材としては、例えば、ポリミイド、ポリエステル、エポキシ、フェノールなどの樹脂および和紙を、用途に合わせて用いることができる。

【0030】

〔第3の実施形態〕

本発明の第3の実施の形態に係るひずみゲージは、等価回路ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第1および第2の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージである。本発明の第1の実施の形態に係るひずみゲージと比べると、本発明の第3の実施の形態に係るひずみゲージは、本発明の第1の実施の形態に係るひずみゲージとは各ひずみゲージのグリッドパターンが異なっており、二等辺三角形の領域の底辺に対し、第1の実施の形態では、グリッド部が垂直であるのに対し、第3の実施の形態では、グリッド部が平行である点が異なっている。

10

図3は、本発明の第3の実施の形態に係るひずみゲージのパターン形状を示す平面図である。ひずみの測定時には、使用者が、このひずみゲージを被測定対象物あるいは変換器の起歪部（図示は省略）に接着、蒸着、融着等の手段により直接または間接に添着する。図3に示すひずみゲージは、その主要部として、基板20上に形成され、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第1および第2の主軸ひずみゲージ21および22と、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージG23およびG24と、の計4つのひずみゲージを備える。

20

【0031】

前記第1および第2の主軸ひずみゲージ21および22と、前記第1および第2の横軸ひずみゲージG23およびG24の各々は、ひずみ感応抵抗素材によって形成される。しかも、前記第1および第2の主軸ひずみゲージ21および22は、前記抵抗素材パターンが敷設される基板領域の正方形内を互いに直交する2本の対角線で区切った時に示される（仮想される）、4つの二等辺三角形領域に配設されるものである。

30

より具体的には、前記ひずみ感応抵抗素材パターンは、前記対角線の交点P21から点対称（または軸対称）に、前記主軸方向に直交する横軸方向に対向配置された二等辺三角形の底辺に平行であって主軸方向に直線状の受感部を有し、斜辺部近傍で順次折り返された三角形の第1および第2の主軸グリッド部G21およびG22を形成する。また、前記第1および第2の横軸ひずみゲージG23およびG24は、前記対角線の交点P21を中心とする点対称に、それぞれ前記主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向する二等辺三角形の2つの斜辺近傍で順次折り返されて横軸方向に直線状の受感部を有する三角形の第1および第2の横軸グリッド部G23およびG24を形成する。

【0032】

なお、前記第1および第2の主軸ひずみゲージ21および22の各々の受感軸方向は、本ひずみゲージの基準として示される軸方向と一致させるものとする。また、第1および第2の横軸ひずみゲージ23および24の各々の受感軸方向は、前記第1および第2の主軸ひずみゲージ23および24の各々の受感軸方向と直交させるものとする。

40

また、図3に示すひずみゲージは、他の構成要素として、基板20上に形成され、前記第1の主軸グリッド部G21の一端と前記第2の横軸グリッド部G24の一端との接続部に接続された第1の接続端子T21と、前記第1の主軸グリッド部G21の他端と前記第1の横軸グリッド部G23の一端との接続部に接続された第2の接続端子T22と、前記第1の横軸グリッド部G23の他端と、前記第2の主軸グリッド部G22の一端との接続部に接続された第3の接続端子T23と、前記第2の主軸グリッド部G22の他端と前記第2の横軸グリッド部G24の他端との接続点に接続された第4の接続端子T24と、を

50

備える（このように構成された第3の実施の形態に係るひずみゲージは、請求項3に対応する）。

【0033】

本発明の第3の実施の形態に係るひずみゲージは、上述のように、第1および第2の主軸ひずみゲージ21および22と、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージ23および24とを、交点P21の点対称に配置する構成としたので、主軸方向のひずみ量の測定と、横軸方向のひずみ量の測定とを同時に行うことができる。

また、本発明の第3の実施の形態に係るひずみゲージは、前記のように構成すると共に、第1および第2の主軸ひずみゲージ21および22と、第1および第2の横軸ひずみゲージ23および24の各々の電気抵抗値が均等になるようにする。さらに、第1および第2の主軸ひずみゲージ21および22と、第1および第2の横軸ひずみゲージ23および24の各々の抵抗温度係数も均等になるようにする。また、図1に示すひずみゲージのパターン形状から、第1および第2の主軸ひずみゲージ21および22の各々の受感軸方向は、一致している。さらに、第1および第2の横軸ひずみゲージ23および24の各々の受感軸方向も、同様に一致している。

【0034】

このように構成したことにより、本発明の第3の実施の形態に係るひずみゲージは、主軸方向とこれに直行する横軸方向の熱ひずみ出力成分は均等となる。これにより、主軸方向とこれに直行する横軸方向の温度変化による抵抗変化分の影響は均等に補償することができる。即ち、周囲温度が変化した時に、前記の4つのひずみゲージにおける抵抗値の変化分は全て等しくなり、互いに相殺されるので、たとえ、このひずみゲージが添着される被測定対象物の材質如何に拘わらず、上述の等価ブリッジ回路の出力には、見掛け上のひずみ出力が生じないことになる。

第1～第4の接続端子T21、T22、T23、T24は、図5を用いて説明したように、電源およびひずみ測定器との電気接続用の端子であり、ブリッジ電源をひずみゲージに供給したり、ひずみ出力を該ひずみ測定器まで導くためのゲージリードまたはリード線を電気抵抗溶接（例えばスポット溶接）、半田付け等により固着するのに適した面積を有している。

第1および第2の主軸ひずみゲージ21および22と、第1および第2の横軸ひずみゲージ23および24の各々を形成する抵抗素材には、任意の抵抗素材を充当することができる。例えば、Ni-Cr（系）合金、Fe-Cr-Al合金（商品名：カルマ、Kアロイ、エパノーム、KANTHAL等）、Pt-W合金、Cu-Ni合金（商品名：アドバンス、コンスタンタン、ユーリカ）、PtおよびTiまたは半導体などを、用途に合わせて用いることができる。

基板20を構成する素材としては、例えば、ポリミイド、ポリエステル、エポキシ、フェノールなどの樹脂および和紙を、用途に合わせて用いることができる。

【0035】

〔第4の実施形態〕

この第4の実施の形態に係るひずみゲージは、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第1および第2の主軸ひずみゲージと、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第1および第2の横軸ひずみゲージとを被測定対象物に添着される同一の基板に一体に形成したひずみゲージである。

本発明の第3の実施形態に係るひずみゲージの特徴は、基板領域が円形領域であることである。被測定対象物の形状や状態によっては、このような円形のひずみゲージが必要となる。なお、上述した第2の実施の形態に係るひずみゲージと比べると、本発明の第4の実施の形態に係るひずみゲージは、本発明の第2の実施の形態に係るひずみゲージとは、受感部であるグリッド部の形成方向が直交した関係となっている。

図4は、本発明の第4の実施の形態に係るひずみゲージのパターン形状を示す平面図である。ひずみの測定時には、使用者が、このひずみゲージを被測定対象物あるいは変換器

の起歪部（図示は省略）に直接または間接に添着する。

図４に示すひずみゲージは、基板（図示は省略）上に形成され、等価ブリッジ回路のうちの対向する二辺のそれぞれに接続された第１および第２の主軸ひずみゲージ３１および３２と、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第１および第２の横軸ひずみゲージ３３および３４と、の計４つのひずみゲージを備える。

【００３６】

前記第１および第２の主軸ひずみゲージ３１および３２と、前記第１および第２の横軸ひずみゲージ３３および３４の各々は、ひずみ感応抵抗素材によって形成され、前記抵抗素材が敷設される基板領域の円形を互いに直交する２本の分割線で区切った時に示される（仮想される）、４つの扇形領域に配設されるものである。

10

より具体的には、円形を９０度間隔の分割線で区切って、４つの扇形領域を仮想したとき、前記第１および第２の主軸ひずみゲージ３１および３２は、前記分割線の交点Ｐ３１からの点対称に、対向配置され前記主軸方向に直交する横軸方向に対向配置された二等辺三角形の底辺に平行であって２つの斜辺部近傍及び円弧部近傍で順次折り返されて主軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の第１および第２の主軸グリッド部Ｇ３１およびＧ３２を形成する。

また、前記第１および第２の横軸ひずみゲージ３３および３４は、前記分割線の交点Ｐ３１を中心とする点対称に、それぞれ前記主軸方向に沿って対向配置され、前記主軸方向に対向配置された二等辺三角形の２つの斜辺部近傍及び円弧部近傍で順次折り返されて横軸方向に直線状の受感部を有する三角形形状の第１および第２の横軸グリッド部Ｇ３３およびＧ３４を形成する。

20

【００３７】

なお、前記第１および第２の主軸ひずみゲージ３１および３２の各々の受感軸方向は、本ひずみゲージの基準として示される主軸方向と一致させるものとする。また、第１および第２の横軸ひずみゲージ３３および３４の各々の受感軸方向は、前記第１および第２の主軸ひずみゲージ３１および３２の各々の受感軸方向と直交させるものとする。

また、図４に示すひずみゲージは、他の構成要素として、前記第１主軸グリッド部Ｇ３１の一端と前記第２の横軸グリッド部Ｇ３４の一端との接続部に接続された第１の接続端子Ｔ３１と、前記第１の主軸グリッド部Ｇ３１の他端と前記第１の横軸グリッド部Ｇ３３の一端との接続部に接続された第２の接続端子Ｔ３２と、前記第１の横軸グリッド部Ｇ３３の他端と前記第２の主軸グリッド部Ｇ３２の一端との接続部に接続された第３の接続端子Ｔ３３と、前記第２の主軸グリッド部Ｇ３２の他端と前記第２の横軸グリッド部Ｇ３４の他端との接続点に接続された第４の接続端子Ｔ３４と、を備える。

30

本発明の第４の実施の形態に係るひずみゲージは、上述のように、第１および第２の主軸ひずみゲージ３１および３２と、前記二辺に隣接する他の二辺のそれぞれに接続された第１および第２の横軸ひずみゲージ３３および３４とを、交点Ｐ３１の点対称に配置する構成としたので、主軸方向のひずみ量の測定と、横軸方向のひずみ量の測定とを同時に行うことができる。

【００３８】

また、本発明の第４の実施の形態に係るひずみゲージは、前記のように構成すると共に、第１および第２の主軸ひずみゲージ３１および３２と、第１および第２の横軸ひずみゲージ３３および３４の各々の電気抵抗値が均等になるようにする。さらに、第１および第２の主軸ひずみゲージ３１および３２と、第１および第２の横軸ひずみゲージ３３および３４の各々の抵抗温度係数も均等になるようにする。また、図４に示すひずみゲージのパターン形状から、第１および第２の主軸ひずみゲージ３１および３２の各々の受感軸方向は一致している。さらに、第１および第２の横軸ひずみゲージ３３および３４の各々の受感軸方向も、同様に一致している。

40

このように構成したことにより、本発明の第４の実施の形態に係るひずみゲージは、主軸方向とこれに直行する横軸方向の熱ひずみ出力成分は均等となる。これにより、主軸方向とこれに直行する横軸方向の温度変化による抵抗変化分の影響は均等に補償することが

50

できる。即ち、周囲温度が変化した時に、前記の4つのひずみゲージにおける抵抗値の変化分は全て等しくなり、互いに相殺されるので、上述の等価ブリッジ回路の出力には、見掛け上のひずみ出力が生じないことになる。

【0039】

第1～第4の接続端子(T31, T32, T33, T34)は、電源およびひずみ測定器との電気接続用の端子であり、ブリッジ電源をひずみゲージに供給したり、ひずみ出力を該ひずみ測定器にまで導くためのゲージリードまたはリード線を電気抵抗溶接(例えばスポット溶接)、半田付け等により固着するのに適した面積を有している。

第1および第2の主軸ひずみゲージ31および32と、第1および第2の横軸ひずみゲージ33および34の各々を形成するひずみ感応抵抗素材には、任意の抵抗素材を充当することができる。例えば、Ni-Cr(系)合金、Fe-Cr-Al合金(商品名:カルマ、Kアロイ、エパノーム、KANTHAL等)、Pt-W合金、Cu-Ni合金(商品名:アドバンス、コンスタンタン、ユーリカ)、PtおよびTiまたは半導体などを、用途に合わせて用いることができる。

前記基板を構成する素材としては、例えば、ポリミイド、ポリエステル、エポキシ、フェノールなどの樹脂および和紙を、用途に合わせて用いることができる。

【0040】

〔第5の実施形態〕

本発明の第5の実施の形態に係るひずみ解析システムは、請求項1～請求項4のいずれか1項に記載のひずみゲージを、3個以上の奇数個を纏めて構成する。

図6は、本発明の第5の実施の形態に係るひずみ解析システムの一例としての構成を示す構成図である。本発明の第6の実施の形態に係るひずみ解析システムは、一般に、第1の実施の形態～第4の実施の形態のいずれかのひずみゲージを、3個以上の奇数個であるn個を用い、これらを $360^\circ / n$ の等角度間隔で同心円上に配設する。但し、図6では説明の都合上、 $n=3$ の場合を示している。即ち、図6に示すひずみ解析システムでは、基準となるひずみゲージAの他に、ひずみゲージB、Cを備える。

一般のひずみ解析システムでは、基準となるひずみゲージAの主軸方向を基準軸とすれば、他の残り($n-1$)個のひずみゲージB、Cの主軸方向は、前記基準軸を基準に $180^\circ / n$ ずつ、ずらせて設置したものとなる。

一般に、3個以上の奇数個であるn個のひずみゲージを備えるひずみ解析システムでは、該n個のひずみゲージの各入力端子にブリッジ電圧を供給したとき、その各出力端子から出力されるひずみ出力が最大であるひずみゲージの出力および当該最大ひずみを出力するひずみゲージの設置角度位置に注目する。

【0041】

即ち、当該ひずみ出力が最大であるひずみゲージの出力および当該最大ひずみを出力するひずみゲージの設置角度位置とに基づいて、当該被測定対象物に出ずる最大ひずみ出力および主ひずみ方向を、所定の精度で検出することができる。

本発明の第5の実施の形態に係るひずみ解析システムの具体例として、図6に示すように、3個のひずみゲージA、B、Cを有するひずみゲージについて述べる。測定時、当該3個のひずみゲージA、B、Cの各々の入力端子にブリッジ電圧を供給した時、ひずみゲージAのひずみ出力が ε_a 、ひずみゲージBのひずみ出力が ε_b 、ひずみゲージCのひずみ出力が ε_c 、を示したとする。

図6に示す $0 \pm 60^\circ$ に等配されたこれらのひずみゲージの出力(ε_a 、 ε_b 、 ε_c)は、 $\cos 2\theta$ で変化し、各ゲージの出力分岐点 45° で極性が変化する。この場合、最大の極値を示すひずみゲージから出力されるひずみ出力(ε)は、(1)式より求めることができる。

【0042】

【数3】

$$\varepsilon = 0.816 \times \sqrt{\{(\varepsilon_a \cdot \varepsilon_a) + (\varepsilon_b \cdot \varepsilon_b) + (\varepsilon_c \cdot \varepsilon_c)\}} \cdots \cdots (1)$$

ここで、上記（１）式の誘導根拠を説明する。

今、 $0 \pm 60^\circ$ に等配されたひずみゲージ A, B, C の出力を εa , εb , εc とする。

$0 \pm 60^\circ$ に等配されたひずみゲージ $[\varepsilon a]$, $[\varepsilon b]$, $[\varepsilon c]$ の出力は $\cos 2\theta$ で出力が変化し、各ゲージの出力分岐点 45° で極性が逆転する。

$0 \pm 60^\circ$ に等配されたひずみゲージ $[\varepsilon a]$, $[\varepsilon b]$, $[\varepsilon c]$ の±極性を無くするために各出力を二乗和し平方根をとる。その時の出力は 1.0 である。

今、3 軸のひずみゲージ $\varepsilon a = 0^\circ$, $\varepsilon b = 60^\circ$, $\varepsilon c = -60^\circ$ に配置されている。

主ひずみが 1 の時、出力値は εa ; $\varepsilon a = \cos(0^\circ) = 1$

主ひずみが 1 の時、出力値は εb ; $\varepsilon b = \cos(60^\circ) = 0.5$

主ひずみが 1 の時、出力値は εc ; $\varepsilon c = \cos(-60^\circ) = -0.5$

今、±極性を無くするためにの二乗和し平方根をとる。

【0043】

【数4】

$$\sqrt{1^2 + 0.5^2 + (-0.5)^2} = \sqrt{1.5} = 1.2247449$$

$0 \pm 60^\circ$ に等配されたひずみゲージ $[\varepsilon a]$, $[\varepsilon b]$, $[\varepsilon c]$ の出力はの総和は出力 1.0 の時に 1.2247449 の関係である。

【0044】

従って 3 軸ゲージの二乗和を平方根した時の値を 1.0 にする定数は $1 / 1.2247449 = 0.8164966$

よって、上記（１）式が得られる。

また、被測定対象物における主ひずみ方向は、前記 3 つのひずみゲージ A, B, C の内、最大極値を示したひずみゲージの配置方向から求めることができる。

即ち、3 軸ひずみゲージのズレ角度による各ひずみゲージのひずみ出力位相のグラフを図 6 に示す。図 6 において、横軸は、ひずみ方向（度）を示し、縦軸は、出力感度（Ratio）であり、この図から、ひずみ軸方向に対して軸が $\pm 15^\circ$ ずれる毎に、主軸ゲージが A → B → C へと移ることが分かる。

60° に等配された 3 枚のひずみゲージ A, B, C の出力 εa , εb , εc は、 $\cos 2\theta$ で出力が変化し、出力分岐点 45° で極性が逆転する。

この出力値の位相が図 6 に示されている。

また、3 軸ゲージのズレ角度による出力と隣接するゲージの出力比率の関係を表 1 に示す。

【0045】

【表 1】

3 軸ひずみゲージのズレ角度による各ゲージのひずみ出力位相

3 軸ゲージ スレ角度による 出力 と 隣接するゲージの出力比率				Strain Ratio		
ひずみ方向 Strain Direction [deg]	出力			出力比率		
	0°; GaugeA	60°; GaugeB	120°; GaugeC	GA:[B/C]	GB:[C/A]	GC:[A/B]
-15°, 75°	0.87	-0.87	-0.00	∞	-0.00	-1.00
0°, 90°	1.00	-0.50	-0.50	1.00	-0.50	-2.00
15°, 105°	0.87	0.00	-0.87	-0.00	-1.00	∞
30°, 120°	0.50	0.50	-1.00	-0.50	-2.00	1.00
45°, 135°	0.00	0.87	-0.87	-1.00	∞	0.00
60°, 150°	-0.50	1.00	-0.50	-2.00	1.00	-0.50
75°, 165°	-0.87	0.87	0.00	∞	-0.00	-1.00

【0046】

例えば、上記表1より、ひずみゲージAが0°方向のとき、ひずみゲージAの感度は、「1.00」であり、±60°ズレた地点のひずみゲージBとCのゲージ感度は、それぞれ「0.5」であることが分かる。

出力分岐点が3枚の各ゲージ軸の45°方向にあることから、 $45^\circ / 3 = 15^\circ$ となり、任意（未知）の方向からのひずみに対し、最大極値を示すひずみゲージは、15°内で主軸方向を示すことが判る。

例えば、ひずみゲージBが最大出力値を示した場合は、表1より、 $60^\circ \pm 15^\circ$ または $150^\circ \pm 15^\circ$ となり、基準軸（0°）に対し、 $45^\circ \sim 75^\circ$ または $135^\circ \sim 165^\circ$ の角度方向に主軸（主ひずみ）方向が存在することが判る。

次に、3つのひずみゲージの3つの出力対象表（テーブル）を使用して、仮軸（A軸）を基準角度位置として、ズレ角度とひずみ出力の補正値を求める手法について説明する。

表2は、ひずみゲージAの出力対照表、表3は、ひずみゲージCの出力対照表、表4は、ひずみゲージBの出力対照表である。

【0047】

【表2】

A gauge 主軸		[A Gauge 仮軸]		ひずみ出力対照表				[θ は 反時計回り 正方向]			
解析範囲: -14 ~ 0 ~ 15°; 75 ~ 90 ~ 105°			Gauge +A; + 正				Gauge -A; - 負				
本軸ゲージ	ひずみ方向 [deg]		出 力 [基準出力=1.0] (B/A)/(C/A)				出 力 [基準出力=1.0] (B/A)/(C/A)				
	θ°	θ+90°	GaugeA	Gauge B	Gauge C	=B/C	GaugeA	Gauge B	Gauge C	=B/C	
Gauge A	0	90	1.00	-0.50	-0.50	1.00	-1.00	0.50	0.50	1.00	
	1	91	1.00	-0.47	-0.53	0.89	-1.00	0.47	0.53	0.89	
	2	92	1.00	-0.44	-0.56	0.78	-1.00	0.44	0.56	0.78	
	3	93	0.99	-0.41	-0.59	0.69	-0.99	0.41	0.59	0.69	
	4	94	0.99	-0.37	-0.62	0.61	-0.99	0.37	0.62	0.61	
	5	95	0.98	-0.34	-0.64	0.53	-0.98	0.34	0.64	0.53	
	6	96	0.98	-0.31	-0.67	0.46	-0.98	0.31	0.67	0.46	
	7	97	0.97	-0.28	-0.69	0.40	-0.97	0.28	0.69	0.40	
	8	98	0.96	-0.24	-0.72	0.34	-0.96	0.24	0.72	0.34	
	9	99	0.95	-0.21	-0.74	0.28	-0.95	0.21	0.74	0.28	
	10	100	0.94	-0.17	-0.77	0.23	-0.94	0.17	0.77	0.23	
	11	101	0.93	-0.14	-0.79	0.18	-0.93	0.14	0.79	0.18	
	12	102	0.91	-0.10	-0.81	0.13	-0.91	0.10	0.81	0.13	
	13	103	0.90	-0.07	-0.83	0.08	-0.90	0.07	0.83	0.08	
	14	104	0.88	-0.03	-0.85	0.04	-0.88	0.03	0.85	0.04	
	15	105	0.87	0.00	-0.87	0.00	-0.87	0.00	0.87	0.00	
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
	-15	75	-0.87	-0.87	0.00	∞	-0.87	0.87	0.00	∞	
	-14	76	0.88	-0.85	-0.03	24.30	-0.88	0.85	0.03	24.30	
	-13	77	0.90	-0.83	-0.07	11.88	-0.90	0.83	0.07	11.88	
	-12	78	0.91	-0.81	-0.10	7.74	-0.91	0.81	0.10	7.74	
	-11	79	0.93	-0.79	-0.14	5.66	-0.93	0.79	0.14	5.66	
	-10	80	0.94	-0.77	-0.17	4.41	-0.94	0.77	0.17	4.41	
	-9	81	0.95	-0.74	-0.21	3.57	-0.95	0.74	0.21	3.57	
	-8	82	0.96	-0.72	-0.24	2.97	-0.96	0.72	0.24	2.97	
	-7	83	0.97	-0.69	-0.28	2.52	-0.97	0.69	0.28	2.52	
	-6	84	0.98	-0.67	-0.31	2.17	-0.98	0.67	0.31	2.17	
	-5	85	0.98	-0.64	-0.34	1.88	-0.98	0.64	0.34	1.88	
	-4	86	0.99	-0.62	-0.37	1.64	-0.99	0.62	0.37	1.64	
	-3	87	0.99	-0.59	-0.41	1.45	-0.99	0.59	0.41	1.45	
	-2	88	1.00	-0.56	-0.44	1.28	-1.00	0.56	0.44	1.28	
	-1	89	1.00	-0.53	-0.47	1.13	-1.00	0.53	0.47	1.13	
	0	90	1.00	-0.50	-0.50	1.00	-1.00	0.50	0.50	1.00	

【0048】

【表 3】

C gauge 主軸 [仮軸 A Gauge]

ひずみ出力対照表

[θ は 反時計回り 正方向]

解析範囲: -14° ~ 0° ~ 15°			Gauge -C ; -負				Gauge +C ; +正			
本軸ゲージ	ひずみ方向 [deg]		出力 [基準出力=1.0]				出力 [基準出力=1.0]			
	θ°	$\theta + 90^\circ$	Gauge A	Gauge B	Gauge C	A/B	Gauge A	Gauge B	Gauge C	A/B
Gauge C	15	105	0.87	0.00	-0.87	∞	-0.87	0.00	0.87	∞
	16	106	0.85	0.03	-0.88	24.30	-0.85	-0.03	0.88	24.30
	17	107	0.83	0.07	-0.90	11.88	-0.83	-0.07	0.90	11.88
	18	108	0.81	0.10	-0.91	7.74	-0.81	-0.10	0.91	7.74
	19	109	0.79	0.14	-0.93	5.66	-0.79	-0.14	0.93	5.66
	20	110	0.77	0.17	-0.94	4.41	-0.77	-0.17	0.94	4.41
	21	111	0.74	0.21	-0.95	3.57	-0.74	-0.21	0.95	3.57
	22	112	0.72	0.24	-0.96	2.97	-0.72	-0.24	0.96	2.97
	23	113	0.69	0.28	-0.97	2.52	-0.69	-0.28	0.97	2.52
	24	114	0.67	0.31	-0.98	2.17	-0.67	-0.31	0.98	2.17
	25	115	0.64	0.34	-0.98	1.88	-0.64	-0.34	0.98	1.88
	26	116	0.62	0.37	-0.99	1.64	-0.62	-0.37	0.99	1.64
	27	117	0.59	0.41	-0.99	1.45	-0.59	-0.41	0.99	1.45
	28	118	0.56	0.44	-1.00	1.28	-0.56	-0.44	1.00	1.28
	29	119	0.53	0.47	-1.00	1.13	-0.53	-0.47	1.00	1.13
	30	120	0.50	0.50	-1.00	1.00	-0.50	-0.50	1.00	1.00
	31	121	0.47	0.53	-1.00	0.89	-0.47	-0.53	1.00	0.89
	32	122	0.44	0.56	-1.00	0.78	-0.44	-0.56	1.00	0.78
	33	123	0.41	0.59	-0.99	0.69	-0.41	-0.59	0.99	0.69
	34	124	0.37	0.62	-0.99	0.61	-0.37	-0.62	0.99	0.61
	35	125	0.34	0.64	-0.98	0.53	-0.34	-0.64	0.98	0.53
	36	126	0.31	0.67	-0.98	0.46	-0.31	-0.67	0.98	0.46
	37	127	0.28	0.69	-0.97	0.40	-0.28	-0.69	0.97	0.40
	38	128	0.24	0.72	-0.96	0.34	-0.24	-0.72	0.96	0.34
	39	129	0.21	0.74	-0.95	0.28	-0.21	-0.74	0.95	0.28
	40	130	0.17	0.77	-0.94	0.23	-0.17	-0.77	0.94	0.23
	41	131	0.14	0.79	-0.93	0.18	-0.14	-0.79	0.93	0.18
	42	132	0.10	0.81	-0.91	0.13	-0.10	-0.81	0.91	0.13
	43	133	0.07	0.83	-0.90	0.08	-0.07	-0.83	0.90	0.08
	44	134	0.03	0.85	-0.88	0.04	-0.03	-0.85	0.88	0.04
	45	135	0.00	0.87	-0.87	0.00	0.00	-0.87	0.87	0.00

【 0 0 4 9 】

【表 4】

B gauge 主軸 【仮軸 A Gauge】

ひずみ出力対照表

[θ は 反時計回り 正方向]

解析範囲: $-14 \sim 0 \sim 15^\circ$; $46 \sim 75^\circ$			Gauge +B ; 十正				Gauge -B ; 一負			
本軸ゲージ	θ°	$\theta + 90^\circ$	出力 [基準出力=1.0]				出力 [基準出力=1.0]			
	ひずみ方向 [deg]		Gauge A	Gauge B	Gauge C	C/A	Gauge A	Gauge B	Gauge C	C/A
Gauge B	45	135	0.00	0.87	-0.87	∞	0.00	-0.87	0.87	∞
	46	136	-0.03	0.88	-0.85	24.30	0.03	-0.88	0.85	24.30
	47	137	-0.07	0.90	-0.83	11.88	0.07	-0.90	0.83	11.88
	48	138	-0.10	0.91	-0.81	7.74	0.10	-0.91	0.81	7.74
	49	139	-0.14	0.93	-0.79	5.66	0.14	-0.93	0.79	5.66
	50	140	-0.17	0.94	-0.77	4.41	0.17	-0.94	0.77	4.41
	51	141	-0.21	0.95	-0.74	3.57	0.21	-0.95	0.74	3.57
	52	142	-0.24	0.96	-0.72	2.97	0.24	-0.96	0.72	2.97
	53	143	-0.28	0.97	-0.69	2.52	0.28	-0.97	0.69	2.52
	54	144	-0.31	0.98	-0.67	2.17	0.31	-0.98	0.67	2.17
	55	145	-0.34	0.98	-0.64	1.88	0.34	-0.98	0.64	1.88
	56	146	-0.37	0.99	-0.62	1.64	0.37	-0.99	0.62	1.64
	57	147	-0.41	0.99	-0.59	1.45	0.41	-0.99	0.59	1.45
	58	148	-0.44	1.00	-0.56	1.28	0.44	-1.00	0.56	1.28
	59	149	-0.47	1.00	-0.53	1.13	0.47	-1.00	0.53	1.13
	60	150	-0.50	1.00	-0.50	1.00	0.50	-1.00	0.50	1.00
	61	151	-0.53	1.00	-0.47	0.89	0.53	-1.00	0.47	0.89
	62	152	-0.56	1.00	-0.44	0.78	0.56	-1.00	0.44	0.78
	63	153	-0.59	0.99	-0.41	0.69	0.59	-0.99	0.41	0.69
	64	154	-0.62	0.99	-0.37	0.61	0.62	-0.99	0.37	0.61
	65	155	-0.64	0.98	-0.34	0.53	0.64	-0.98	0.34	0.53
	66	156	-0.67	0.98	-0.31	0.46	0.67	-0.98	0.31	0.46
	67	157	-0.69	0.97	-0.28	0.40	0.69	-0.97	0.28	0.40
	68	158	-0.72	0.96	-0.24	0.34	0.72	-0.96	0.24	0.34
	69	159	-0.74	0.95	-0.21	0.28	0.74	-0.95	0.21	0.28
	70	160	-0.77	0.94	-0.17	0.23	0.77	-0.94	0.17	0.23
	71	161	-0.79	0.93	-0.14	0.18	0.79	-0.93	0.14	0.18
	72	162	-0.81	0.91	-0.10	0.13	0.81	-0.91	0.10	0.13
	73	163	-0.83	0.90	-0.07	0.08	0.83	-0.90	0.07	0.08
	74	164	-0.85	0.88	-0.03	0.04	0.85	-0.88	0.03	0.04
	75	165	-0.87	0.87	0.00	0.00	0.87	-0.87	0.00	0.00

【0050】

表 2 の最も左列には、ひずみゲージの名称 (Gauge A、Gauge B、Gauge C)、左から 2 列目は、主軸ゲージズレ角度 (0° と 90° の主軸ゲージの角度 $\pm 15^\circ$)、左から 3 列目は、2 列目の出力が逆転したときの出力で、主軸ゲージの角度 $90^\circ \pm 15^\circ$ の出力、Gauge A、Gauge B、Gauge C と隣辺の出力比 (B/C、A/B、C/A) が記載されている。

Gauge A は、 $0 \pm 15^\circ$ の出力と極性が逆の出力、 $90 \pm 15^\circ$ を示している。この時、 0° は $180^\circ - 180^\circ$ と同じ出力、 90° は $270^\circ - 90^\circ$ と同じ出力である。

Gauge C は、 $30 \pm 15^\circ$ の出力と極性が逆の出力、 $120 \pm 15^\circ$ を示している。この時、 30° は $210^\circ - 150^\circ$ と同じ出力、 120° は $300^\circ - 60^\circ$ と同じ出力である。

Gauge B は、 $60 \pm 15^\circ$ の出力と極性が逆の出力、 $150 \pm 15^\circ$ を示している。この時、 60° は $240^\circ - 120^\circ$ と同じ出力、 150° は $330^\circ - 30^\circ$ と同じ出力である。

【0051】

ここで一つの出力例、即ち、Gauge A ; $-2460 \mu \varepsilon h$ 、Gauge B ; $1394 \mu \varepsilon h$ 、Gauge C ; $1029 \mu \varepsilon h$ について説明する。ここで $\mu \varepsilon h$ は、本発明のひずみゲージの出力単位として $\mu \varepsilon$ の約 2.6 倍高い出力単位である。

ここで、Gauge A の出力が $-2460 \mu \varepsilon h$ 、Gauge B の出力が $1394 \mu \varepsilon h$ 、Gauge C の出力が $1029 \mu \varepsilon h$ であるとしたとき、表 2～表 4 の出力対照表を使用して、仮軸 A を基準にズレ角度と補正値を以下のようにして求める。

1) ひずみゲージ A を仮軸 (0°) としてひずみ測定対象物に添着したとき、この方向

30

40

50

を、基準方向地点とする。

2) 最大絶対値出力値を見て、G a u g e Aが高いときは、表2 (T a b l e A) を、G a u g e Bが高いときは、表3 (T a b l e B) を、G a u g e Cが高いときは、表4 (T a b l e C) を使う。

3) 最大出力値が表2～表4のどこの範囲にあるかを探す。

ここでは、G a u g e Aからの最大出力値がマイナス ($-2460 \mu \varepsilon h$) であることから、表2の最右欄のG a u g e A列が対象となる。

4) さらに、隣り合うひずみゲージBとCの出力比 $B/C = 1394 \mu \varepsilon h / 1029 \mu \varepsilon h = 1.355$ の値が得られる。

5) そこで、表2の最右欄の出力比が1.355に近い値を探すと、左から三列目の 87° のとき、1.45であり、左から二列目における 88° のとき1.28であるので、その中間の 87.5° が求めるズレ角度となる。

【0052】

6) 次に、 $\theta = 87.5^\circ$ のズレ角度のひずみ量 $\varepsilon = 2460 \mu \varepsilon h$ から、補正值の主ひずみ量を求める。

$$\varepsilon / [\cos 2\theta] = 2469 \mu \varepsilon h$$

を得る。

このことから、主ひずみの方向は、ひずみゲージAの基準軸から 87.5° の方向であり、 $2469 \mu \varepsilon h$ のひずみが生じていることが推認 (確認) することができる。

【0053】

〔第6の実施形態〕

さらに、本発明の第6の実施の形態に係るひずみ解析システムのさらなる具体例として、図8に示すように、5個のひずみゲージA、B、C、D、Eを同心円上に 72° 間隔で配したひずみ解析システムを構成することができる。

以下、図8に示すひずみ解析システムについて説明する。図8に示すひずみ解析システムは、ひずみゲージAの主軸方向を基準軸 (0°) として配置すると共に、その他のひずみゲージB～Eを順次 36° ずらせて配置している。

測定時、ひずみゲージA～Eの各入力端子にブリッジ電圧を供給した時に、ひずみゲージAのひずみ出力が εa 、ひずみゲージBのひずみ出力が εb 、ひずみゲージCのひずみ出力が εc 、ひずみゲージDのひずみ出力が εd 、ひずみゲージEのひずみ出力が εe を示したとする。

図8に示す $0 \pm 36^\circ$ に等配されたこれらのひずみゲージの出力 εa 、 εb 、 εc 、 εc 、 εe も、回転角 2θ に対し、 $\cos 2\theta$ で変化し、各ゲージの出力分岐点 36° で極性が逆点する。

【0054】

出力分岐点が、5枚の各ゲージ軸の 45° 方向にあることから、 $45^\circ / 5 = 9^\circ$ となる。

任意の方向 (未知の方向) からのひずみに対し、最大極値を示すゲージは、 9° 内で主軸 (主ひずみ) を示すことが判る。

この場合には、最大の極値を示すひずみゲージから出力されるひずみ出力 (ε) は、下記の下記の (2) 式より求めることができる。

【0055】

【数5】

$$\varepsilon = 0.632 \times \sqrt{\frac{(\varepsilon a \cdot \varepsilon a) + (\varepsilon b \cdot \varepsilon b) + (\varepsilon c \cdot \varepsilon c) + (\varepsilon d \cdot \varepsilon d) + (\varepsilon e \cdot \varepsilon e)}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、上記 (2) 式の誘導根拠を説明する。

今、 $0 \pm 36^\circ$ に等配されたひずみゲージA、B、C、D、Eの出力を εa 、 εb 、 εc 、 εd 、 εe とする。

$0 \pm 36^\circ$ に等配されたひずみゲージ εa 、 εb 、 εc 、 εd 、 εe 出力は、 $\cos 2$

θで出力が変化し、各ゲージの出力分岐点45°で極性が逆転する。

0±36°に等配されたひずみゲージεa、εb、εc、εd、εeの±極性を無くするため、二乗和し平方根とる。その時の出力は1.0である。

今、5軸のひずみゲージεa=0°、εb=36°、εc=72°、εd=108°、εe=144°に配置されている。

主ひずみが1の時、出力値εaは； εa=COS(0°)=1

主ひずみが1の時、出力値εbは； εb=COS(36°)=0.809

主ひずみが1の時、出力値εcは； εc=COS(72°)=0.309

主ひずみが1の時、出力値εdは； εd=COS(108°)=-0.309

主ひずみが1の時、出力値εeは； εe=COS(144°)=-0.809

10

今、±極性を無くするために二乗和し平方根をとる。

【0056】

【数6】

$$\sqrt{1^2 + 0.809^2 + 0.309^2 + (-0.309)^2 + (-0.809)^2} \\ = \sqrt{2.5} = 1.5811388$$

36°に等配されたひずみゲージεa、εb、εc、εd、εeの出力の総和は、出力1.0の時に1.58の関係である。

従って5軸ゲージの二乗和を平方根した時の値を1.0にする定数は、1/1.58=0.632である。

20

よって、上記(2)式が成立することとなる。

【0057】

〔その他の実施の形態〕

本発明の実施の形態に係るひずみ解析システムは、上述し且つ図示した実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲で種々に変形実施することができる。例えば、上述したひずみゲージを5枚、7枚、9枚、11枚と増やして、ひずみ解析システムを構成してもよい。

ひずみゲージの枚数を、1枚、3枚、5枚、7枚、9枚と増やした場合の「主ゲージが示すひずみ最大出力値の範囲」と、「主ゲージ感知軸±方向」と「出力演算定数」を表5に示す。

30

【0058】

【表5】

ひずみゲージの枚数	解析方向	主ゲージが示すひずみ最大出力値の範囲	主ゲージ感知軸±方向	出力演算定数
1枚	主軸方向	主軸方向に対し 100%ひずみ出力		—
3枚	任意方向	87～100% ひずみ出力	±15° 方向	0.816
5枚	〃	95～100% 〃	±9° 方向	0.632
7枚	〃	98～100% 〃	±6.4° 方向	0.535
9枚	〃	99～100% 〃	±5° 方向	0.472
11枚	〃	〃	±4° 方向	0.426

【0059】

最大出力値の範囲は、ひずみ枚数の中の最大値のひずみ出力が示す出力の精度である。

上記表5から分かるように、「主ゲージ感知軸±方向」の精度が、ひずみゲージの枚数が3枚の場合、「±15°方向」であったが5枚の場合「±9°方向」であり、7枚の場合、「±6.4°方向」、9枚の場合、「±5°方向」、11枚の場合、「±4°方向」の如く、検出精度が向上する。

因に、7枚のひずみゲージを等角度間隔で被測定対象物に添着した場合の、ひずみ出力は、上記表5から、出力演算定数を用いて、下記(3)式の通りとなる。

【0060】

50

【数 7】

$$\varepsilon = 0.535 \times \sqrt{\frac{(\varepsilon a \cdot \varepsilon a) + (\varepsilon b \cdot \varepsilon b) + (\varepsilon c \cdot \varepsilon c) + (\varepsilon d \cdot \varepsilon d) + (\varepsilon e \cdot \varepsilon e) + (\varepsilon f \cdot \varepsilon f) + (\varepsilon g \cdot \varepsilon g)}{}} \quad (3)$$

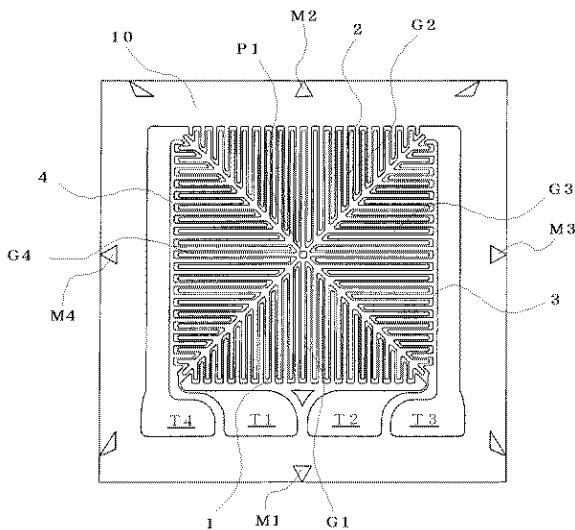
尚、複数（奇数に限る）のひずみゲージは、図 6 に示すように、1 点を中心として半径方向に間隔を開けて、被測定体に添着するようにしたが、1 点（同心軸）を中心としてすべてのひずみゲージを 3 段、5 段、7 段というように、重ね合わせてもよい。このようにした場合、より狭い範囲（極部的）でのひずみ解析をより高精度に行うことができる。

【符号の説明】

【0061】

1, 11, 21, 31 第 1 の主軸ゲージ
 2, 12, 22, 32 第 2 の主軸ゲージ
 3, 13, 23, 33 第 1 の横軸ゲージ
 4, 14, 24, 34 第 2 の横軸ゲージ
 10, 20 基板
 G1, G11, G21, G31 第 1 の主軸グリッド
 G2, G12, G22, G32 第 2 の主軸グリッド
 G3, G13, G23, G33 第 1 の横軸グリッド
 G4, G14, G24, G34 第 2 の横軸グリッド
 P1, P11, P21, P31 交点
 T1~T4, T11~T14, T21~T24, T31~T34 接続端子

【図 1】



【図 2】

