

(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2005-28462
(P2005-28462A)

(43) 公開日 平成17年2月3日(2005.2.3)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
B 2 3 P 6/04	B 2 3 P 6/04	2 G 0 5 1
GO 1 N 21/88	GO 1 N 21/88	Z 2 G 0 5 5
GO 1 N 33/20	GO 1 N 33/20	N 2 G 0 6 1
// GO 1 N 3/06	GO 1 N 3/06	

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2003-193051 (P2003-193051)	(71) 出願人	501204525 独立行政法人海上技術安全研究所 東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(22) 出願日	平成15年7月7日(2003.7.7)	(71) 出願人	503244228 高橋 一比古 東京都三鷹市新川6-38-1 海上技術 安全研究所内
		(74) 代理人	100100413 弁理士 渡部 温
		(74) 代理人	100110777 弁理士 宇都宮 正明
		(72) 発明者	高橋 一比古 東京都三鷹市新川6-38-1 海上技術 安全研究所内

最終頁に続く

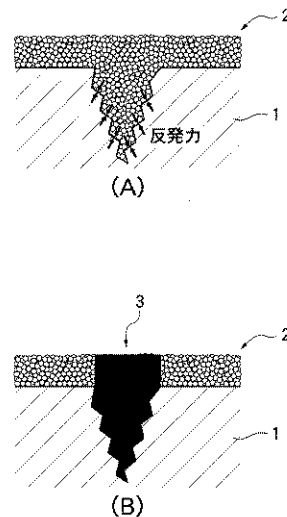
(54) 【発明の名称】 疲労亀裂の進展抑制方法及び検出方法、並びに、それらに用いるペースト

(57) 【要約】

【課題】 比較的初期の段階においても目視により容易に疲労亀裂を検出することが可能な疲労亀裂の検出方法及び進展抑制方法等を提供する。

【解決手段】 この検出方法は、母材1の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペースト2を準備するステップ(a)と、母材1の所望の個所にペースト2を塗布するステップ(b)と、母材1において疲労亀裂が開閉することによって粒子によって母材が研削されて生じた母材粉が、ペースト2の表面に移動して生じた色彩の変化に基づいて、疲労亀裂を検出するステップ(c)とを具備する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

母材の疲労亀裂の進展を抑制する方法であって、
母材の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ (a) と、
前記母材の所望の個所に前記ペーストを塗布するステップ (b) と、
を具備する疲労亀裂の進展抑制方法。

【請求項 2】

前記粒子の粒径が $2 \mu\text{m} \sim 40 \mu\text{m}$ である、請求項 1 記載の疲労亀裂の進展抑制方法。

【請求項 3】

ステップ (a) が、
複数種類の油を混合することにより、粘性が $5000 \sim 15000 \text{ cP}$ (センチポワズ) の油を生成するステップ (a 1) と、
ステップ (a 1) において生成された油に前記粒子を混合するステップ (a 2) と、
を含む、請求項 1 又は 2 記載の疲労亀裂の進展抑制方法。

【請求項 4】

母材の疲労亀裂を検出する方法であって、
母材の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ (a) と、
前記母材の所望の個所に前記ペーストを塗布するステップ (b) と、
前記母材において疲労亀裂が開閉することによって前記粒子によって母材が研削されて生じた母材粉が、前記ペーストの表面に移動して生じた色彩の変化に基づいて、疲労亀裂を検出するステップ (c) と、
を具備する疲労亀裂の検出方法。

【請求項 5】

前記粒子が、白色のセラミックである、請求項 4 記載の疲労亀裂の検出方法。

【請求項 6】

ステップ (a) が、
複数種類の油を混合することにより、粘性が $5000 \sim 15000 \text{ cP}$ (センチポワズ) の油を生成するステップ (a 1) と、
ステップ (a 1) において生成された油に前記粒子を混合するステップ (a 2) と、
を含む、請求項 4 又は 5 記載の疲労亀裂の検出方法。

【請求項 7】

母材の疲労亀裂の進展を抑制し、又は、母材の疲労亀裂を検出するために、前記母材の所望の個所に塗布されるペーストであって、
粒径が $2 \mu\text{m} \sim 40 \mu\text{m}$ の粒子と、
粘性が $5000 \sim 15000 \text{ cP}$ (センチポワズ) の油と、
を混合して得られたペースト。

【請求項 8】

前記粒子が、白色のセラミックである、請求項 7 記載のペースト。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、金属等の表面に発生する疲労亀裂の進展を抑制する方法、及び、疲労亀裂を検出する方法に関する。さらに、本発明は、それらの方法に用いられるペーストに関する。

【0002】**【従来の技術】**

従来より、静的な破壊応力よりはるかに小さな応力であっても、その応力を金属に繰返し加えることによって微小亀裂 (疲労亀裂) が発生する金属の疲労現象が知られている。この疲労亀裂が発生した部分に、さらに、応力を繰返し加えることによって、疲労亀裂は拡

10

20

30

40

50

大し、ひいては金属の切断に繋がる。一方、現在の社会において、金属はいたるところに使われている。そのため、疲労亀裂の進展の抑制、及び、疲労亀裂の早期検出は、大変重要な課題となっている。

【 0 0 0 3 】

図 8 は、疲労亀裂の発生及び進展を説明するための図である。図 8 の (A) に示すように、外部応力による転位の伝搬によって、金属表面に微小亀裂が発生する。また、図 8 の (B) に示すように、引張り荷重が加えられることにより亀裂が開口し、図 8 の (C) に示すように、引張り荷重の除去により亀裂が閉口する。さらに、図 8 の (D) に示すように、再び引張り荷重が加えられることにより亀裂が開口する。このように、亀裂の開閉を繰り返すことにより亀裂が進展する。ここで、図 8 の (A) 及び (C) に示すように、引張り荷重が加えられていない場合には、亀裂が閉口しているため、目視による亀裂の検出が困難であるという問題がある。

10

【 0 0 0 4 】

関連する技術として、下記の特許文献 1 には、外観は黒色不透明で表面は粗面で様々な形状をした立体物を対象に、部位も方向もランダムに発生するクラックを、量産ラインで使用可能な、高速、高感度、非破壊で検出する亀裂検出方法について述べられている。

【 0 0 0 5 】

この亀裂検出方法によれば、亀裂にアセトンやベンゼン等の揮発性溶媒を浸透させ、表面を乾燥させた試料を密封容器の中に静置して、試料の表面を沿って流れるヘリウムや窒素等のキャリアガスに、気化することにより混入した揮発性溶媒の濃度を検出することにより、亀裂が存在することを簡単に検出することができる。

20

【 0 0 0 6 】

しかしながら、この亀裂検出方法においては、亀裂が存在することを検出した場合でも、試料の亀裂が存在する場所までは検出することができない。また、密封容器が必要であるので、船や飛行機等の大型な試料については検出が困難である。したがって、試料の亀裂が存在する場所を検出するためには、従来と同様に、超音波探傷法、渦電流探傷法、磁気探傷法、染色探傷法等の技術を用いる必要がある。

【 0 0 0 7 】

また、下記の特許文献 2 には、染色探傷法のように経験者を必要とせず、未経験者でも傷の有無を容易に判別できる上、染色探傷法のように、染色浸透剤、現像剤の塗布、拭取りを必要とせず、液体の塗布、検査後は液体の自然蒸発を待てばよい亀裂検出方法について述べられている。

30

【 0 0 0 8 】

この亀裂検出方法によれば、亀裂に水やエチルアルコール等の液体を浸透させ、表面を乾燥させた物体の表面を、温度センサやアルコールセンサを用いて走査し、亀裂内部に残っている液体の蒸気の濃度を検出することにより、亀裂の存在を検出することができる。

【 0 0 0 9 】

しかしながら、センサが感知するのは、センサに極めて近い範囲の蒸気であるので、この亀裂検出方法においては、物体表面に沿って物体全体を走査する必要があり、船や飛行機等の大型な物体に対しては、多くの走査時間がかかる。

40

【 0 0 1 0 】

【 特許文献 1 】

特開平 8 - 2 9 4 1 0 号公報 (第 1 ~ 3 頁、図 1)

【 特許文献 2 】

特開昭 5 6 - 1 2 5 5 2 号公報 (第 1 ~ 2 頁、第 1 図)

【 0 0 1 1 】

【 発明が解決しようとする課題 】

そこで、上記の点に鑑み、本発明は、比較的初期の段階においても目視により容易に疲労亀裂を検出することが可能な疲労亀裂の検出方法を提供することを目的とする。さらに、本発明は、疲労亀裂の進展を抑制することができる疲労亀裂の進展抑制方法、及び、それ

50

らの方法に用いられるペーストを提供することを目的とする。

【 0 0 1 2 】

【 課題を解決するための手段 】

以上の課題を解決するため、本発明に係る疲労亀裂の進展抑制方法は、母材の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ (a) と、母材の所望の個所にペーストを塗布するステップ (b) とを具備する。

【 0 0 1 3 】

また、本発明に係る疲労亀裂の検出方法は、母材の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ (a) と、母材の所望の個所にペーストを塗布するステップ (b) と、母材において疲労亀裂が開閉することによって粒子によって母材が研削されて生じた母材粉が、ペーストの表面に移動して生じた色彩の変化に基づいて、疲労亀裂を検出するステップ (c) とを具備する。

10

【 0 0 1 4 】

さらに、本発明に係るペーストは、母材の疲労亀裂の進展を抑制し、又は、母材の疲労亀裂を検出するために、母材の所望の個所に塗布されるペーストであって、粒径が $2 \mu\text{m} \sim 40 \mu\text{m}$ の粒子と、粘性が $5000 \sim 15000 \text{ cP}$ (センチポワズ) の油とを混合して得られる。

【 0 0 1 5 】

本発明によれば、比較的初期の段階においても目視により容易に疲労亀裂を検出することが可能な疲労亀裂の検出方法を提供することができる。さらに、疲労亀裂の進展を抑制することができる疲労亀裂の進展抑制方法、及び、それらの方法に用いられるペーストを提供することができる。

20

【 0 0 1 6 】

【 発明の実施の形態 】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。

まず、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の進展抑制方法について説明する。図 1 は、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の進展抑制方法を説明するための図である。

【 0 0 1 7 】

まず、金属又はセラミック等の微細粒を、適度の粘性を有する油に混合して、ペースト状の微細粒ペーストを作成しておく。図 1 の (A) に示すように、金属や強化プラスチック等の母材 1 において、疲労亀裂の発生及び拡大が予め予想される個所の表面に、この微細粒ペースト 2 を塗布する。

30

【 0 0 1 8 】

ここで、微細粒としては、母材の硬度と同等、又は、それよりも大きい硬度を有する材料を使用することが望ましい。例えば、母材が 200 程度のピッカース硬度を有する金属である場合には、微細粒として、ピッカース硬度が 200 以上の材料を使用する。微細粒の粒径は、ふるいをを用いて、 $2 \mu\text{m} \sim 40 \mu\text{m}$ (平均 $15 \mu\text{m}$) 程度に揃えることが望ましい。

【 0 0 1 9 】

また、微細粒を混合する油としては、例えば、シリコングリースを食用サラダ油で希釈する等により、 $5000 \sim 15000 \text{ cP}$ (センチポワズ) 程度の粘性を有する油を使用する。なお、 $1000 \text{ cP} = 10 \text{ P} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (パスカル秒) である。

40

【 0 0 2 0 】

図 1 の (A) に示すように、外部応力による転位の伝搬によって、金属表面に微小亀裂が発生する。さらに、図 1 の (B) に示すように、引張り荷重が加えられることにより亀裂が開口し、亀裂が進展する。微細粒ペースト 2 は、亀裂の開閉に伴うポンプ作用や亀裂先端の毛細管現象によって、開口した亀裂の内部に入り込む。

【 0 0 2 1 】

ここで、図 1 の (C) に示すように、引張り荷重を除去した場合においても、微細粒ペースト 2 は亀裂の内部にくさびとして残留し、亀裂の閉口を妨げる。したがって、図 1 の (D

50

)に示すように、再び引張り荷重が加えられた場合においても、亀裂面の変位が抑制されるために、亀裂の開閉による亀裂の進展速度を低下させて疲労寿命を延ばすことができる。

【0022】

次に、微細粒ペーストによる亀裂進展抑制効果について、疲労試験の結果に基づいて説明する。図2は、この疲労試験において、微細粒ペーストを塗布する母材として用いる試験片の形状を示す図である。母材としては、板厚5mmのアルミニウム-マグネシウム合金A5083P-O材(日本軽金属製)の試験片を使用した。図2に示すように、試験片の中央部に、直径2mmの穴を形成し、その穴を通過するように、長さ10mmで幅0.3mmの人口切欠きを放電加工により形成した。

10

【0023】

疲労試験は、動的容量98kNの電気-油圧サーボ式疲労試験機を用いて、荷重比 $R = 0$ の完全片振り荷重制御で行った。荷重波形は正弦波とし、制御信号の発生及び荷重データのサンプリングには32ビットCPUのパーソナルコンピュータを用い、サンプリング周波数は200Hzとした。

【0024】

微細粒としては、磁粉探傷用の鉄の磁粉(乾式灰色、太陽物産製)、及び、粒度分布の異なる2種類のアルミナ粒子(パウレックス製)を用いた。これらの微細粒を油に混合し、液垂れしない程度のペースト状にして、試験片の切欠き部及び予想される亀裂進展経路に塗布した。

20

【0025】

図3は、疲労試験の結果において、切欠きの無い部分における公称応力レンジ σ と破断寿命 N_f との関係を示す図である。ここで、印は、何も塗布しない場合の試験結果であり、印は、油のみを塗布した場合の試験結果である。印は、磁粉探傷用の磁粉(Fe)を用いた磁粉ペーストを塗布した場合の試験結果である。

【0026】

また、印は、平均粒径 $47.3 \mu\text{m}$ のアルミナ粒子(Al_2O_3)を用いたアルミナペーストを塗布した場合の試験結果であり、印は、平均粒径 $15.2 \mu\text{m}$ のアルミナ粒子(Al_2O_3)を用いたアルミナペーストを塗布した場合の試験結果である。

【0027】

図3に示すように、油のみを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命と同程度である。それに対し、磁粉ペーストを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命に比べて、18万~25万回程度延びている。したがって、油自体によるくさび効果は無視できる程度であり、磁粉によるくさび効果により破断寿命が延びると考えられる。

30

【0028】

また、平均粒径 $47.3 \mu\text{m}$ のアルミナ粒子を用いたアルミナペーストを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命と同程度である。その理由は、粒径が大きいと、油との懸濁性が悪く、亀裂の先端部分にアルミナ粒子が供給されないことによるものと考えられる。

40

【0029】

それに対し、平均粒径 $15.2 \mu\text{m}$ のアルミナ粒子を用いたアルミナペーストを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命に比べて、40万~70万回程度延びている。この場合に、今回試験した中では最も顕著な亀裂進展抑制効果が得られた。

【0030】

次に、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の検出方法について説明する。図4は、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の検出方法を説明するための図である。本実施形態に係る疲労亀裂の検出方法は、上記において説明した疲労亀裂の進展抑制方法と重複して実施することが可能である。

【0031】

50

本実施形態に係る疲労亀裂の検出方法においては、アルミナやジルコニア等のセラミックのような淡色の微細粒を油に混合することにより、淡色のペースト状の微細粒ペーストを作成する。微細粒に関するその他の条件や、油に関する条件は、上記において説明した疲労亀裂の進展抑制方法におけるのと同様である。本実施形態においては、母材として鉄鋼を用い、微細粒として白色のセラミックを用いる。この場合には、微細粒の硬度は、母材の硬度よりも大きくなる。

【 0 0 3 2 】

図 1 を参照しながら説明したように、亀裂の内部に残留した微細粒ペースト 2 がくさびを形成するために、亀裂の開閉による亀裂の進展を抑制することができる。この亀裂の開閉においては、図 4 の (A) に示すように、引張り荷重を除去すると、亀裂面が閉じようとするため、微細粒のくさびと亀裂面との間に大きな反発力が発生する。したがって、母材よりも相対的に大きい硬度を有する微細粒は、亀裂面を強く圧迫すると共に、亀裂面の一部を研削して亀裂面の母材を粉状化する。また、微細粒も、亀裂面の反発力により砕けて、更に細粒化する。

10

【 0 0 3 3 】

さらに、図 4 の (B) に示すように、母材粉は、亀裂の開閉に伴うポンプ作用により、微細粒ペースト 2 の油及び細粒化した微細粒と混然となって、微細粒ペースト 2 の表面に滲み出る。一般に、金属の粉末は黒色を呈するため、母材粉が混然となった微細粒ペースト 3 は、黒色を呈する。ここで、母材粉が混然となっていない微細粒ペースト 2 は白色であるため、白色と黒色のコントラストにより色彩の変化が生じ、亀裂の位置及び長さ等が容易に視認できる。

20

【 0 0 3 4 】

次に、本実施形態に係る疲労亀裂の検出方法の試験結果について説明する。図 5 は、図 2 に示す形状を有する高張力鋼 S M 4 9 0 A における疲労亀裂の検出状態及び進展状況を示す図である。ここで、図 5 の (A) は、5 7 万 6 千回の延伸を繰り返した後の状態を示す図であり、図 5 の (B) は、6 7 万 2 千回の延伸を繰り返した後の状態を示す図である。なお、図中の上下方向が延伸方向である。

【 0 0 3 5 】

図 5 の (A) に示すように、白色の微細粒ペースト上において、亀裂部分を示す黒色が発色するので、亀裂の位置及び長さ等が容易に視認できる。また、図 5 の (A) における黒色部に比べて、図 5 の (B) における黒色部が延びているように、亀裂の進展状況を容易に視認できる。

30

【 0 0 3 6 】

図 6 は、疲労亀裂の検出方法の別の試験に母材として用いる試験片の形状を示す図である。ここで、図 6 の (A) は、試験片の平面図であり、図 6 の (B) は、試験片の側面図である。図 6 に示すように、この試験片は、平板試験片に溶接で取り付けられた溶接継手を有しており、材質は T M C P (熱加工制御プロセス) 鋼 K 3 2 A である。

【 0 0 3 7 】

図 7 は、図 6 に示す試験片の溶接継手における亀裂の検出状態を示す図である。ここで、図 7 の (A) は、微細粒ペーストを塗布する前の状態を示す図であり、図 7 の (B) は、図中の上下方向に 1 2 0 万回の延伸を繰り返した後の状態を示す図である。

40

【 0 0 3 8 】

図 7 の (A) に示すような溶接継手部分は、疲労亀裂が発生することが容易に想像できる。そこで、疲労亀裂の発生が予想される溶接継手部分に、予め微細粒ペーストを塗布しておく。すると、図 7 の (B) に示すように、1 2 0 万回の延伸を繰り返した後において、白色の微細粒ペースト上において黒色が発色するので、亀裂が発生したことを容易に視認できる。

【 0 0 3 9 】

本実施形態によれば、比較的初期の段階の疲労亀裂においても、目視検査で容易に確認することができ、各種機械や構造物等の安全性の向上に寄与することができる。また、微細

50

粒ペーストがくさびを形成することにより、亀裂の進展が自動的に抑制され、各種機械や構造物等の疲労寿命が延びる。さらに、疲労亀裂の検出及び進展の抑制において、予め、疲労亀裂が発生すると予想される位置に微細粒ペーストを塗布しておくだけで良く、超音波探傷、浸透探傷、又は、磁粉探傷等の非破壊検査手法と比べて実施が遥かに容易且つ安価である。

【0040】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、比較的初期の段階においても目視により容易に疲労亀裂を検出することが可能な疲労亀裂の検出方法を提供することができる。さらに、疲労亀裂の進展を抑制することができる疲労亀裂の進展抑制方法、及び、それらの方法に用いられるペーストを提供することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の進展抑制方法を説明するための図である。

【図2】疲労試験において微細粒ペーストを塗布する母材として用いる試験片の形状を示す図である。

【図3】疲労試験の結果において、公称応力レンジ σ と破断寿命 N_f との関係を示す図である。

【図4】本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の検出方法を説明するための図である。

【図5】図2に示す形状を有する高張力鋼における疲労亀裂の検出状態及び進展状況を示す図である。

20

【図6】疲労亀裂の検出方法の別の試験に母材として用いる試験片の形状を示す図である。

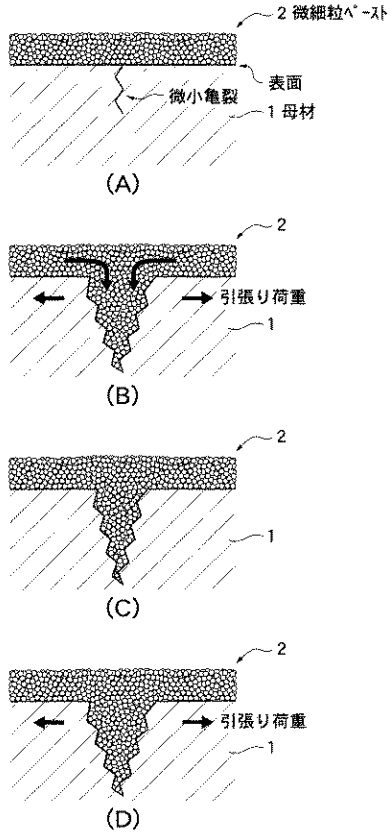
【図7】図6に示す試験片の溶接継手における亀裂の検出状態を示す図である。

【図8】疲労亀裂の発生及び進展を説明するための図である。

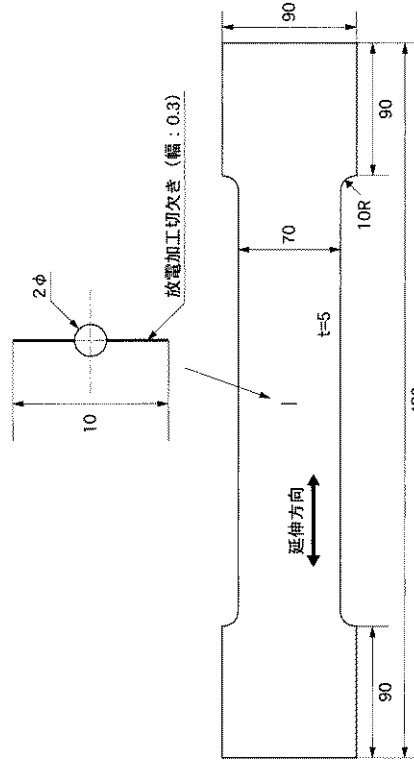
【符号の説明】

- 1 母材
- 2 微細粒ペースト
- 3 母材粉が混然となった微細粒ペースト

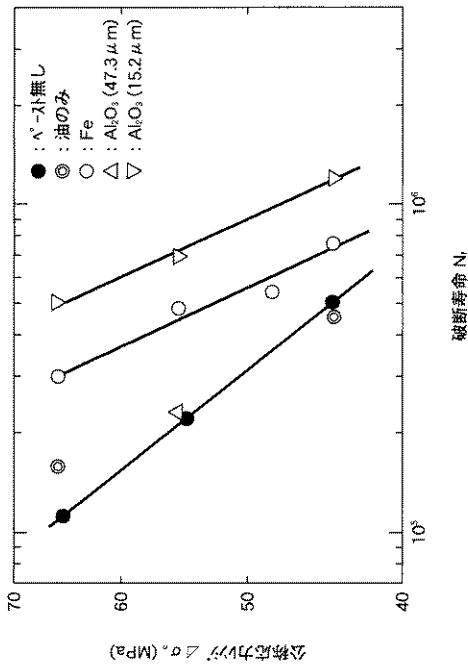
【図1】



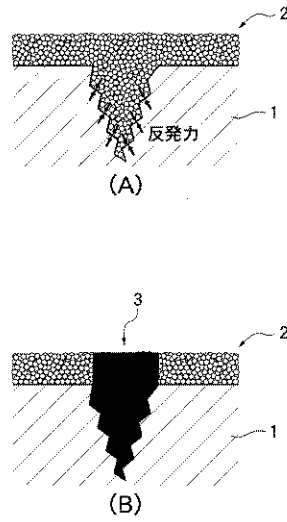
【図2】



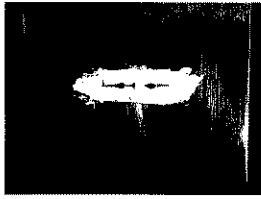
【図3】



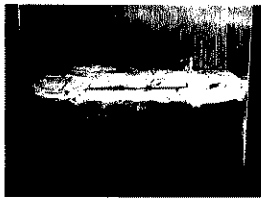
【図4】



【 図 5 】

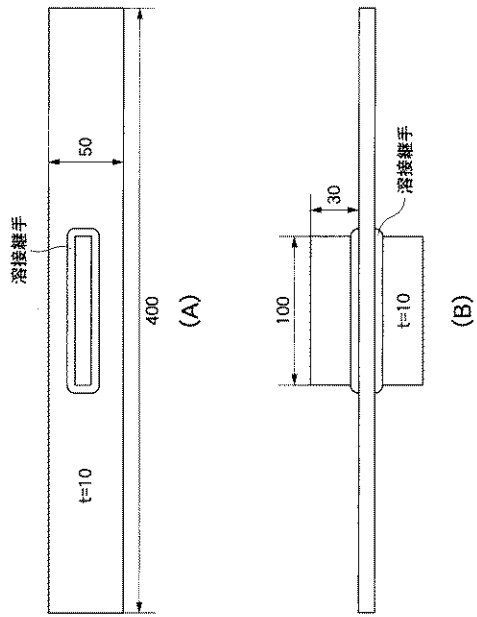


(A)



(B)

【 図 6 】



【 図 7 】

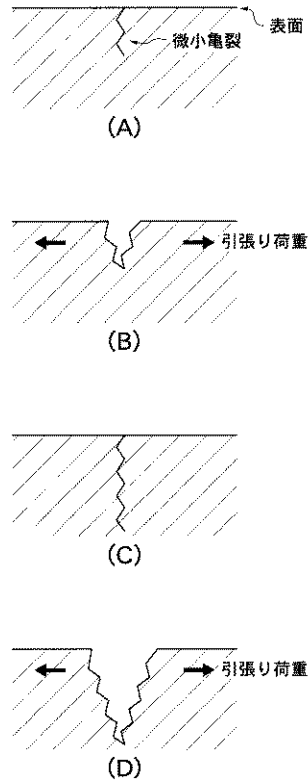


(A)



(B)

【 図 8 】



【手続補正書】

【提出日】平成16年7月2日(2004.7.2)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】母材の疲労亀裂の進展を抑制する方法であって、母材の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ(a)と、

前記母材の所望の個所に前記ペーストを塗布するステップ(b)と、を具備する疲労亀裂の進展抑制方法。

【請求項2】前記粒子の粒径が $2\ \mu\text{m} \sim 40\ \mu\text{m}$ である、請求項1記載の疲労亀裂の進展抑制方法。

【請求項3】ステップ(a)が、粘度が $5000 \sim 15000\ \text{cP}$ (センチポワズ)の油を調整するステップ(a1)と、ステップ(a1)において生成された油に前記粒子を混合するステップ(a2)と、を含む、請求項1又は2記載の疲労亀裂の進展抑制方法。

【請求項4】母材の疲労亀裂を検出する方法であって、母材の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ(a)と、

前記母材の所望の個所に前記ペーストを塗布するステップ(b)と、前記母材において疲労亀裂が開閉することによって前記粒子によって母材が研削されて生じた母材粉が、前記ペーストの表面に移動して生じた色彩の変化に基づいて、疲労亀裂を検出するステップ(c)と、を具備する疲労亀裂の検出方法。

【請求項5】前記粒子が、白色のセラミックスである、請求項4記載の疲労亀裂の検出方法。

【請求項6】ステップ(a)が、粘度が $5000 \sim 15000\ \text{cP}$ (センチポワズ)の油を調整するステップ(a1)と、ステップ(a1)において生成された油に前記粒子を混合するステップ(a2)と、を含む、請求項4又は5記載の疲労亀裂の検出方法。

【請求項7】母材の疲労亀裂の進展を抑制し、又は、母材の疲労亀裂を検出するために、前記母材の所望の個所に塗布されるペーストであって、

粒径が $2\ \mu\text{m} \sim 40\ \mu\text{m}$ の粒子と、粘度が $5000 \sim 15000\ \text{cP}$ (センチポワズ)の油と、を混合して得られたペースト。

【請求項8】前記粒子が、白色のセラミックスである、請求項7記載のペースト。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、金属等の表面に発生する疲労亀裂の進展を抑制する方法、及び、疲労亀裂を検出する方法に関する。さらに、本発明は、それらの方法に用いられるペーストに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、静的な破壊応力よりはるかに小さな応力であっても、その応力を金属に繰返し加えることによって微小亀裂(疲労亀裂)が発生する金属の疲労現象が知られている。この疲労亀裂が発生した部分に、さらに、応力を繰返し加えることによって、疲労亀裂は拡大し、ひいては金属の切断に繋がる。一方、現在の社会において、金属はいたるところに

10

20

30

40

50

使われている。そのため、疲労亀裂の進展の抑制、及び、疲労亀裂の早期検出は、大変重要な課題となっている。

【0003】

図8は、疲労亀裂の発生及び進展を説明するための図である。図8の(A)に示すように、繰返し応力による疲労損傷の蓄積によって、金属表面に微小亀裂が発生する。また、図8の(B)に示すように、引張り荷重が加えられることにより亀裂が開口し、図8の(C)に示すように、引張り荷重の除去により亀裂が閉口する。さらに、図8の(D)に示すように、再び引張り荷重が加えられることにより亀裂が開口する。このように、亀裂の開閉を繰り返すことにより亀裂が進展する。ここで、図8の(A)及び(C)に示すように、引張り荷重が加えられていない場合には、亀裂が閉口しているため、目視による亀裂の検出が困難であるという問題がある。

10

【0004】

関連する技術として、下記の特許文献1には、外観は黒色不透明で表面は粗面で様々な形状をした立体物を対象に、部位も方向もランダムに発生するクラックを、量産ラインで使用可能な、高速、高感度、非破壊で検出する亀裂検出方法について述べられている。

【0005】

この亀裂検出方法によれば、亀裂にアセトンやベンゼン等の揮発性溶媒を浸透させ、表面を乾燥させた試料を密封容器の中に静置して、試料の表面を沿って流れるヘリウムや窒素等のキャリアガスに、気化することにより混入した揮発性溶媒の濃度を検出することにより、亀裂が存在することを簡単に検出することができる。

20

【0006】

しかしながら、この亀裂検出方法においては、亀裂が存在することを検出した場合でも、試料の亀裂が存在する場所までは検出することができない。また、密封容器が必要であるので、船や飛行機等の大型な試料については検出が困難である。したがって、試料の亀裂が存在する場所を検出するためには、従来と同様に、超音波探傷法、渦電流探傷法、磁気探傷法、染色探傷法等の技術を用いる必要がある。

【0007】

また、下記の特許文献2には、染色探傷法のように経験者を必要とせず、未経験者でも傷の有無を容易に判別できる上、染色探傷法のように、染色浸透剤、現像剤の塗布、拭取りを必要とせず、液体の塗布、検査後は液体の自然蒸発を待てばよい亀裂検出方法について述べられている。

30

【0008】

この亀裂検出方法によれば、亀裂に水やエチルアルコール等の液体を浸透させ、表面を乾燥させた物体の表面を、温度センサやアルコールセンサを用いて走査し、亀裂内部に残っている液体の蒸気の濃度を検出することにより、亀裂の存在を検出することができる。

【0009】

しかしながら、センサが感知するのは、センサに極めて近い範囲の蒸気であるので、この亀裂検出方法においては、物体表面に沿って物体全体を走査する必要があり、船や飛行機等の大型な物体に対しては、多くの走査時間がかかる。

【0010】

40

【特許文献1】

特開平8-29410号公報 (第1~3頁、図1)

【特許文献2】

特開昭56-12552号公報 (第1~2頁、第1図)

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

そこで、上記の点に鑑み、本発明は、比較的初期の段階においても目視により容易に疲労亀裂を検出することが可能な疲労亀裂の検出方法を提供することを目的とする。さらに、本発明は、疲労亀裂の進展を抑制することができる疲労亀裂の進展抑制方法、及び、それらの方法に用いられるペーストを提供することを目的とする。

50

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】

以上の課題を解決するため、本発明に係る疲労亀裂の進展抑制方法は、母材の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ（a）と、母材の所望の個所にペーストを塗布するステップ（b）とを具備する。

【 0 0 1 3 】

また、本発明に係る疲労亀裂の検出方法は、母材の硬度以上の硬度を有する粒子と粘性を有する油とが混合されたペーストを準備するステップ（a）と、母材の所望の個所にペーストを塗布するステップ（b）と、母材において疲労亀裂が開閉することによって粒子によって母材が研削されて生じた母材粉が、ペーストの表面に移動して生じた色彩の変化に基づいて、疲労亀裂を検出するステップ（c）とを具備する。

10

【 0 0 1 4 】

さらに、本発明に係るペーストは、母材の疲労亀裂の進展を抑制し、又は、母材の疲労亀裂を検出するために、母材の所望の個所に塗布されるペーストであって、粒径が $2\ \mu\text{m} \sim 40\ \mu\text{m}$ の粒子と、粘度が $5000 \sim 15000\ \text{cP}$ （センチポワズ）の油とを混合して得られる。

【 0 0 1 5 】

本発明によれば、比較的初期の段階においても目視により容易に疲労亀裂を検出することが可能な疲労亀裂の検出方法を提供することができる。さらに、疲労亀裂の進展を抑制することができる疲労亀裂の進展抑制方法、及び、それらの方法に用いられるペーストを提供することができる。

20

【 0 0 1 6 】

【発明の実施の形態】

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。

まず、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の進展抑制方法について説明する。図1は、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の進展抑制方法を説明するための図である。

【 0 0 1 7 】

まず、金属又はセラミックス等の微細粒を、適度の粘性を有する油に混合して、ペースト状の微細粒ペーストを作成しておく。図1の（A）に示すように、金属や強化プラスチック等の母材1において、疲労亀裂の発生及び拡大が予め予想される個所の表面に、この微細粒ペースト2を塗布する。

30

【 0 0 1 8 】

ここで、微細粒としては、母材の硬度と同等、又は、それよりも大きい硬度を有する材料を使用することが望ましい。例えば、母材が200程度のビッカース硬度を有する金属である場合には、微細粒として、ビッカース硬度が200以上の材料を使用する。微細粒の粒径は、ふるいを用いて、 $2\ \mu\text{m} \sim 40\ \mu\text{m}$ （平均 $15\ \mu\text{m}$ ）程度に揃えることが望ましい。

【 0 0 1 9 】

また、微細粒を混合する油としては、 $5000 \sim 15000\ \text{cP}$ （センチポワズ）程度の粘度を有する油を使用する。なお、 $1000\ \text{cP} = 10\ \text{P} = 1\ \text{Pa} \cdot \text{s}$ （パスカル秒）である。特に、例えばシリコングリース等の様に、温度変化による粘度の変化が小さい油を使用することが望ましい。

40

【 0 0 2 0 】

図1の（A）に示すように、繰返し応力による疲労損傷の蓄積によって、金属表面に微小亀裂が発生する。さらに、図1の（B）に示すように、引張り荷重が加えられることにより亀裂が開口し、亀裂が進展する。微細粒ペースト2は、亀裂の開閉に伴うポンプ作用や亀裂先端の毛細管現象によって、開口した亀裂の内部に入り込む。

【 0 0 2 1 】

ここで、図1の（C）に示すように、引張り荷重を除去した場合においても、微細粒ペースト2は亀裂の内部にくさびとして残留し、亀裂の閉口を妨げる。したがって、図1の（

50

D) に示すように、再び引張り荷重が加えられた場合においても、亀裂面の変位が抑制されるために、亀裂の開閉による亀裂の進展速度を低下させて疲労寿命を延ばすことができる。

【0022】

次に、微細粒ペーストによる亀裂進展抑制効果について、疲労試験の結果に基づいて説明する。図2は、この疲労試験において、微細粒ペーストを塗布する母材として用いる試験片の形状を示す図である。母材としては、板厚5mmのアルミニウム-マグネシウム合金A5083P-O材(日本軽金属製)の試験片を使用した。図2に示すように、試験片の中央部に、直径2mmの穴を形成し、その穴を通過するように、長さ10mmで幅0.3mmの人工切欠きを放電加工により形成した。

10

【0023】

疲労試験は、動的容量98kNの電気-油圧サーボ式疲労試験機を用いて、荷重比 $R = 0$ の完全片振り荷重制御で行った。荷重波形は正弦波とし、制御信号の発生及び荷重データのサンプリングには32ビットCPUのパーソナルコンピュータを用い、サンプリング周波数は200Hzとした。

【0024】

微細粒としては、磁粉探傷用の鉄の磁粉(乾式灰色、太陽物産製)、及び、粒度分布の異なる2種類のアルミナ粒子(パウレックス製)を用いた。これらの微細粒を油に混合し、液垂れしない程度のペースト状にして、試験片の切欠き部及び予想される亀裂進展経路に塗布した。

20

【0025】

図3は、疲労試験の結果において、切欠きの無い部分における公称応力レンジ σ と破断寿命 N_f との関係を示す図である。ここで、印は、何も塗布しない場合の試験結果であり、印は、油のみを塗布した場合の試験結果である。印は、磁粉探傷用の磁粉(Fe)を用いた磁粉ペーストを塗布した場合の試験結果である。

【0026】

また、印は、平均粒径 $47.3\mu\text{m}$ のアルミナ粒子(Al_2O_3)を用いたアルミナペーストを塗布した場合の試験結果であり、印は、平均粒径 $15.2\mu\text{m}$ のアルミナ粒子(Al_2O_3)を用いたアルミナペーストを塗布した場合の試験結果である。

【0027】

図3に示すように、油のみを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命と同程度である。それに対し、磁粉ペーストを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命に比べて、18万~25万回程度延びている。したがって、油自体によるくさび効果は無視できる程度であり、磁粉によるくさび効果により破断寿命が延びると考えられる。

30

【0028】

また、平均粒径 $47.3\mu\text{m}$ のアルミナ粒子を用いたアルミナペーストを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命と同程度である。その理由は、粒径が大きいと、油との懸濁性が悪く、亀裂の先端部分にアルミナ粒子が供給されないことによるものと考えられる。

40

【0029】

それに対し、平均粒径 $15.2\mu\text{m}$ のアルミナ粒子を用いたアルミナペーストを塗布した場合の破断寿命は、何も塗布しない場合の破断寿命に比べて、40万~70万回程度延びている。この場合に、今回試験した中では最も顕著な亀裂進展抑制効果が得られた。

【0030】

次に、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の検出方法について説明する。図4は、本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の検出方法を説明するための図である。本実施形態に係る疲労亀裂の検出方法は、上記において説明した疲労亀裂の進展抑制方法と重複して実施することが可能である。

【0031】

50

本実施形態に係る疲労亀裂の検出方法においては、アルミナやジルコニア等のセラミックスのような淡色の微細粒を油に混合することにより、淡色のペースト状の微細粒ペーストを作成する。微細粒に関するその他の条件や、油に関する条件は、上記において説明した疲労亀裂の進展抑制方法におけるのと同様である。本実施形態においては、母材として鉄鋼を用い、微細粒として白色のセラミックスを用いる。この場合には、微細粒の硬度は、母材の硬度よりも大きくなる。

【 0 0 3 2 】

図 1 を参照しながら説明したように、亀裂の内部に残留した微細粒ペースト 2 がくさびを形成するために、亀裂の開閉による亀裂の進展を抑制することができる。この亀裂の開閉においては、図 4 の (A) に示すように、引張り荷重を除去すると、亀裂面が閉じようとするため、微細粒のくさびと亀裂面との間に大きな反発力が発生する。したがって、母材よりも相対的に大きい硬度を有する微細粒は、亀裂面を強く圧迫すると共に、亀裂面の一部を研削して亀裂面の母材を粉状化する。また、微細粒も、亀裂面の反発力により砕けて、更に細粒化する。

10

【 0 0 3 3 】

さらに、図 4 の (B) に示すように、母材粉は、亀裂の開閉に伴うポンプ作用により、微細粒ペースト 2 の油及び細粒化した微細粒と混然となって、微細粒ペースト 2 の表面に滲み出る。一般に、金属の粉末は黒色を呈するため、母材粉が混然となった微細粒ペースト 3 は、黒色を呈する。ここで、母材粉が混然となっていない微細粒ペースト 2 は白色であるため、白色と黒色のコントラストにより色彩の変化が生じ、亀裂の位置及び長さ等が容易に視認できる。

20

【 0 0 3 4 】

次に、本実施形態に係る疲労亀裂の検出方法の試験結果について説明する。図 5 は、図 2 に示す形状を有する高張力鋼 S M 4 9 0 A における疲労亀裂の検出状態及び進展状況を示す図である。ここで、図 5 の (A) は、5 7 万 6 千回の延伸を繰り返した後の状態を示す図であり、図 5 の (B) は、6 7 万 2 千回の延伸を繰り返した後の状態を示す図である。なお、図中の上下方向が延伸方向である。

【 0 0 3 5 】

図 5 の (A) に示すように、白色の微細粒ペースト上において、亀裂部分を示す黒色が発色するので、亀裂の位置及び長さ等が容易に視認できる。また、図 5 の (A) における黒色部に比べて、図 5 の (B) における黒色部が延びているように、亀裂の進展状況を容易に視認できる。

30

【 0 0 3 6 】

図 6 は、疲労亀裂の検出方法の別の試験に用いる試験片の形状を示す図である。ここで、図 6 の (A) は、試験片の平面図であり、図 6 の (B) は、試験片の側面図である。図 6 に示すように、この試験片は、1 枚の主板に 2 枚のリブ板を溶接により接合した溶接継手試験片であり、材質は T M C P (熱加工制御プロセス) 鋼 K 3 2 A である。

【 0 0 3 7 】

図 7 は、図 6 に示す溶接継手試験片における亀裂の検出状態を示す図である。ここで、図 7 の (A) は、微細粒ペーストを塗布する前の状態を示す図であり、図 7 の (B) は、図中の上下方向に 1 2 0 万回の延伸を繰り返した後の状態を示す図である。

40

【 0 0 3 8 】

図 7 の (A) に示すような溶接部は、疲労亀裂が発生することが容易に想像できる。そこで、疲労亀裂の発生が予想される溶接部に、予め微細粒ペーストを塗布しておく。すると、図 7 の (B) に示すように、1 2 0 万回の延伸を繰り返した後において、白色の微細粒ペースト上において黒色が発色するので、亀裂が発生したことを容易に視認できる。

【 0 0 3 9 】

本実施形態によれば、比較的初期の段階の疲労亀裂においても、目視検査で容易に確認することができるので、各種機械や構造物等の安全性の向上に寄与することができる。また、微細粒ペーストがくさびを形成することにより、亀裂の進展が自動的に抑制され、各種機械や

50

構造物等の疲労寿命が延びる。さらに、疲労亀裂の検出及び進展の抑制において、予め、疲労亀裂が発生すると予想される位置に微細粒ペーストを塗布しておくだけで良く、超音波探傷、浸透探傷、又は、磁粉探傷等の非破壊検査手法と比べて実施が遥かに容易且つ安価である。

【 0 0 4 0 】

【 発明の効果 】

以上述べたように、本発明によれば、比較的初期の段階においても目視により容易に疲労亀裂を検出することが可能な疲労亀裂の検出方法を提供することができる。さらに、疲労亀裂の進展を抑制することができる疲労亀裂の進展抑制方法、及び、それらの方法に用いられるペーストを提供することができる。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の進展抑制方法を説明するための図である。

【 図 2 】 疲労試験において微細粒ペーストを塗布する母材として用いる試験片の形状を示す図である。

【 図 3 】 疲労試験の結果において、公称応力レンジ σ_n と破断寿命 N_f との関係を示す図である。

【 図 4 】 本発明の一実施形態に係る疲労亀裂の検出方法を説明するための図である。

【 図 5 】 図 2 に示す形状を有する高張力鋼における疲労亀裂の検出状態及び進展状況を示す図である。

【 図 6 】 疲労亀裂の検出方法の別の試験に用いる溶接継手試験片の形状を示す図である。

20

【 図 7 】 図 6 に示す溶接継手試験片の溶接部における亀裂の検出状態を示す図である。

【 図 8 】 疲労亀裂の発生及び進展を説明するための図である。

【 符号の説明 】

- 1 母材
- 2 微細粒ペースト
- 3 母材粉が混然となった微細粒ペースト

フロントページの続き

(72)発明者 高橋 千織

東京都三鷹市新川 6 - 3 8 - 1 海上技術安全研究所内

Fターム(参考) 2G051 AA00 AB03 GE01

2G055 AA01 BA11 FA02

2G061 AB06 BA15 CB19 EA02 EA10 EB10