

(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2021-103167
(P2021-103167A)

(43) 公開日 令和3年7月15日(2021.7.15)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 17/00 (2006.01)	GO 1 N 17/00	2G050
B 2 3 P 6/04 (2006.01)	B 2 3 P 6/04	2G051
GO 1 N 33/2045 (2019.01)	GO 1 N 33/2045 100	2G055
GO 1 N 21/88 (2006.01)	GO 1 N 21/88 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 37 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2020-212641 (P2020-212641)	(71) 出願人 501204525 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(22) 出願日 令和2年12月22日(2020.12.22)	
(31) 優先権主張番号 特願2019-232844 (P2019-232844)	(74) 代理人 100098545 弁理士 阿部 伸一
(32) 優先日 令和1年12月24日(2019.12.24)	(74) 代理人 100189717 弁理士 太田 貴章
(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)	(72) 発明者 高橋 一比古 東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内
	Fターム(参考) 2G050 AA01 BA02 BA10 BA12 EA01 EA02 EB03 EC05 2G051 AA90 AB03 2G055 AA03 BA12 FA02 FA06

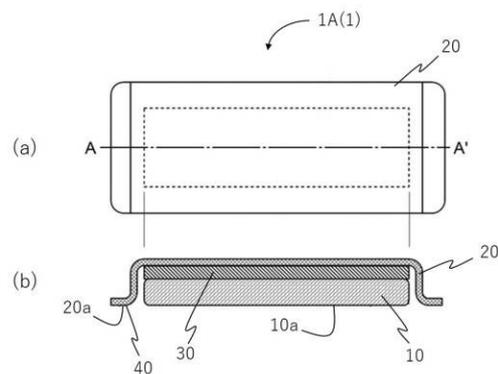
(54) 【発明の名称】 疲労亀裂の進展抑制／検出方法、及び疲労亀裂の進展抑制／検出シート

(57) 【要約】

【課題】 湿潤腐食環境を現場で簡便かつ局所限定的に作り出し、生じさせた腐食生成物のくさび効果により、従来は困難であった亀裂先端部においても、亀裂の進展を効果的に抑制することができ、また亀裂を目視により容易に検出することができる疲労亀裂の進展抑制／検出方法、及び疲労亀裂の進展抑制／検出シートを提供すること。

【解決手段】 金属製の母材2の疲労亀裂3の開口部3a、3bに水を保有する含水材10を臨ませ、含水材10を水の乾燥を防止するシート手段20により覆って設け、含水材10の水と大気又は酸化剤から供給される酸素により、疲労亀裂3の内部を湿潤腐食環境に保持して母材2の腐食生成物を生じさせ、膨張する腐食生成物のくさび効果により疲労亀裂3の進展を抑制する及び／又は母材2の腐食生成物による変色により疲労亀裂3の進展を検出する。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

母材の疲労亀裂の進展を抑制 / 検出する疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法であって、金属製の前記母材の前記疲労亀裂の開口部に水を保有する含水材を臨ませ、前記含水材を前記水の乾燥を防止するシート手段により覆って設け、前記含水材の前記水と大気又は酸化剤から供給される酸素により、前記疲労亀裂の内部を湿潤腐食環境に保持して前記母材の腐食生成物を生じさせ、膨張する前記腐食生成物のくさび効果により前記疲労亀裂の進展を抑制する及び / 又は前記母材の腐食生成物による変色により前記疲労亀裂の進展を検出することを特徴とする疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 2】

前記シート手段が通気性を有し、前記シート手段を介して前記酸素が供給されることを特徴とする請求項 1 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 3】

前記シート手段により覆って設けられた前記酸化剤から前記酸素が供給されることを特徴とする請求項 1 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 4】

前記疲労亀裂が前記母材を貫通する貫通亀裂である場合、前記含水材と前記シート手段又は前記シート手段で覆われた前記酸化剤を前記貫通亀裂の裏側の開口部に臨ませ、前記貫通亀裂の表側の開口部を介して及び / 又は通気性を有した前記シート手段もしくは前記酸化剤から供給される前記酸素を利用することを特徴とする請求項 1 又は請求項 3 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 5】

前記シート手段が通気性を有さず、前記表側の開口部を介して供給される前記酸素を利用することを特徴とする請求項 4 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 6】

前記貫通亀裂の前記表側の開口部を乾燥防止膜で覆ったことを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 7】

前記シート手段が通気性を有さず、前記表側の開口部に前記酸化剤を塗布することを特徴とする請求項 4 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 8】

前記表側の開口部への前記酸化剤の塗布を前記疲労亀裂の進展に伴い断続的に繰り返すことを特徴とする請求項 7 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 9】

前記貫通亀裂の前記表側の開口部に前記含水材と前記シート手段又は前記シート手段で覆われた前記酸化剤を設けたことを特徴とする請求項 4 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 10】

前記含水材と前記シート手段又は前記シート手段で覆われた前記酸化剤を前記母材の前記疲労亀裂の発生するおそれのある箇所に予め設けたことを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 11】

前記含水材の前記水が少なくなったら前記含水材を取り換えることを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 12】

前記母材の板厚に応じて前記含水材の厚みを変えたことを特徴とする請求項 1 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 13】

前記含水材に複数の孔部を設けて通気を行うとともに、前記孔部をスリット形状として前記疲労亀裂の予想進展経路上に臨ませたことを特徴とする請求項 1 から請求項 9 のい

10

20

30

40

50

れか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 1 4】

前記含水材に複数の孔部を設けて前記酸化剤を収納するとともに、前記孔部をスリット形状として前記疲労亀裂の予想進展経路上に臨ませたことを特徴とする請求項 1 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 1 5】

前記スリット形状を成した複数の前記孔部の間隔を、前記疲労亀裂の長さ及び / 又は亀裂進展速度に応じて増減したことを特徴とする請求項 1 3 又は請求項 1 4 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 1 6】

前記母材が磁性を有する場合、磁力を有した前記シート手段を前記母材に吸着させて設けたことを特徴とする請求項 1 から請求項 1 5 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 1 7】

前記シート手段と前記含水材との間に設けられ前記母材と電気的に接続された前記母材よりもイオン化傾向の小さい流電陰極により、前記母材からの前記腐食生成物の発生を促進することを特徴とする請求項 1 から請求項 1 6 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 1 8】

前記シート手段と前記含水材との間に設けた耐久電極と前記母材との間に直流電流を流し、前記母材からの前記腐食生成物の発生を促進することを特徴とする請求項 1 から請求項 1 6 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 1 9】

前記母材の材質が鋼又は鉄であり、前記疲労亀裂の前記腐食生成物として赤錆が発生した場合に、錆転換剤を用いて黒錆に変質させることを特徴とする請求項 1 から請求項 1 8 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 2 0】

前記母材の設置環境が寒冷の場合、加熱手段により前記シート手段の外側から、又は前記シート手段に設けた前記加熱手段により、前記疲労亀裂を適切な温度まで加熱することを特徴とする請求項 1 から請求項 1 9 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法。

【請求項 2 1】

母材の疲労亀裂の進展を抑制 / 検出する疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートであって、金属製の前記母材に生じた前記疲労亀裂の開口部に臨ませる水を保有する含水材と、前記含水材の表面を覆う前記水の乾燥を防止するシート手段と、前記シート手段を介して前記含水材を前記開口部に臨ませる貼付手段とを備え、前記含水材の前記水と大気から供給される酸素により、前記疲労亀裂の内部を湿潤腐食環境に保持することを可能としたことを特徴とする疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 2 2】

母材の疲労亀裂の進展を抑制 / 検出する疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートであって、金属製の前記母材に生じた前記疲労亀裂の開口部に臨ませる水を保有する含水材と、前記含水材の表面を覆う前記水の乾燥を防止するシート手段と、前記シート手段で覆われた酸化剤と、前記シート手段を介して前記含水材を前記開口部に臨ませる貼付手段とを備え、前記含水材の前記水と前記酸化剤から供給される酸素により、前記疲労亀裂の内部を湿潤腐食環境に保持することを可能としたことを特徴とする疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 2 3】

前記含水材が、前記水を保有する含水ジェルから成ることを特徴とする請求項 2 1 又は請求項 2 2 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 2 4】

前記シート手段が、前記酸素の透過可能な微小空気孔を有したことを特徴とする請求項

10

20

30

40

50

2 1 から請求項 2 3 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 2 5】

前記シート手段が、前記酸素を透過しないことを特徴とする請求項 2 1 から請求項 2 3 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 2 6】

前記含水材と前記シート手段の間に、柔軟性のある材料で構成された支持体を有したことを特徴とする請求項 2 1 から請求項 2 5 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 2 7】

前記含水材が、少なくとも前記含水材の表面から底面まで貫通する複数の孔部を有したことを特徴とする請求項 2 1 から請求項 2 6 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

10

【請求項 2 8】

前記含水材の前記孔部に適合する酸化剤収納手段に、前記酸化剤を収納したことを特徴とする請求項 2 2 を引用する請求項 2 7 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 2 9】

前記酸化剤収納手段は、上面が閉塞し下部に開口を有した形状であり、内部にジェル状又は流体の前記酸化剤を満たした構成、又はジェル状又は固体の前記酸化剤を下端面との間に一定の空隙を設けた構成であることを特徴とする請求項 2 8 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

20

【請求項 3 0】

前記酸化剤収納手段は、前記開口の開口面積又は前記開口を覆うガス透過性の膜体により、前記酸化剤もしくは前記酸化剤からの酸化性ガスの供給量を調整する機能を有することを特徴とする請求項 2 9 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 3 1】

前記酸化剤収納手段は、前記含水材と支持体を貫通して前記シート手段の表面に臨み、閉塞した前記上面を開閉可能に構成することにより、外部からの前記酸化剤の補給を可能としたことを特徴とする請求項 2 9 又は請求項 3 0 に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 3 2】

前記シート手段に、短冊状に形成された前記含水材と前記支持体のセットを、間隔を有して複数並べたことを特徴とする請求項 2 6 から請求項 3 1 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

30

【請求項 3 3】

前記シート手段が、柔軟性を有し透明又は半透明であることを特徴とする請求項 2 1 から請求項 3 2 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 3 4】

前記シート手段が、磁力を有したマグネットシートであり、前記マグネットシートが磁性を有した前記母材への前記貼付手段を兼ねたことを特徴とする請求項 2 1 から請求項 3 3 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

40

【請求項 3 5】

前記シート手段と前記含水材との間に、前記母材と電氣的に直接、又は導線を介して接触可能な前記母材よりもイオン化傾向の小さい流電陰極をさらに備えたことを特徴とする請求項 2 1 から請求項 3 4 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 3 6】

前記シート手段と前記含水材の間に設けた耐久電極と、前記耐久電極と前記母材との間に直流電流を流す直流電源手段とをさらに備えたことを特徴とする請求項 2 1 から請求項 3 4 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【請求項 3 7】

前記シート手段に前記疲労亀裂を加熱するための加熱手段を有したことを特徴とする請

50

求項 2 1 から請求項 3 6 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、船舶、橋梁、車輛、航空機、工作機械等の各種構造物の母材に生じる疲労亀裂の進展を抑制又は検出する疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法、及び疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートに関する。

【背景技術】

【0002】

船舶、橋梁、車輛、航空機、工作機械等の各種構造物は、鉄、アルミニウム等の金属やそれらの合金（鋼、アルミニウム合金等）を材料とした母材（金属製構造部材、溶接部を含む）により主として構成されているが、これらの母材に繰り返し荷重が作用すると、金属疲労によって特にその応力集中部に亀裂を生じることがある。このような疲労亀裂は、時間が経過して荷重繰り返し数が増大すると共に徐々に進展し、亀裂長さが構造的な限界を超えると重大な損傷や事故に繋がる恐れがあるため、亀裂が十分短いうちに発見し、その進展を効果的に抑制あるいは停止させる方策を講じる必要がある。

ここで、特許文献 1 及び 2 には、疲労亀裂の進展抑制方法及び検出方法が記載されており、母材の硬度以上の硬度を有する微細粒と粘性を有する油とが混合されたペーストを構造物表面に塗布し、構造物に亀裂が生じた際には亀裂内にペーストが流入し、微細粒のくさび効果により疲労亀裂の進展抑制を行い、さらには微細粒に研削された金属母材粉が黒色に変色してペースト表面で発色することにより亀裂発生及び進展箇所を検出できることが記載されている。

【0003】

一方、非特許文献 1 には、腐食生成物のくさび効果として、亀裂内に生じた腐食生成物が亀裂開口応力を上昇させ、亀裂先端の応力振幅を減少させることにより、亀裂進展速度が抑制される場合があることが示されている。腐食環境下における疲労亀裂の進展挙動は、上記のような腐食生成物のくさび効果による亀裂進展の抑制作用と、亀裂面からの金属イオンの溶出、即ち腐食溶解による亀裂進展の加速作用という相反する二つの作用のせめぎ合いとなるため、前者の抑制作用が相対的に卓越して支配的となるような適度な（浸漬状態のように亀裂面の金属イオンが著しく溶出することなく、亀裂面上に適度の腐食生成物（錆）が生じる程度の）湿潤腐食環境を亀裂内に作り出すことにより、亀裂の進展を効果的に抑制することが可能となる。

このような適度の湿潤腐食環境の一例として、非特許文献 2 には、海洋構造物の飛沫帯のように乾湿サイクルが繰り返されると亀裂内には密着性のよい錆層が形成され、くさび効果が顕著に現れることが示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2005 - 028462 号公報

【特許文献 2】特開 2009 - 214254 号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】駒井謙治郎、敷田卓祐、遠藤吉郎：腐食疲労き裂進展における腐食生成物のくさび効果に関する研究、日本機械学会論文集（A編）、50巻456号（1984）、pp.1453-1460.

【非特許文献 2】駒井謙治郎：腐食疲労研究の現状と展望、鉄と鋼、第69年(1983)、第7号、pp.728-736.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

10

20

30

40

50

特許文献 1 又は 2 に示された方法において微細粒が入り込めるのはその粒径以上に亀裂が開口した部分までであり、微細粒が入り込めない亀裂の先端部分には原理的にくさびを形成することができず、亀裂先端部ではくさび効果による亀裂進展抑制効果が作用しない。また、くさびを形成しない亀裂の先端部分では微細粒に研削された金属母材粉が黒色に変色してペースト表面で発色することもないので、実際の亀裂長さと黒色発色域の長さとの間には若干のずれが生じることが多い（亀裂長さ 黒色発色域の長さ）。更に、ペーストは適度の流動性を有した粘性流体である必要があり、他の物体との接触や流体による圧力等の外的要因によって除去される可能性がある。特許文献 2 にはペーストを保護するための樹脂製防護膜についても記載されているが、樹脂製の防護膜を形成するには相応の手間と時間がかかるし、防護膜が耐え得る外圧には限界がある。

10

また、非特許文献 2 に示される海洋構造物とは違い、通常の構造物の亀裂検出現場において人工的に乾湿サイクルを実現するには相応の設備や手間が必要となるし、加えて噴霧や浸漬等の手段を亀裂の開口部のみに対して局所限定的に用いるのは困難であり、亀裂と無関係な構造部位の腐食劣化を招いてしまう恐れがある。

【 0 0 0 7 】

一方、浸漬状態のように亀裂面の金属イオンが著しく溶出することがなく、亀裂面上に適度の腐食生成物（錆）が生じる程度の湿潤腐食環境を現場で簡便かつ局所限定的に作り出し、そのまま一定の期間保持できるような技術は見当たらない。

そこで本発明は、上記のような湿潤腐食環境を現場で簡便かつ局所限定的に作り出し、生じさせた腐食生成物のくさび効果により、従来は困難であった亀裂先端部においても、亀裂の進展を効果的に抑制することができ、また亀裂を目視により容易に検出することができる疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法、及び疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートを提供することを目的とする。

20

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

請求項 1 記載に対応した疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法においては、母材の疲労亀裂の進展を抑制 / 検出する疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法であって、金属製の母材の疲労亀裂の開口部に水を保有する含水材を臨ませ、含水材を水の乾燥を防止するシート手段により覆って設け、含水材の水と大気又は酸化剤から供給される酸素により、疲労亀裂の内部を湿潤腐食環境に保持して母材の腐食生成物を生じさせ、膨張する腐食生成物のくさび効果により疲労亀裂の進展を抑制する及び / 又は母材の腐食生成物による変色により疲労亀裂の進展を検出することを特徴とする。

30

請求項 1 に記載の本発明によれば、浸漬状態のように亀裂面の金属イオンが著しく溶出することがなく、亀裂面上に適度の腐食生成物（錆）が生じる程度の湿潤腐食環境を現場で簡便かつ局所限定的に作り出し、生じさせた腐食生成物のくさび効果により、従来は困難であった亀裂先端部においても、亀裂の進展を効果的に抑制することができ、また亀裂を目視により容易に検出することが可能となる。さらに、外圧や接触に強いため、施工性や耐環境性を向上させることができる。

なお、母材とは金属製構造部材、金属製構造部材とその溶接部、及び金属製構造部材の溶接部そのものを含むものとする。また、母材には塗膜を含めてもよいものとする。また、水には一般的な水以外にも、NaCl 等の無機塩類を溶解させた水、水と同様に腐食を生じる電解質を含有した液体等を含むものとする。

40

【 0 0 0 9 】

請求項 2 記載の本発明は、シート手段が通気性を有し、シート手段を介して酸素が供給されることを特徴とする。

請求項 2 に記載の本発明によれば、疲労亀裂内へ供給される酸素の量を確保して腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 1 0 】

請求項 3 記載の本発明は、シート手段により覆って設けられた酸化剤から酸素が供給されることを特徴とする。

50

請求項 3 に記載の本発明によれば、酸化剤から疲労亀裂内へ酸素が滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。

なお、酸化剤から供給される酸素には、酸素以外にもオゾンや一酸化窒素等の酸化性ガスを含むものとする。

【 0 0 1 1 】

請求項 4 に記載の本発明は、疲労亀裂が母材を貫通する貫通亀裂である場合、含水材とシート手段又はシート手段で覆われた酸化剤を貫通亀裂の裏側の開口部に臨ませ、貫通亀裂の表側の開口部を介して及び / 又は通気性を有したシート手段もしくは酸化剤から供給される酸素を利用することを特徴とする。

請求項 4 に記載の本発明によれば、疲労亀裂内へ供給される酸素の量を確保して腐食生成物を生じさせやすくできる。

なお、表側と裏側とは母材の設置現場における表側と裏側とは無関係である。また、亀裂は母材の表側から裏側への貫通にも母材の横方向にも進展し得る。

【 0 0 1 2 】

請求項 5 に記載の本発明は、シート手段が通気性を有さず、表側の開口部を介して供給される酸素を利用することを特徴とする。

請求項 5 に記載の本発明によれば、裏側の開口部に臨ませた含水材の乾燥を防止しつつ、表側の開口部から酸素を疲労亀裂内に供給して腐食生成物を生じさせることができる。

【 0 0 1 3 】

請求項 6 に記載の本発明は、貫通亀裂の表側の開口部を乾燥防止膜で覆ったことを特徴とする。

請求項 6 に記載の本発明によれば、開口部から放出される水蒸気の量を少なくして含水材の過度の乾燥を防止することができる。

【 0 0 1 4 】

請求項 7 に記載の本発明は、シート手段が通気性を有さず、表側の開口部に酸化剤を塗布することを特徴とする。

請求項 7 に記載の本発明によれば、裏側の開口部に臨ませた含水材の乾燥を防止しつつ、表側の開口部から酸素等の酸化性ガスを疲労亀裂内に供給して腐食生成物を生じさせることができる。

【 0 0 1 5 】

請求項 8 に記載の本発明は、表側の開口部への酸化剤の塗布を疲労亀裂の進展に伴い断続的に繰り返すことを特徴とする。

請求項 8 に記載の本発明によれば、亀裂進展の初期段階から終盤に至るまで進展抑制効果を維持することができる。

【 0 0 1 6 】

請求項 9 に記載の本発明は、貫通亀裂の表側の開口部に含水材とシート手段又はシート手段で覆われた酸化剤を設けたことを特徴とする。

請求項 9 に記載の本発明によれば、裏側に加えて表側からも水分又は酸素の供給が成され、亀裂内で満遍なく腐食生成物によるくさび効果が生じることにより、亀裂の進展をより一層抑制することができ、また亀裂の検出をより一層行いやすくすることができる。

【 0 0 1 7 】

請求項 10 に記載の本発明は、含水材とシート手段又はシート手段で覆われた酸化剤を母材の疲労亀裂の発生するおそれのある箇所に予め設けたことを特徴とする。

請求項 10 に記載の本発明によれば、発生直後の微小亀裂に対して進展抑制及び検出を確実にすることができる。

【 0 0 1 8 】

請求項 11 に記載の本発明は、含水材の水が少なくなったら含水材を取り換えることを特徴とする。

請求項 11 に記載の本発明によれば、亀裂の内部の湿潤腐食環境を保持して腐食生成物を生じさせやすくできる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 9 】

請求項 1 2 記載の本発明は、母材の板厚に応じて含水材の厚みを変えたことを特徴とする。

請求項 1 2 に記載の本発明によれば、開口時の亀裂内容積は母材の板厚にほぼ比例するため、含水材の厚みを母材の板厚に応じて変えることで、腐食生成物を効果的に生じさせることができる。

【 0 0 2 0 】

請求項 1 3 記載の本発明は、含水材に複数の孔部を設けて通気を行うとともに、孔部をスリット形状として疲労亀裂の予想進展経路上に臨ませたことを特徴とする。

請求項 1 3 に記載の本発明によれば、疲労亀裂が当初の予想経路からはずれて進展した場合でも開口部の位置が孔部の範囲に収まり、孔部を介して亀裂内へ酸素が滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 2 1 】

請求項 1 4 記載の本発明は、含水材に複数の孔部を設けて酸化剤を収納するとともに、孔部をスリット形状として疲労亀裂の予想進展経路上に臨ませたことを特徴とする。

請求項 1 4 に記載の本発明によれば、疲労亀裂が当初の予想経路からはずれて進展した場合でも開口部の位置が酸化剤収納手段の範囲に収まり、酸化剤から亀裂内へ酸素が滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 2 2 】

請求項 1 5 記載の本発明は、スリット形状を成した複数の孔部の間隔を、疲労亀裂の長さ及び / 又は亀裂進展速度に応じて増減したことを特徴とする。

請求項 1 5 に記載の本発明によれば、亀裂の状態に応じて孔部の間隔を変えることで、酸素を効果的に亀裂内に供給して腐食生成物をより短期間で生じさせることができる。

【 0 0 2 3 】

請求項 1 6 記載の本発明は、母材が磁性を有する場合、磁力を有したシート手段を母材に吸着させて設けたことを特徴とする。

請求項 1 6 に記載の本発明によれば、シート手段の着脱が容易であり、繰り返し使用することができる。また、シート手段と母材との間に作用する磁力（吸引力）によって、間に挟まれた含水材には常に一定の押圧力が作用するため、亀裂内への水分浸透がより一層促進され、腐食生成物が生じやすくなる。

【 0 0 2 4 】

請求項 1 7 記載の本発明は、シート手段と含水材との間に設けられ母材と電氣的に接続された母材よりもイオン化傾向の小さい流電陰極により、母材からの腐食生成物の発生を促進することを特徴とする。

請求項 1 7 に記載の本発明によれば、母材からの腐食生成物の発生を促進し、腐食生成物のくさび効果による亀裂進展抑制作用及び亀裂検出作用をより高めることができる。

【 0 0 2 5 】

請求項 1 8 記載の本発明は、シート手段と含水材との間に設けた耐久電極と母材との間に直流電流を流し、母材からの腐食生成物の発生を促進することを特徴とする。

請求項 1 8 に記載の本発明によれば、母材からの腐食生成物の発生を促進し、腐食生成物のくさび効果による亀裂進展抑制作用及び亀裂検出作用をより高めることができる。

【 0 0 2 6 】

請求項 1 9 記載の本発明は、母材の材質が鋼又は鉄であり、疲労亀裂の腐食生成物として赤錆が発生した場合に、錆転換剤を用いて黒錆に変質させることを特徴とする。

請求項 1 9 に記載の本発明によれば、赤錆を黒錆に変質させることで、より堅固で安定な錆層を形成させ、以降の過剰な腐食反応による材質劣化を防止することができる。

【 0 0 2 7 】

請求項 2 0 記載の本発明は、母材の設置環境が寒冷の場合、加熱手段によりシート手段の外側から、又はシート手段に設けた加熱手段により、疲労亀裂を適切な温度まで加熱することを特徴とする。

10

20

30

40

50

請求項 20 に記載の本発明によれば、疲労亀裂を適切な温度まで加熱することで、腐食生成物をより短期間で生じさせることができる。

【0028】

請求項 21 に記載に対応した疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートにおいては、母材の疲労亀裂の進展を抑制 / 検出する疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートであって、金属製の母材に生じた疲労亀裂の開口部に臨ませる水を保有する含水材と、含水材の表面を覆う水の乾燥を防止するシート手段と、シート手段を介して含水材を開口部に臨ませる貼付手段とを備え、含水材の水と大気から供給される酸素により、疲労亀裂の内部を湿潤腐食環境に保持することを可能としたことを特徴とする。

請求項 21 に記載の本発明によれば、浸漬状態のように亀裂面の金属イオンが著しく溶出することがなく、亀裂面上に適度の腐食生成物（錆）が生じる程度の湿潤腐食環境を現場で簡便かつ局所限定的に作り出し亀裂面に腐食生成物を比較的短期間で生じさせることができ、生じさせた腐食生成物のくさび効果により、従来は困難であった亀裂先端部においても、亀裂の進展を効果的に抑制することができ、また亀裂を目視により容易に検出することが可能となる。さらに、外圧や接触に強いいため、施工性や耐環境性を向上させることができる。

【0029】

請求項 22 に記載に対応した疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートにおいては、母材の疲労亀裂の進展を抑制 / 検出する疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートであって、金属製の母材に生じた疲労亀裂の開口部に臨ませる水を保有する含水材と、含水材の表面を覆う水の乾燥を防止するシート手段と、シート手段で覆われた酸化剤と、シート手段を介して含水材を開口部に臨ませる貼付手段とを備え、含水材の水と酸化剤から供給される酸素により、疲労亀裂の内部を湿潤腐食環境に保持することを可能としたことを特徴とする。

請求項 22 に記載の本発明によれば、浸漬状態のように亀裂面の金属イオンが著しく溶出することがなく、亀裂面上に適度の腐食生成物（錆）が生じる程度の湿潤腐食環境を現場で簡便かつ局所限定的に作り出し亀裂面に腐食生成物を比較的短期間で生じさせることができ、生じさせた腐食生成物のくさび効果により、従来は困難であった亀裂先端部においても、亀裂の進展を効果的に抑制することができ、また亀裂を目視により容易に検出することが可能となる。さらに、外圧や接触に強いいため、施工性や耐環境性を向上させることができる。また、疲労亀裂内へ供給される酸素の量を確保して腐食生成物を生じさせやすくできる。

【0030】

請求項 23 に記載の本発明は、含水材が、水を保有する含水ジェルから成ることを特徴とする。

請求項 23 に記載の本発明によれば、含水材の取扱いが容易になると同時に、含水材が保有する水の流動性が小さくなるため、開口部の位置に関わらず含水材を臨ませやすくなる。

【0031】

請求項 24 に記載の本発明は、シート手段が、酸素の透過可能な微小空気孔を有したことを特徴とする。

請求項 24 に記載の本発明によれば、疲労亀裂内へ供給される酸素の量を確保して腐食生成物を生じさせやすくできる。

【0032】

請求項 25 に記載の本発明は、シート手段が、酸素を透過しないことを特徴とする。

請求項 25 に記載の本発明によれば、含水材の乾燥をより防止することができる。

【0033】

請求項 26 に記載の本発明は、含水材とシート手段の間に、柔軟性のある材料で構成された支持体を有したことを特徴とする。

請求項 26 に記載の本発明によれば、含水材を開口部に臨ませた状態を安定的に保つことができる。また、支持体は柔軟性を有するため 3 次元曲面を成す母材（溶接部を含む）

10

20

30

40

50

にも適用することができる。

【 0 0 3 4 】

請求項 2 7 記載の本発明は、含水材が、少なくとも含水材の表面から底面まで貫通する複数の孔部を有したことを特徴とする。

請求項 2 7 に記載の本発明によれば、孔部を介して亀裂内へ酸素が滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 3 5 】

請求項 2 8 記載の本発明は、含水材の孔部に嵌合する酸化剤収納手段に、酸化剤を収納したことを特徴とする。

請求項 2 8 に記載の本発明によれば、酸化剤を安定的に保持することができる。

10

【 0 0 3 6 】

請求項 2 9 記載の本発明は、酸化剤収納手段は、上面が閉塞し下部に開口を有した形状であり、内部にジェル状又は流体の酸化剤を満たした構成、又はジェル状又は固体の酸化剤を下端面との間に一定の空隙を設けた構成であることを特徴とする。

請求項 2 9 に記載の本発明によれば、疲労亀裂内に酸化剤を直接流入させ、又は酸化剤から発生した酸化性ガスのみを流入させ、腐食生成物を生じさせることができる。

【 0 0 3 7 】

請求項 3 0 記載の本発明は、酸化剤収納手段は、開口の開口面積又は開口を覆うガス透過性の膜体により、酸化剤もしくは酸化剤からの酸化性ガスの供給量を調整する機能を有することを特徴とする。

20

請求項 3 0 に記載の本発明によれば、疲労亀裂内へ供給される酸素量を適切なものとするることができる。

【 0 0 3 8 】

請求項 3 1 記載の本発明は、酸化剤収納手段は、含水材と支持体を貫通してシート手段の表面に臨み、閉塞した上面を開閉可能に構成することにより、外部からの酸化剤の補給を可能としたことを特徴とする。

請求項 3 1 に記載の本発明によれば、長期間にわたって疲労亀裂内に酸化剤から酸素を供給することができる。

【 0 0 3 9 】

請求項 3 2 記載の本発明は、シート手段に、短冊状に形成された含水材と支持体のセットを、間隔を有して複数並べたことを特徴とする。

30

請求項 3 2 に記載の本発明によれば、間隙を介して亀裂内へ酸素が滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 4 0 】

請求項 3 3 記載の本発明は、シート手段が、柔軟性を有し透明又は半透明であることを特徴とする。

請求項 3 3 に記載の本発明によれば、柔軟性を有するため含水材を隙間なく覆い乾燥を防止することができる。また、透明又は半透明であるため、含水材や支持体の外観変化をシート手段の外側から観察することができる。

【 0 0 4 1 】

40

請求項 3 4 記載の本発明は、シート手段が、磁力を有したマグネットシートであり、マグネットシートが磁性を有した母材への貼付手段を兼ねたことを特徴とする。

請求項 3 4 に記載の本発明によれば、シート手段の着脱が容易であり、繰り返し使用することができる。また、シート手段と母材との間に作用する磁力（吸引力）によって、間に挟まれた含水材には常に一定の押圧力が作用するため、亀裂内への水分浸透がより一層促進され、腐食生成物が生じやすくなる。

【 0 0 4 2 】

請求項 3 5 記載の本発明は、シート手段と含水材との間に、母材と電氣的に直接、又は導線を介して接触可能な母材よりもイオン化傾向の小さい流電陰極をさらに備えたことを特徴とする。

50

請求項 3 5 に記載の本発明によれば、流電陰極による腐食電池効果により、母材からの腐食生成物の発生を促進し、腐食生成物のくさび効果による亀裂進展抑制作用及び亀裂検出作用をより高めることができる。

【 0 0 4 3 】

請求項 3 6 に記載の本発明は、シート手段と含水材の間に設けた耐久電極と、耐久電極と母材との間に直流電流を流す直流電源手段とをさらに備えたことを特徴とする。

請求項 3 6 に記載の本発明によれば、耐久電極と直流電源による腐食電池効果により、母材からの腐食生成物の発生を促進し、腐食生成物のくさび効果による亀裂進展抑制作用及び亀裂検出作用をより高めることができる。

【 0 0 4 4 】

請求項 3 7 に記載の本発明は、シート手段に疲労亀裂を加熱するための加熱手段を有したことを特徴とする請求項 2 1 から請求項 3 6 のいずれか 1 項に記載の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート。

請求項 3 7 に記載の本発明によれば、疲労亀裂を適切な温度まで加熱することで、腐食生成物をより短期間で生じさせることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 4 5 】

本発明の疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法によれば、浸漬状態のように亀裂面の金属イオンが著しく溶出することがなく、亀裂面上に適度の腐食生成物（錆）が生じる程度の湿潤腐食環境を現場で簡便かつ局所限定的に作り出し、生じさせた腐食生成物のくさび効果により、従来は困難であった亀裂先端部においても、亀裂の進展を効果的に抑制することができ、また亀裂を目視により容易に検出することが可能となる。さらに、外圧や接触到強いため、施工性や耐環境性を向上させることができる。

【 0 0 4 6 】

また、シート手段が通気性を有し、シート手段を介して酸素が供給される場合には、疲労亀裂内へ供給される酸素の量を確保して腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 4 7 】

また、シート手段により覆って設けられた酸化剤から酸素が供給される場合には、酸化剤から疲労亀裂内へ酸素が滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 4 8 】

また、疲労亀裂が母材を貫通する貫通亀裂である場合、含水材とシート手段又はシート手段で覆われた酸化剤を貫通亀裂の裏側の開口部に臨ませ、貫通亀裂の表側の開口部を介して及び / 又は通気性を有したシート手段もしくは酸化剤から供給される酸素を利用する場合には、疲労亀裂内へ供給される酸素の量を確保して腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 4 9 】

また、シート手段が通気性を有さず、表側の開口部を介して供給される酸素を利用する場合には、裏側の開口部に臨ませた含水材の乾燥を防止しつつ、表側の開口部から酸素を疲労亀裂内に供給して腐食生成物を生じさせることができる。

【 0 0 5 0 】

また、貫通亀裂の表側の開口部を乾燥防止膜で覆った場合には、開口部から放出される水蒸気の量を少なくして含水材の過度の乾燥を防止することができる。

【 0 0 5 1 】

また、シート手段が通気性を有さず、表側の開口部に酸化剤を塗布する場合には、裏側の開口部に臨ませた含水材の乾燥を防止しつつ、表側の開口部から酸素等の酸化性ガスを疲労亀裂内に供給して腐食生成物を生じさせることができる。

【 0 0 5 2 】

また、表側の開口部への酸化剤の塗布を疲労亀裂の進展に伴い断続的に繰り返す場合には、亀裂進展の初期段階から終盤に至るまで進展抑制効果を維持することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

また、貫通亀裂の表側の開口部に含水材とシート手段又はシート手段で覆われた酸化剤を設けた場合には、裏側に加えて表側からも水分又は酸素の供給が成され、亀裂内で満遍なく腐食生成物によるくさび効果が生じることにより、亀裂の進展をより一層抑制することができ、また亀裂の検出をより一層行いやすくすることができる。

【 0 0 5 4 】

また、含水材とシート手段又はシート手段で覆われた酸化剤を母材の疲労亀裂の発生するおそれのある箇所に予め設けた場合には、発生直後の微小亀裂に対して進展抑制及び検出を確実に行うことができる。

【 0 0 5 5 】

また、含水材の水が少なくなったら含水材を取り換える場合には、亀裂の内部の湿潤腐食環境を保持して腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 5 6 】

また、母材の板厚に応じて含水材の厚みを変えた場合には、開口時の亀裂内容積は母材の板厚にほぼ比例するため、含水材の厚みを母材の板厚に応じて変えることで、腐食生成物を効果的に生じさせることができる。

【 0 0 5 7 】

また、含水材に複数の孔部を設けて通気を行うとともに、孔部をスリット形状として疲労亀裂の予想進展経路上に臨ませた場合には、疲労亀裂が当初の予想経路からはずれて進展した場合でも開口部の位置が孔部の範囲に収まり、孔部を介して亀裂内へ酸素が滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 5 8 】

また、含水材に複数の孔部を設けて酸化剤を収納するとともに、孔部をスリット形状として疲労亀裂の予想進展経路上に臨ませた場合には、疲労亀裂が当初の予想経路からはずれて進展した場合でも開口部の位置が酸化剤収納手段の範囲に収まり、酸化剤から亀裂内へ酸素が滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 5 9 】

また、スリット形状を成した複数の孔部の間隔を、疲労亀裂の長さ及び/又は亀裂進展速度に応じて増減した場合には、亀裂の状態に応じて孔部の間隔を変えることで、酸素を効果的に亀裂内に供給して腐食生成物をより短期間で生じさせることができる。

【 0 0 6 0 】

また、母材が磁性を有する場合、磁力を有したシート手段を母材に吸着させて設けた場合には、シート手段の着脱が容易であり、繰り返し使用することができる。また、シート手段と母材との間に作用する磁力（吸引力）によって、間に挟まれた含水材には常に一定の押圧力が作用するため、亀裂内への水分浸透がより一層促進され、腐食生成物が生じやすくなる。

【 0 0 6 1 】

また、シート手段と含水材との間に設けられ母材と電氣的に接続された母材よりもイオン化傾向の小さい流電陰極により、母材からの腐食生成物の発生を促進する場合には、母材からの腐食生成物の発生を促進し、腐食生成物のくさび効果による亀裂進展抑制作用及び亀裂検出作用をより高めることができる。

【 0 0 6 2 】

また、シート手段と含水材との間に設けた耐久電極と母材との間に直流電流を流し、母材からの腐食生成物の発生を促進する場合には、母材からの腐食生成物の発生を促進し、腐食生成物のくさび効果による亀裂進展抑制作用及び亀裂検出作用をより高めることができる。

【 0 0 6 3 】

また、母材の材質が鋼又は鉄であり、疲労亀裂の腐食生成物として赤錆が発生した場合に、錆転換剤を用いて黒錆に変質させる場合には、赤錆を黒錆に変質させることで、より堅固で安定な錆層を形成させ、以降の過剰な腐食反応による材質劣化を防止することがで

10

20

30

40

50

きる。

【0064】

また、母材の設置環境が寒冷の場合、加熱手段によりシート手段の外側から、又はシート手段に設けた加熱手段により、疲労亀裂を適切な温度まで加熱する場合には、疲労亀裂を適切な温度まで加熱することで、腐食生成物をより短期間で生じさせることができる。

【0065】

また、本発明の疲労亀裂の進展抑制/検出シートによれば、浸漬状態のように亀裂面の金属イオンが著しく溶出することがなく、亀裂面上に適度の腐食生成物(錆)が生じる程度の湿潤腐食環境を現場で簡便かつ局所限定的に作り出し亀裂面に腐食生成物を比較的短期間で生じさせることができ、生じさせた腐食生成物のくさび効果により、従来は困難であった亀裂先端部においても、亀裂の進展を効果的に抑制することができ、また亀裂を目視により容易に検出することが可能となる。さらに、外圧や接触に強いため、施工性や耐環境性を向上させることができる。

10

【0066】

また、本発明の疲労亀裂の進展抑制/検出シートによれば、疲労亀裂内へ供給される酸素の量を確保して腐食生成物を生じさせやすくできる。

【0067】

また、含水材が、水を保有する含水ジェルから成る場合には、含水材の取扱いが容易になると同時に、含水材が保有する水の流動性が小さくなるため、開口部の位置に関わらず含水材を臨ませやすくなる。

20

【0068】

また、シート手段が、酸素の透過可能な微小空気孔を有した場合には、疲労亀裂内へ供給される酸素の量を確保して腐食生成物を生じさせやすくできる。

【0069】

また、シート手段が、酸素を透過しない場合には、含水材の乾燥をより防止することができる。

【0070】

また、含水材とシート手段の間に、柔軟性のある材料で構成された支持体を有した場合には、含水材を開口部に臨ませた状態を安定的に保つことができる。また、支持体は柔軟性を有するため3次元曲面を成す母材にも適用することができる。

30

【0071】

また、含水材が、少なくとも含水材の表面から底面まで貫通する複数の孔部を有した場合には、孔部を介して亀裂内へ酸素が滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。

【0072】

また、含水材の孔部に嵌合する酸化剤収納手段に、酸化剤を収納した場合には、酸化剤を安定的に保持することができる。

【0073】

また、酸化剤収納手段は、上面が閉塞し下部に開口を有した形状であり、内部にジェル状又は流体の酸化剤を満たした構成、又はジェル状又は固体の酸化剤を下端面との間に一定の空隙を設けた構成である場合には、疲労亀裂内に酸化剤を直接流入させ、又は酸化剤から発生した酸化性ガスのみを流入させ、腐食生成物を生じさせることができる。

40

【0074】

また、酸化剤収納手段は、開口の開口面積又は開口を覆うガス透過性の膜体により、酸化剤もしくは酸化剤からの酸化性ガスの供給量を調整する機能を有する場合には、疲労亀裂内へ供給される酸素量を適切なものとするすることができる。

【0075】

また、酸化剤収納手段は、含水材と支持体を貫通してシート手段の表面に臨み、閉塞した上面を開閉可能に構成することにより、外部からの酸化剤の補給を可能とした場合には、長期間にわたって疲労亀裂内に酸化剤から酸素を供給することができる。

50

【 0 0 7 6 】

また、シート手段に、短冊状に形成された含水材と支持体のセットを、間隔を有して複数並べた場合には、間隙を介して亀裂内へ酸素が滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。

【 0 0 7 7 】

また、シート手段が、柔軟性を有し透明又は半透明である場合には、柔軟性を有するため含水材を隙間なく覆い乾燥を防止することができる。また、透明又は半透明であるため、含水材や支持体の外観変化をシート手段の外側から観察することができる。

【 0 0 7 8 】

また、シート手段が、磁力を有したマグネットシートであり、マグネットシートが磁性を有した母材への貼付手段を兼ねた場合には、シート手段の着脱が容易であり、繰り返し使用することができる。また、シート手段と母材との間に作用する磁力（吸引力）によって、間に挟まれた含水材には常に一定の押圧力が作用するため、亀裂内への水分浸透がより一層促進され、腐食生成物が生じやすくなる。

【 0 0 7 9 】

また、シート手段と含水材との間に、母材と電気的に直接、又は導線を介して接触可能な母材よりもイオン化傾向の小さい流電陰極をさらに備えた場合には、流電陰極による腐食電池効果により、母材からの腐食生成物の発生を促進し、腐食生成物のくさび効果による亀裂進展抑制作用及び亀裂検出作用をより高めることができる。

【 0 0 8 0 】

また、シート手段と含水材の間に設けた耐久電極と、耐久電極と母材との間に直流電流を流す直流電源手段とをさらに備えた場合には、耐久電極と直流電源による腐食電池効果により、母材からの腐食生成物の発生を促進し、腐食生成物のくさび効果による亀裂進展抑制作用及び亀裂検出作用をより高めることができる。

【 0 0 8 1 】

また、シート手段に疲労亀裂を加熱するための加熱手段を有した場合には、疲労亀裂を適切な温度まで加熱することで、腐食生成物をより短期間で生じさせることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 8 2 】

【 図 1 】 母材に生じた亀裂の形態の例を示す断面図

【 図 2 】 本発明の実施形態による疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第一例の模式図

【 図 3 】 同疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第二例の模式図

【 図 4 】 同疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第三例の模式図

【 図 5 】 同疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第四例の模式図

【 図 6 】 同疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第五例の模式図

【 図 7 】 同疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第六例の模式図

【 図 8 】 同疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第七例の模式図

【 図 9 】 同疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第八例の模式図

【 図 1 0 】 同第一の適用形態を亀裂も含めて示した模式図

【 図 1 1 】 同第二の適用形態を亀裂も含めて示した模式図

【 図 1 2 】 同第八の適用形態を亀裂も含めて示した模式図

【 図 1 3 】 疲労亀裂進展試験に用いた試験片を示す図

【 図 1 4 】 疲労亀裂進展試験の実施例 2 における疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの外観を示す写真

【 図 1 5 】 各比較例及び実施例についての疲労亀裂進展試験の結果として亀裂進展曲線を示す図

【 図 1 6 】 疲労亀裂進展試験を実施した比較例 1 の破断面の拡大写真

【 図 1 7 】 疲労亀裂進展試験を実施した実施例 1 の破断面の拡大写真

【 図 1 8 】 疲労亀裂進展試験を実施した実施例 6 の破断面の拡大写真

【 図 1 9 】 検証試験における酸化剤及び錆転換剤による疲労破面の変化を示す写真

10

20

30

40

50

【図20】疲労亀裂進展試験を実施した実施例2において疲労亀裂の進展抑制/検出シートによって亀裂を検出した結果を示す写真

【発明を実施するための形態】

【0083】

以下に、本発明の実施形態による疲労亀裂の進展抑制/検出方法、及び疲労亀裂の進展抑制/検出シートについて説明する。

【0084】

図1は母材に生じた亀裂の形態の例を示す断面図である。

図1(a)に示す疲労亀裂3は、金属製の母材2の一方の面(表側)から他方の面(裏側)まで貫通した貫通亀裂である。したがって疲労亀裂3の開口部は両側に形成され、表側の開口部3aと裏側の開口部3bである。

10

図1(b)に示す疲労亀裂3は、金属製の母材2の一方の面(表側)に生じ、他方の面(裏側)まで至っていない非貫通亀裂である。したがって疲労亀裂3の開口部は、表側に形成された開口部3aのみである。

【0085】

図2は本実施形態による疲労亀裂の進展抑制/検出シートの第一例の模式図であり、図2(a)は平面図、図2(b)はA-A'断面図である。

第一例の疲労亀裂の進展抑制/検出シート1(1A)は、水を保有する含水材10と、含水材10が保有する水の乾燥を防止するシート手段20と、含水材10を支持する支持体30と、シート手段20を介して含水材10を疲労亀裂3の開口部3a、3bに臨ませる貼付手段40を備える。

20

疲労亀裂の進展抑制/検出シート1は、柔軟な支持体30に支持された高含水率の含水材10を、シート手段20が支持体30の上面側から覆う構成である。貼付手段40は、粘着力を有し、シート手段20の底面20aに設けられている。

疲労亀裂の進展抑制/検出シート1を母材2に適用するに当たっては、含水材10の底面10aが母材2に生じる疲労亀裂の開口部3a、3bを覆うように、疲労亀裂の進展抑制/検出シート1を母材2もしくは母材2の表面に形成された塗膜の表面に貼付する。

【0086】

含水材10は、疲労亀裂3内の局所的な湿潤状態を作り出すために用いる。第一例の疲労亀裂の進展抑制/検出シート1Aにおける含水材10は、通気孔を有さない。含水材10は、高含水率(50%以上)であり、適用対象とする母材2の表面に隙間なくフィットする柔軟性と、適度の粘着性を有することが好ましい。

30

また、含水材10は、水を保有する含水ジェルから成ることが好ましい。これにより、含水材10の取扱いが容易になると同時に、含水材10が保有する水の流動性が小さくなるため、例えば鉛直面に生じた開口部3a、3bに対して横から含水材10を臨ませたり、水平に延びる開口部3a、3bに対して下方から含水材10を臨ませたりするなど、開口部3a、3bの位置に関わらず疲労亀裂の進展抑制/検出シート1を貼付することができる。

また、含水材10を含水ジェルとすることにより、柔軟性と、適度の粘着性を持たせ易くなる。

40

【0087】

支持体30は、含水材10を支持する。これにより、含水材10を開口部3a、3bに臨ませた状態を安定的に保つことができる。

支持体30は、3次元曲面を成す金属製の母材2(溶接部を含む)の表面あるいは母材2の表面に形成された塗膜の表面にも隙間なくフィットするように、3次元柔軟性のある材料で構成され適度の柔軟性を有することが好ましく、施工時に破れたりしないための適度な強度を有することがさらに好ましい。

【0088】

疲労亀裂の進展抑制/検出シート1を開口部3a及び/又は3bに貼付した後は、時間の経過と共に含水材10が徐々に乾燥していくため、乾燥の程度に応じて疲労亀裂の進展

50

抑制/検出シート1を取り換え(貼り替え)ることが好ましい。これにより、亀裂の内部の湿潤腐食環境を保持して腐食生成物を生じさせやすくできる。

この取り換えの必要頻度は、疲労亀裂の進展抑制/検出シート1の種類や適用形態によって大きく異なるが、含水材10の厚さを適宜選定することにより、ある程度調節することが可能である。

更に、開口時の亀裂内容積は母材2の板厚にほぼ比例するため、含水材10の厚さは母材2の板厚に応じて比例的に増減することが望ましい。含水材10の厚みを母材2の板厚に応じて変えることで、腐食生成物を効果的に生じさせることができる。

【0089】

含水材10に含ませる液体は必ずしも純水である必要はない。また、一般的な水の他、NaCl等の無機塩類を溶解させた水、水と同様に腐食を生じる電解質を含有した液体等を用いることもでき、くさび効果を更に促進する液体としては以下のものが例示される。

(1) 腐食(錆の生成)をより促進する液体として、塩化ナトリウム(食塩)水溶液(濃度1~3%程度)を始め、無機ハロゲン化合物水溶液など。

(2) 亀裂面上に固形析出物を生じる液体として、塩化マグネシウム、硫酸マグネシウム、硫酸カルシウム、塩化カリウム等、無機塩類の水溶液など。

(3) 上記塩化ナトリウム水溶液と無機塩類等を併せた人工海水など。

【0090】

疲労回復用の冷却ジェルシートとして市販されているものは、高含水率の含水ジェルを柔軟な織物状の支持体で支える構造となっており、そのまま含水材10及び支持体30として利用できる場合がある。但し、上記のように、通気性や使用環境条件(特に湿度)によって定まる疲労亀裂の進展抑制/検出シート1の貼り替え頻度等に応じて、含水材(含水ジェル)10の厚さを適宜設定することが好ましい。

疲労回復用の冷却ジェルシートとして市販されているものとしては、例えば、ライオン株式会社の「足すっきりシート 休足時間(登録商標)」、「冷えピタ(登録商標)8時間冷却」といった製品が挙げられる。これらの製品は、高分子を網目状(スポンジ状)にして内部に水分を取り込んだ同社製の高含水ジェルPAC-55を用いており、その含水率はメーカー表示値で85%である。

【0091】

シート手段20は、支持体30のうち含水材10と接する面とは反対側の面に重ねて設けられる。シート手段20は、水分が外部に拡散することによって含水材10が短時間で乾燥してしまうのを防止する乾燥防止層としての役割を持つ。シート手段20は通気性を持たせることもできるが、第一例の疲労亀裂の進展抑制/検出シート1Aにおけるシート手段20は、通気性を有さない。これにより、含水材10を乾燥しにくくすることができる。但し、外気との通気を完全に遮断してしまうと亀裂内の酸素が欠乏して腐食生成物(錆)が生じにくくなるため、第一例の疲労亀裂の進展抑制/検出シート1Aを疲労亀裂3に適用する場合は、何らかの手段により一定の通気性を確保する必要がある。

また、シート手段20は、含水材10及び支持体30への密着性を高めるため、柔軟性を有することが好ましい。

また、シート手段20は、透明又は半透明であることが好ましい。これにより、含水材10や支持体30の外観変化(錆汁の浸透など)をシート手段20の外側から観察することが可能となる。

なお、透明又は半透明であるシート手段20の材料としては、ポリウレタン、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリエステル、ビニール、ポリアミド等を利用することができる。

【0092】

シート手段20は、母材2が磁性を有する場合、磁力を有し形状が柔軟に変化するマグネットシートとしてもよい。この場合は、マグネットシートが母材2への貼付手段40を兼ねることができる。シート手段(マグネットシート)20を粘着力ではなく磁力で母材2に貼付する場合は、着脱が容易であり、繰り返し使用できる。

また、マグネットシート20を一時的に剥がすことにより、マグネットシート20の内側に配置されている含水材10や支持体30の状態を容易に把握することができる。

また、マグネットシート20と母材2との間に作用する磁力(吸引力)により、間に挟まれた含水材10には常に一定の押圧力が作用するため、亀裂内への水分浸透がより促進され、腐食生成物が生じやすくなる。

また、マグネットシート20は適度な曲げ剛性を有するため、含水材10及び支持体30を完全に密閉することなく、マグネットシート20の端部にある程度の隙間ができる。これにより、空気を遮断することなく一定の通気性が確保できる。なお、端部の隙間は、マグネットシート20の母材2への当接面に凹凸や溝等を設けることにより、通気性を管理した状態で確保できる。

また、母材2が導電体である場合には、マグネットシート20が作る磁界中で亀裂面が細かく振動することになり、局所的に微弱な電流が生じて亀裂内の腐食が促進される場合がある。

また、マグネットシート20は、上記のように繰り返し使用できるので、疲労亀裂の進展抑制/検出シート1の乾燥が進行した場合、含水材10及び支持体30だけの取り換えが可能である。

なお、マグネットシート20は、含水材10や支持体30と予め一体化しておいてもよいし、含水材10及び支持体30を開口部3a、3bに貼付した後に上から被せてもよい。

【0093】

図3は本実施形態による疲労亀裂の進展抑制/検出シートの第二例の模式図であり、図3(a)は平面図、図3(b)はA-A'断面図である。なお、上記した疲労亀裂の進展抑制/検出シートと同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

第二例の疲労亀裂の進展抑制/検出シート1(1B)は、含水材10と、シート手段20と、支持体30と、貼付手段40と、流電陰極50と、導線60を備える。

流電陰極50の層は、含水材10と支持体30との間に設けられている。なお、支持体30が無い場合は、流電陰極50の層は、含水材10とシート手段20との間に設ける。導線60の一端は、流電陰極50の端部に接続されている。導線60の他端は、金属製の母材2に接続されている。

流電陰極50には、金属製の母材2よりもイオン化傾向の小さい(電氣的に貴な)金属(例えば、母材2が鋼であれば流電陰極50を銅にするなど)の膜、もしくは同金属の粉を高濃度に包含した含水ジェルを用いる。

これにより、母材2、含水材10、流電陰極50、及び導線60が全体として腐食電池を形成し、母材2に生じた疲労亀裂3内における腐食反応を促進するため、腐食生成物のくさび効果による亀裂進展抑制作用をより高めることができる。

なお、導線60を用いずに、流電陰極50の層を金属製の母材2の表面まで延伸して接触させてもよい。

【0094】

図4は本実施形態による疲労亀裂の進展抑制/検出シートの第三例の模式図であり、図4(a)は平面図、図4(b)はA-A'断面図である。なお、上記した疲労亀裂の進展抑制/検出シートと同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

第三例の疲労亀裂の進展抑制/検出シート1(1C)は、含水材10と、シート手段20と、支持体30と、貼付手段40と、導線60と、耐久電極70と、直流電源手段80を備える。

耐久電極70の層は、含水材10と支持体30との間に設けられている。なお、支持体30が無い場合は、耐久電極70の層は、含水材10とシート手段20との間に設ける。導線60の一端は、耐久電極70の端部に接続されている。導線60の他端は、金属製の母材2に接続されている。直流電流を流す直流電源手段80は、導線60の一端と他端との間に設けられている。このとき、直流電源手段80の陽極が母材2の側となるようにする。

10

20

30

40

50

耐久電極 70 には、腐食しにくい高耐食性金属の膜、もしくは同金属の粉を高濃度に包
含した含水ジェルを用いる。

これにより、母材 2、含水材 10、導線 60、耐久電極 70、及び直流電源手段 80 が
全体として腐食電池を形成し、母材 2 に生じた疲労亀裂 3 内における腐食反応を促進する
ため、腐食生成物のくさび効果による亀裂進展抑制作用をより高めることができる。

【0095】

図 5 は本実施形態による疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第四例の模式図であり、図
5 (a) は平面図、図 5 (b) は A - A ' 断面図、図 5 (c) は B - B ' 断面図である。
なお、上記した疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートと同一機能部材には同一符号を付して説
明を省略する。

第四例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 (1 D) は、含水材 10 と、シート手段 2
0 と、支持体 30 と、貼付手段 40 を備える。

第一例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 A は含水材 10 及び支持体 30 に通気孔を
有さないのに対し、第四例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 D は、含水材 10 及び支
持体 30 を貫通する通気孔として複数の孔部 11 を有する。孔部 11 を介して通気が行わ
れ亀裂内へ酸素が滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。なお、
孔部 11 を設けることにより含水材 10 はより乾燥しやすくなるため、孔部 11 に沿った
含水材 10 の側面 10 b には水や水蒸気を通さない樹脂膜を設けるなどして、含水材 10
の過度の乾燥を防止することが好ましい。

第四例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 D におけるシート手段 20 は、酸素が透過
可能な微小空気孔 (図示せず) を有する。シート手段 20 が通気性を有し、シート手段 2
0 を介して酸素が供給されることにより、疲労亀裂 3 内へ供給される酸素の量を確保して
腐食生成物を生じさせやすくできる。特に、気体の酸素分子や水蒸気は通すが液体の水分子
は通さないような微小空気孔を多数有する柔軟な膜をシート手段 20 とすることが好ま
しい。

このような膜の例としては、株式会社ニトムズ製の医療衛生用フィルム「優肌 (登録商
標) パーミロール (登録商標) HS」等が挙げられる。

【0096】

第四例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 D の適用に当たっては、含水材 10 の底面
10 a が母材 2 に生じる疲労亀裂 3 の開口部 3 a、3 b を覆うように、また、亀裂の予想
進展経路線 (図 5 (a) における A - A ' 線) が、母材 2 に生じる疲労亀裂 3 の開口部 3
a、3 b に大凡沿うように、第四例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 D を母材 2 もし
くは母材 2 の表面に形成された塗膜の表面に貼付する。

また、実際の疲労亀裂 3 は、当初の予想経路からはずれて進展することも多いので、当
初の予想経路からはずれて進展した場合でも亀裂の開口部 3 a、3 b の位置が孔部 11 の
範囲に収まり、亀裂内への酸素供給が滞りなく行われるように、孔部 11 の形状は A - A
' 線 (亀裂の予想進展経路線) と垂直な方向に適当な幅を有するスリット形状とすること
が好ましい。

また、亀裂の長さ及び亀裂進展速度に応じて、第四例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シ
ート 1 D における孔部 11 と孔部 11 との間隔を設定することが好ましい。一般的には、亀
裂が短く進展速度が小さい場合には孔部 11 同士の間隔を小さくし、亀裂が長く進展速度
が大きい場合には孔部 11 同士の間隔を大きくするというように、亀裂の長さ及び亀裂進
展速度に応じて孔部 11 同士の間隔を比例的に広げたり狭めたりすることが好ましい。亀
裂の状態に応じて孔部 11 の間隔を変えることで、酸素を効果的に亀裂内に供給して腐食
生成物をより短期間で生じさせることができる。

【0097】

図 6 は本実施形態による疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第五例の模式図であり、図
6 (a) は平面図、図 6 (b) は A - A ' 断面図である。なお、上記した疲労亀裂の進展
抑制 / 検出シートと同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

第五例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 は、含水材 10 と、シート手段 20 と、支

10

20

30

40

50

持体 30 と、貼付手段 40 を備える。

第五例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 (1E) は、シート手段 20 に、短冊状に形成された孔部 11 を有さない含水材 10 と支持体 30 のセットを、間隔を有して複数並べたものである。セットとセットとの間の間隙 12 が、第四例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1D における孔部 11 の機能を持つ。酸素は間隙 12 を介して亀裂内へ滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。

なお、間隙 12 を設けることにより短冊状の含水材 10 はより乾燥しやすくなるため、間隙 12 に沿った含水材 10 の側面 10b には水や水蒸気を通さない樹脂膜を設けるなどして、含水材 10 の過度の乾燥を防止することが好ましい。

【0098】

図 7 は本実施形態による疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第六例の模式図であり、図 7 (a) は平面図、図 7 (b) は A - A' 断面図である。なお、上記した疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートと同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

第六例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 (1F) は、含水材 10 と、シート手段 20 と、支持体 30 と、貼付手段 40 と、疲労亀裂 3 を加熱するための加熱手段 110 を備える。加熱手段 110 は、シート手段 20 に配置されている。

加熱手段 110 は、ニクロム線等の電熱線 111 と、電圧可変の電源 112 と、スイッチ 113 を有する。電熱線 111 は、シート手段 20 内において満遍なく配置されるように複数回折り返して配置されている。電源 112 及びスイッチ 113 は、シート手段 20 外に配置されている。

冬季や寒冷地など、母材 2 の設置環境が寒冷 (概ね 10 未満) の場合における疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 の適用に際して、疲労亀裂 3 の発生箇所が低温となり腐食反応が著しく抑制されてしまうようなときには、本例のようにシート手段 20 に設けた加熱手段 110 により、疲労亀裂 3 を適切な温度 (概ね 10 以上、より好ましくは 20 ~ 40) まで加熱することで、腐食生成物をより短期間で生じさせることができる。なお、図示は省略するが、図 7 に示す構成に代えて、シート手段 20 を外側からラバーヒーター等のシート状の加熱手段 110 で覆う構成とすることもできる。

なお、加熱温度の上限は加熱手段 110 の耐熱性、消費電力、周囲への温度の影響等を考慮して定めることができる。

【0099】

第六例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1F は、湿潤環境で使用するため、加熱手段 110 には絶縁性に富んだ完全防水のものを用いることが好ましい。

また、シート手段 20 の内側 (特に疲労亀裂 3 の近傍) を腐食反応に適した温度とするため、加熱手段 110 の出力は、電圧可変式の電源 112 等により適宜調節できるようにしておくことが好ましい。

【0100】

図 8 は本実施形態による疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートの第七例の模式図であり、図 8 (a) は平面図、図 8 (b) は A - A' 断面図、図 8 (c) は B - B' 断面図である。なお、上記した疲労亀裂の進展抑制 / 検出シートと同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

第七例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 (1G) は、含水材 10 と、シート手段 20 と、支持体 30 と、貼付手段 40 と、シート手段 20 で覆われた酸化剤 120 を備える。シート手段 20 により覆って設けられた酸化剤 120 から疲労亀裂 3 内へ酸素等の酸化性ガスが滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。なお、酸化剤 120 から供給される酸化性ガスとしては、酸素以外ではオゾンや一酸化窒素等が挙げられる。

支持体 30 に密着して形成された含水ジェル等の含水材 10 は、少なくとも含水材 10 の表面から底面まで貫通する複数の孔部 11 を有する。各孔部 11 には、すっぽりと填まる形の酸化剤収納手段 130 が形成されている。酸化剤収納手段 130 の上部は上面 130b によって塞がれており、上面 130b は支持体 30 に接着している。一方、酸化剤収

10

20

30

40

50

納手段 130 の下部は、酸化剤収納手段開口部 130 a となって下方へ向け開口している。

酸化剤収納手段 130 の内部には、ジェル状の酸化剤 120 が充填されている。酸化剤 120 から亀裂内へ酸素等の酸化性ガスが滞りなく供給されるため、腐食生成物を生じさせやすくできる。また、酸化剤 120 が含水材 10 の孔部 11 に嵌合した酸化剤収納手段 130 に収納されていることで、酸化剤 120 を安定的に保持することができる。

【0101】

また、酸化剤収納手段開口部 130 a の開口面積を、例えば穴の開いた下蓋部を設ける等の方法により、適宜調整するか、あるいは酸化剤収納手段開口部 130 a をガス透過性の膜体等で覆うことにより、一定時間内に亀裂内部に供給される酸化剤 120 もしくは酸化性ガスの供給量を調整することが可能となる。このように、酸化剤収納手段 130 が、酸化剤 120 もしくは酸化剤 120 からの酸化性ガスの供給量を調整する機能を有することで、疲労亀裂内へ供給される酸素量を適切なものとするすることができる。

なお、一般に、金属の腐食生成物（錆）の発生を促進するような酸化剤 120 は反応性が強く、気化しやすいため、酸化剤収納手段 130 には化学的安定性及び密閉性の高いポリエチレン、ポリプロピレン等の樹脂を用いることが望ましい。

【0102】

第七例の疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1G の適用に当たっては、酸化剤収納手段 130 に酸化剤 120 を充填した後、含水材 10 の底面 10 a が、母材 2 に生じる疲労亀裂 3 の開口部 3 a、3 b、又は亀裂の予想進展経路を覆うように、また、亀裂の予想進展経路線（図 8（a）における A - A' 線）が、母材 2 に生じる疲労亀裂 3 の開口部 3 a、3 b に大凡沿うように、第七例の疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1G を母材 2 もしくは母材 2 の表面に形成された塗膜の表面に貼付する。

この時、酸化剤収納手段 130 の酸化剤収納手段開口部 130 a は、母材 2 もしくは母材 2 の表面に形成された塗膜の表面に密着し、酸化剤 120 は酸化剤収納手段 130 と母材 2 もしくは母材 2 の表面に形成された塗膜の表面とで形成された閉空間の内部に密封されるため、疲労亀裂 3 が進展して酸化剤収納手段開口部 130 a の直下を通るまでの間、酸化剤 120 は化学変化を起こすことなく安定した状態を保持することが可能となる。

疲労亀裂 3 は、当初の予想進展経路からはずれて進展することも多い。予想進展経路からはずれて疲労亀裂 3 が進展した場合でも開口部 3 a、3 b の位置が酸化剤収納手段 130 の範囲に収まり、疲労亀裂 3 内への酸化剤 120 あるいはそれから発生した酸化性ガスの供給が滞りなく行われるように、酸化剤収納手段 130 の形状は、予想進展経路線（図 8（a）における A - A' 線）と垂直方向に適当な幅を有するスリット状とすることが好ましい。

【0103】

酸化剤収納手段 130 への酸化剤 120 の充填方法としては、1) 酸化剤収納手段開口部 130 a までジェル状もしくは流体の酸化剤 120 を満たし、疲労亀裂 3 内に酸化剤 120 が直接流入するようにする方法と、2) 酸化剤収納手段開口部 130 a とジェル状もしくは固体の酸化剤 120 の下端面との間に一定の空隙を設け、疲労亀裂 3 内には酸化剤 120 から発生した酸化性ガスのみが流入するようにする方法の二種類が考えられる。いずれを用いるかは、適用する構造物の種類や稼働環境、対象となる亀裂の形態、疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1G を使用する期間等を考慮して適宜選択することが好ましい。このように、酸化剤収納手段 130 は、上面 130 b が閉塞し下部に開口（酸化剤収納手段開口部 130 a）を有した形状であり、内部にジェル状又は流体の酸化剤 120 を満たした構成、又はジェル状又は固体の酸化剤 120 を下端面との間に一定の空隙を設けた構成とすることで、酸素等の酸化性ガスを疲労亀裂内に供給して腐食生成物を生じさせることができる。

なお、雨水等の環境要因や母板 2 の裏側に貼付した他の疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 の作用により、疲労亀裂 3 内が十分に湿潤状態となる場合には、第七例の疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1G が必ずしも含水材 10 を備える必要はない。したがって、第七

10

20

30

40

50

例の疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 G は、含水材 1 0 の部分を他の成型用軟質素材で代替することにより、疲労亀裂 3 内の局所的な湿潤状態を作り出す機能は持たない、機能を限定した「酸化剤供給シート」とすることも可能である。

【 0 1 0 4 】

図 9 は本実施形態による疲労亀裂の進展抑制／検出シートの第八例の模式図であり、図 9 (a) は平面図、図 9 (b) は A - A ' 断面図、図 9 (c) は B - B ' 断面図である。なお、上記した疲労亀裂の進展抑制／検出シートと同一機能部材には同一符号を付して説明を省略する。

第八例の疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 (1 H) は、含水材 1 0 と、シート手段 2 0 と、支持体 3 0 と、貼付手段 4 0 と、酸化剤 1 2 0 を備える点などにおいては第七例の疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 G と同様であるが、酸化剤収納手段 1 3 0 を形成する孔部 1 1 が含水材 1 0 のみならず支持体 3 0 をも貫通している点において、第七例の疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 G とは異なっている。

含水材 1 0 及び支持体 3 0 を貫通する孔部 1 1 は複数形成されており、各孔部 1 1 にすっぽりと填まる形の酸化剤収納手段 1 3 0 が形成されている。

なお、本例においては酸化剤収納手段 1 3 0 の上部は上面 1 3 0 b によって塞がれているが、上面 1 3 0 b に着脱可能な上蓋等を形成しておき、そこから酸化剤 1 2 0 を適宜注入できるようにしてもよい。酸化剤収納手段 1 3 0 が、含水材 1 0 と支持体 3 0 を貫通してシート手段 2 0 の表面に臨み、閉塞した上面 1 3 0 b を開閉可能に構成して外部からの酸化剤 1 2 0 の補給を可能とすることで、長期間にわたって疲労亀裂内に酸化性ガスを供給することができる。

【 0 1 0 5 】

なお、図示は省略するが、進展抑制／検出シート 1 は、第四例の疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 D のように通気孔としての孔部 1 1 と、第八例の疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 H のように酸化剤収納手段 1 3 0 が箆合した孔部 1 1 の両方を備えた構成とすることもできる。

この場合は、例えば、通気孔としての孔部 1 1 が二つ連続して位置する隣に酸化剤収納手段 1 3 0 が箆合した孔部 1 1 が一つ位置し、その更に隣には再び通気孔としての孔部 1 1 が二つ連続して位置するというように、通気孔（空孔）である孔部 1 1 と酸化剤 1 2 0 が充填された孔部 1 1 が規則的又は不規則的に配置された並びとすればよい。

【 0 1 0 6 】

次に、母材 2 への疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 の適用形態の例について説明する。

疲労亀裂の進展抑制／検出の適用対象となる金属製の母材 2 としては、鉄や鋼など、疲労亀裂 3 が問題となる構造用金属であって、なおかつ湿潤環境下で腐食生成物（錆）を生じやすいものが対象である。適用する主な構造部位としては、切欠き部、溶接部等の応力集中部（疲労亀裂 3 の発生が予想される箇所）が挙げられる。

【 0 1 0 7 】

下表 1 は、対象とする疲労亀裂 3 の形態により想定される疲労亀裂の進展抑制／検出の八つの適用形態をまとめて示したものである。

【表 1】

適用形態	亀裂の形態	開口部の処置	
		表側	裏側
第一	貫通亀裂	開放	進展抑制／検出シート (酸素供給なし)
第二	貫通亀裂	乾燥防止膜	進展抑制／検出シート (酸素供給なし)
第三	貫通亀裂	開放	進展抑制／検出シート (酸素供給あり)
第四	貫通亀裂	乾燥防止膜	進展抑制／検出シート (酸素供給あり)
第五	貫通亀裂	進展抑制／検出シート (酸素供給あり)	進展抑制／検出シート (酸素供給あり)
第六	貫通亀裂	進展抑制／検出シート (酸素供給なし)	進展抑制／検出シート (酸素供給あり)
第七	貫通亀裂	酸化剤の塗布 (1回塗布／繰り返し塗布)	進展抑制／検出シート (酸素供給なし)
第八	非貫通亀裂	進展抑制／検出シート (酸素供給あり)	-

【0108】

まず、亀裂の形態が、母材 2 を貫通する貫通亀裂である場合、裏側の亀裂の開口部 3 b には、含水材 1 0 及び支持体 3 0 に孔部 1 1 又は間隙 1 2 が設けられていない疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 (以下、「酸素供給なしの疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1」という場合がある。)も、シート手段 2 0 が通気性を有し含水材 1 0 及び支持体 3 0 に孔部 1 1 又は間隙 1 2 が設けられている疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 (以下、「酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1」という場合がある。)のどちらも適用可能である。なお、孔部 1 1 は、上述のように、空孔のまま通気孔として用いられる場合と、酸化剤収納手段 1 3 0 が嵌合される場合がある。

30

第一の適用形態は、裏側の開口部 3 b に、酸素供給なしの疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 を貼付し、表側の亀裂の開口部 3 a は何も貼付せず開放したままとするものである。この場合、裏側の開口部 3 b に臨ませた含水材 1 0 の乾燥を防止しつつ、表側の開口部 3 a から十分な空気(酸素)が亀裂内に取り込まれるため、亀裂面上には腐食生成物(錆)が生じてくさび効果を発現し、亀裂進展が抑制される。

第二の適用形態は、裏側の開口部 3 b に、酸素供給なしの疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 を貼付し、表側の開口部 3 a を乾燥防止膜で部分的に覆うものである。表側の開口部 3 a を乾燥防止膜で覆うことで、表側の開口部 3 a から放出される水蒸気の量を少なくして含水材 1 0 の過度の乾燥を防止しつつ、腐食生成物を生じさせることができる。この場合、表側の開口部 3 a から十分な空気(酸素)が亀裂内に取り込まれるため、亀裂面上には腐食生成物(錆)が生じてくさび効果を発現し、亀裂進展が抑制される。なお、乾燥防止膜が通気性を有する場合は、表側の開口部 3 a を乾燥防止膜で全体的に覆ってもよい。

40

第三の適用形態は、裏側の開口部 3 b に、酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 を貼付し、表側の開口部 3 a は何も貼付せず開放したままとするものである。この場合、表側の開口部 3 a と、裏側の開口部 3 b に貼付された酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 を介して十分な空気(酸素)が亀裂内に取り込まれるため、亀裂面

50

上には腐食生成物（錆）が生じてくさび効果を発現し、亀裂進展が抑制される。

第四の適用形態は、裏側の開口部 3 b に、酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 を貼付し、表側の開口部 3 a を乾燥防止膜で覆うものである。この場合、裏側の開口部 3 b に貼付された酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 を介して十分な空気（酸素）が亀裂内に取り込まれるため、亀裂面上には腐食生成物（錆）が生じてくさび効果を発現し、亀裂進展が抑制される。なお、表側の開口部 3 a を、乾燥防止膜で部分的に覆う場合、又は通気性を有した乾燥防止膜で全体的に覆う場合は、表側の開口部 3 a から空気（酸素）を亀裂内に取り込ませることができる。

第五の適用形態は、裏側の開口部 3 b と表側の開口部 3 a に、酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 を貼付するものである。この場合、表側の開口部 3 a 及び裏側の開口部 3 b にそれぞれ貼付された酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 を介して十分な空気（酸素）が亀裂内に取り込まれるため、亀裂面上には腐食生成物（錆）が生じてくさび効果を発現し、亀裂進展が抑制される。また、裏側に加えて表側からも水分の供給が成され、亀裂内で満遍なく腐食生成物によるくさび効果が生じることにより、亀裂の進展をより一層抑制することができ、また亀裂の検出をより一層行いやすくすることができる。

第六の適用形態は、裏側の開口部 3 b に、酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 を貼付し、表側の開口部 3 a に、酸素供給なしの疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 を貼付するものである。この場合、裏側の開口部 3 b に貼付された酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 を介して十分な空気（酸素）が亀裂内に取り込まれるため、亀裂面上には腐食生成物（錆）が生じてくさび効果を発現し、亀裂進展が抑制される。

第七の適用形態は、裏側の開口部 3 b に、酸素供給なしの疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 を貼付し、表側の開口部 3 a に、ジェル状又は液体の酸化剤 1 2 0 を塗布するものである。この場合、裏側の開口部 3 b に臨ませた含水材 1 0 の乾燥を防止しつつ、表側の開口部 3 a から酸素等の酸化性ガスが亀裂内に取り込まれるため、亀裂面上には腐食生成物（錆）が生じてくさび効果を発現し、亀裂進展が抑制される。なお、酸化剤 1 2 0 の種類は任意だが、例えば、ジェル状にした次亜塩素酸塩を用いる。また、酸化剤 1 2 0 を注入する方法やタイミングも任意であるが、ジェル状の酸化剤 1 2 0 を表側の開口部 3 a に塗布すれば、亀裂開閉口に伴うポンプ効果や毛細管現象により自動的に疲労亀裂 3 内に酸化剤 1 2 0 が輸送されることが期待できる。但し、塗布後の酸化剤 1 2 0 の効果は比較的短時間で消失することが多いため、手作業による塗布作業は疲労亀裂 3 の進展に伴って断続的に繰り返すことが好ましい。これにより、亀裂進展の初期段階から終盤に至るまで進展抑制効果を維持することができる。

【 0 1 0 9 】

一方、亀裂の形態が、母材 2 を貫通していない非貫通亀裂である場合、酸素供給なしの疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 は、亀裂内へ酸素を供給できないので適用できない。これに対して、酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 は、亀裂から酸素を取り入れなくともシート手段 2 0、支持体 3 0 及び含水材 1 0 を通して、又は酸化剤 1 2 0 から酸素を亀裂内に供給できる。

このため、第八の適用形態は、裏側に疲労亀裂 3 による開口部 3 b が無く表側にのみ開口部 3 a が有る場合において、表側の開口部 3 a に、酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 を貼付するものである。

【 0 1 1 0 】

図 1 0 は第一の適用形態を亀裂も含めて示した模式図である。なお、実際の亀裂面は平面とはならないが、図 1 0 では簡単のため平面として模式化してある。

金属製の母材 2 に生じた板厚を貫通する疲労亀裂 3 について、裏側の開口部 3 b を覆うように下方から第一例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 A の含水材 1 0 の底面 1 0 a を押し当て、粘着させている。また、シート手段 2 0 は含水材 1 0 の支持体 3 0 を覆うように設けられており、その底面 2 0 a は母材 2 の裏面 2 a に密着している。

第一例の疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 A は、シート手段 2 0 が通気性を有さず含

10

20

30

40

50

水材 10 及び支持体 30 に通気孔が設けられていないが、この場合は反対側（表側）の亀裂の開口部 3a が開放されており、開口部 3a から十分な空気（酸素）が亀裂内に取り込まれるため、亀裂面上には腐食生成物（錆）が生じてくさび効果を発現し、亀裂進展が抑制される。

【0111】

図 11 は第二の適用形態を亀裂も含めて示した模式図である。なお、実際の亀裂面は平面とはならないが、図 11 では簡単のため平面として模式化してある。

第二の適用形態は、図 10 における第一の適用形態と比較すると、表側の開口部 3a を一定の通気性を有する乾燥防止膜 90 で覆っている点において異なり、その余の点は同じである。この場合も乾燥防止膜 90 を通じて開口部 3a から十分な空気（酸素）が亀裂内に取り込まれるため、亀裂面上には腐食生成物（錆）が生じてくさび効果を発現し、亀裂進展が抑制される。

10

【0112】

図 12 は第八の適用形態を亀裂も含めて示した模式図である。なお、実際の亀裂面は平面とはならないが、図 12 では簡単のため平面として模式化してある。

金属製の母材 2 に生じた板厚非貫通の疲労亀裂 3 について、表側の開口部 3a を覆うように上方から第四例の疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1D の含水材 10 の底面 10a を押し当て、粘着させている。また、シート手段 20 は含水材 10 の支持体 30 を覆うように設けられており、その底面 20a は母材 2 の表面に密着している。

微小空気孔を有するシート手段 20 は空気を遮断せず、含水材 10 及び支持体 30 に設けられた孔部 11 を通じて十分な空気（酸素）が亀裂の内部に取り込まれるため、亀裂面上には腐食生成物（錆）が生じてくさび効果を発現し、亀裂進展が抑制される。

20

【0113】

なお、含水材 10 とシート手段 20 又はシート手段 20 で覆われた酸化剤 120 を母材 2 の疲労亀裂 3 の発生するおそれのある箇所に予め設けてもよい。母材 2 に疲労亀裂 3 が生じる前に疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 を貼付しておくことで、発生直後の微小亀裂に対して進展抑制及び検出を確実に行うことができる。

【0114】

また、母材 2 の材質が鋼又は鉄である場合に酸素供給ありの疲労亀裂の進展抑制／検出シート 1 を適用すると、亀裂面には腐食生成物として主に赤錆（ Fe_2O_3 ）が発生する。この赤錆が発生した際に、錆転換剤を用いて黒錆に転換させることが好ましい場合がある。赤錆は比較的脆く脱落しやすい性質であるため、錆転換剤を用いて黒錆（ Fe_3O_4 ）に変質させると、より堅固で安定な錆層となり、それ以降の過剰な腐食反応による材質劣化を防止することができる。

30

錆転換剤の種類は任意だが、例えば、タンニン酸とラテックスの混合物を錆転換剤として用いる。

【0115】

次に、本発明における疲労亀裂の進展抑制方法及び亀裂進展抑制／検出シートの効果を検証するために行った、鋼製の切欠き付き平板試験片を用いた疲労亀裂進展試験について説明する。

40

【0116】

図 13 は疲労亀裂進展試験に用いた試験片を示す図である。

試験片 100 は、JIS SM490A 鋼製の板厚 5 mm の平板試験片の中央部に長さ 10 mm × 幅 0.3 mm の切欠きを加工したものをを用いた。

試験機は、電気 - 油圧サーボ式疲労試験機（島津製作所製、動的容量 10 tonf）を用いた。また、試験機を設置してある実験室では試験中、常時エアコン稼働し、試験部周辺の気温を常温（22 ~ 30）に保った。

試験条件は、以下のとおりである。

(a) 通常試験時：切欠きのない断面における公称応力レンジ $\sigma_n = 104 \text{ MPa}$ 、応力比 $R = 0$ （引張側完全片振り）、荷重周波数 $f = 5.1 \text{ Hz}$ 。

50

(b) ピーチマーク形成時：最大応力は(a)と同じに保持したまま最小応力を上げて応力レンジを(a)の約1/4に減少、荷重周波数 $f = 13 \text{ Hz}$ 。なお、ピーチマーク形成のタイミングは、表面亀裂長さを計測しながら適宜設定した。

【0117】

疲労亀裂進展試験を実施した比較例1、2及び実施例1～6の内容について、下表2にまとめて示す。疲労亀裂3の形態は、いずれも貫通亀裂である。

【表2】

例	亀裂の形態	開口部の処置	
		表側	裏側
比較例1	貫通亀裂	開放	開放
比較例2	貫通亀裂	進展抑制/検出シート(酸素供給なし) ※シート手段：マグネットシート	進展抑制/検出シート(酸素供給なし) ※シート手段：マグネットシート
実施例1	貫通亀裂	開放(切欠き部のみ乾燥防止膜)	進展抑制/検出シート(酸素供給なし) ※シート手段：マグネットシート
実施例2	貫通亀裂	進展抑制/検出シート(酸素供給あり) ※シート手段：多孔質フィルム	進展抑制/検出シート(酸素供給あり) ※シート手段：多孔質フィルム
実施例3	貫通亀裂	進展抑制/検出シート(酸素供給あり) ※シート手段：マグネットシート	進展抑制/検出シート(酸素供給あり) ※シート手段：マグネットシート
実施例4	貫通亀裂	開放	進展抑制/検出シート(酸素供給なし) (含水材の液体：3% NaCl水溶液) ※シート手段：マグネットシート
実施例5	貫通亀裂	酸化剤の塗布(開始時の1回のみ、亀裂進展予想経路周辺に塗布)	進展抑制/検出シート(酸素供給なし) ※シート手段：マグネットシート
実施例6	貫通亀裂	酸化剤の塗布(除去及び塗布を適時繰り返し、亀裂先端近傍を中心に塗布)	進展抑制/検出シート(酸素供給なし) ※シート手段：マグネットシート

【0118】

比較例1は、疲労亀裂の進展抑制/検出シート1を用いずに試験片100(金属製の母材2)のまま試験したものである。

比較例2は、試験片100の表裏両側の亀裂の開口部3a及び3bに、酸素供給なしの疲労亀裂の進展抑制/検出シート1を貼付し、シート手段20としてマグネットシートを用いたものである。

一方、実施例1は、上記した第二の適用形態を具現化したもので、試験片100の裏側の亀裂の開口部3bに、酸素供給なしの第一例の疲労亀裂の進展抑制/検出シート1Aを貼付し、表側の亀裂の開口部3aは開放状態とするものの、過度の乾燥を防ぐため中央の切欠き部にのみ乾燥防止膜90としてセロハンテープを貼付したものである。

また、実施例2及び実施例3は、いずれも上記した第五の適用形態を具現化したもので、試験片100の表裏両側の亀裂の開口部3a及び3bに、含水材10及び支持体30が孔部11を有する酸素供給ありの第四例の疲労亀裂の進展抑制/検出シート1Dを貼付したものである。実施例2では、シート手段20として、多孔質フィルム(株式会社ニトムズ製、医療衛生用フィルム「優肌パーミロールHS」)を用いている。実施例3では、シート手段20として、厚さ0.9mmのマグネットシートを用いている。図14は実施例2における第四例の疲労亀裂の進展抑制/検出シート1Dの外観(表側、荷重載荷前)を示す写真である。

また、実施例4は、実施例1と同様に上記した第二の適用形態を具現化したものであるが、開放状態とする表側の亀裂の開口部3aに乾燥防止膜90(セロハンテープ)を貼付していない。さらに、実施例1～3は含水材10に含ませる液体として水を用いているが、実施例4だけは含水材10に含ませる液体として水ではなく3% NaCl水溶液を用い

30

40

50

た。具体的には、他の実施例（実施例 1～3）で用いている水を含ませた含水材 10 を一旦乾燥させた後、3% NaCl 水溶液中に浸漬し、含水材 10 中に 3% NaCl 水溶液を含浸させた。

【0119】

また、実施例 5 及び実施例 6 は、いずれも上記した第七の適用形態を具現化したもので、試験片 100 の裏側の亀裂開口部 3b に、酸素供給なしの第一例の疲労亀裂の進展抑制/検出シート 1A を貼付したものである。実施例 5 及び実施例 6 では、シート手段 20 として、マグネットシートを用いた上、試験片 100 の表側の亀裂開口部 3a には、ジェル状の酸化剤 120（株式会社 UYEKI 製、カビ取り用洗浄剤『カビトルデスプロ（強力ジェルタイプ）』、成分：次亜塩素酸塩、水酸化カリウム（1.0%）、ゲル化剤、安定化剤、防カビ剤）を塗布した。

10

実施例 5 では、試験開始時に 1 回だけ、試験片 100 の切欠き端部を含む亀裂進展予想経路周辺に酸化剤 120 を塗布した。一方、実施例 6 では、試験開始時に切欠き端部に酸化剤 120 を点状に塗布した後、適当な荷重繰り返し数となった時点で既に塗布済みの酸化剤 120 を工業用ワイパー紙で拭き取った後、新たな酸化剤 120 を亀裂先端近傍に塗布し、以後、この酸化剤 120 の拭き取りと酸化剤 120 の塗布という工程を、適当な荷重繰り返し数間隔を置いて試験終了まで断続的に繰り返した。

【0120】

図 15 は各比較例及び実施例についての疲労亀裂進展試験の結果として亀裂進展曲線を示す図であり、縦軸は片側亀裂長さ（＝切欠き部の両端から板幅方向に進展する 2 本の亀裂の長さの平均値）[mm]、横軸はサイクル数（荷重繰り返し数）[回]である。図 15 において、「■」は比較例 1、「□」は比較例 2、「△」は実施例 1、「○」は実施例 2、「◇」は実施例 3、「◇（灰色塗り）」は実施例 4、「◇（点線）」は実施例 5、「◇（斜線）」は実施例 6 の結果を示し、点線は各々における破断寿命を示している。

20

また、下表 3 は各比較例及び実施例についての疲労亀裂進展試験の結果として破断寿命を示す表である。寿命比は比較例 1 を基準としている。

【表 3】

例	破断寿命 (回)	寿命比
比較例 1	572724	1.00
比較例 2	636912	1.11
実施例 1	933347	1.63
実施例 2	799872	1.40
実施例 3	793896	1.39
実施例 4	2157460	3.77
実施例 5	767448	1.34
実施例 6	1067030	1.86

【0121】

図 15 及び表 3 より、試験片 100（母材 2）のままの比較例 1 と比べると、酸素供給なしの比較例 2 でも若干の亀裂進展抑止効果が現れているが、破断寿命比は 1.11 であり、効果の程度は軽微であることが分かる。

40

一方、第二の適用形態を具現化した実施例 1 では、亀裂進展の初期段階から顕著な進展抑制効果が現れており、比較例 1 に対する破断寿命比は 1.63 であった。

ここで、図 16 は比較例 1 の破断面の拡大写真、図 17 は実施例 1 の破断面の拡大写真である。両者とも、疲労亀裂 3 は写真右側の切欠き端から発生し、その後、荷重繰り返しに伴い写真左方向に進展して破断に至った。

図 16 における比較例 1 の破面では、試験片 100 の破面上に間隔を置いて形成された楕円弧上のピーチマークが明瞭に認められる。一方、図 17 における実施例 1 の破面では

50

、亀裂の発生直後から、試験片100の表裏面から板厚中央部分にかけての破面には顕著なくさび（やや光沢を有し白っぽく見える部分）が形成されており、片側亀裂長さ15mm（板厚の3倍）を超える範囲に連続的なくさびの形成が認められる。試験片100には部分的に不明瞭なピーチマーク模様が残る部分も認められるが、疲労亀裂の進展抑制/検出シート1の効果による亀裂内の腐食反応により試験片100の破面が黒っぽく変色していることが分かる。

また、図15及び表3より、含水材10に含ませる液体として3%NaCl水溶液を用いた実施例4では、片側亀裂長さが4mmを超えたあたりから特に顕著な進展抑制効果が現れており、比較例1に対する破断寿命比は3.77と、実施例1～6のなかで最も大きな寿命延伸効果を示した。

加えて、第五の適用形態を具現化した実施例2及び3でも、実施例1と同様に亀裂進展の初期段階から進展抑制効果が現れ、比較例1に対する破断寿命比は両者とも1.4程度であり、実施例1よりはやや低いものの、明瞭な寿命延伸効果を示していることが分かる。

【0122】

一方、酸化剤120を最初に1回だけ塗布した実施例5では、試験前半のサイクル数50万回以下の領域では酸化剤120の効果で実施例2及び実施例3よりも若干大きな亀裂進展抑制効果を示しているものの、それ以後は両者の関係が逆転し、最終的な破断寿命比は1.34となっている。この逆転の原因としては、1回だけの塗布では酸化剤120の効果が長くは続かないこと、残存する酸化剤120の膜によって通気性が却って悪化してしまうこと等が考えられる。

これに対し、酸化剤120の塗布と除去とを断続的に繰り返した実施例6では、亀裂進展の初期段階から終盤に至るまで一貫して顕著な進展抑制効果が現れており、比較例1に対する破断寿命比は1.86と、比較的大きな寿命延伸効果を示した。

ここで、図18は実施例6の破断面の拡大写真である。実施例6の場合も比較例1（図16）、実施例1（図17）と同様に亀裂は写真右側の切欠き端から発生し、その後、荷重繰り返しに伴い写真左方向に進展して破断に至った。実施例6（図18）と比較例1（図16）との違いは明らかで、実施例6では亀裂の発生直後から破面には顕著な腐食生成物のくさびが形成されており、片側亀裂長さ15mm（板厚の3倍）程度の範囲では腐食生成物によってピーチマークが判別できなくなっている。更に亀裂が進展した領域では数本のピーチマークが認められるが、試験片100の表裏（画像の上下）で大きく歪んだ形となっており、酸化剤120を塗布した表側（画像の上側）付近の破面上には黒錆様の物質が顕著に生成されており、板厚中心や裏側と比較して亀裂の進展がより大きく抑制されたことがピーチマーク形状から見てとれる。

【0123】

図19は酸化剤及び錆転換剤による疲労破面の変化を示す写真であり、図19（a）は鋼の疲労破面、図19（b）は酸化剤塗布後1日経過時点の破面、図19（c）は錆転換剤塗布後2日経過時点の破面である。

鋼の疲労破面に作用する水分、酸化剤120及び錆転換剤の効果をみるため、試験片100よりも厚板の鋼製平板試験片100Aの疲労破面を用いた検証試験を行った。

試験に用いた試験破面は、JIS SM400B鋼製の板厚10mmの平板試験片を疲労破断させた疲労破面であり（図19（a）参照）、亀裂は破面右端の切欠き端部から発生し、画像左方向に進展した後、破面左端で延性破壊した。

また、試験に用いた酸化剤は、実施例5及び実施例6用いたものと同じジェル状の酸化剤120である。

また、試験に用いた錆転換剤は、市販の錆転換剤（ニッペホームプロダクツ株式会社製、『さびチェンジ』、成分：タンニン酸、ラテックス）である。

【0124】

試験破面に酸化剤120を満遍なく塗布した後、水道水を含ませた工業用ワイパー紙で破面全体を覆って湿潤状態とした。図19（b）に示すように、酸化剤120の塗布後、

10

20

30

40

50

略 1 日間経過した時点で、破面の随所に赤錆の発生が認められた。

次に、試験破面から酸化剤 1 2 0 をワイパー紙で除去した後、錆転換剤を満遍なく塗布した。図 1 9 (c) に示すように、錆転換剤塗布後、略 2 日間経過した時点で、破面全体が一様に黒色の防錆皮膜で覆われていた。

【 0 1 2 5 】

図 2 0 は実施例 2 において疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 によって亀裂を検出した結果を示す写真であり、図 2 0 (a) は荷重繰り返し数 $N = 4 8 0 0 0 0$ 回、図 2 0 (b) は荷重繰り返し数 $N = 5 7 6 0 0 0$ 回、図 2 0 (c) は荷重繰り返し数 $N = 6 7 2 0 0 0$ 回、図 2 0 (d) は荷重繰り返し数 $N = 7 9 8 0 0 0$ 回のものである。

試験片 1 0 0 の切欠き両端から疲労亀裂 3 が発生・伝播し、荷重繰り返し数 N の増加と共に成長していくが、実施例 2 においては疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 の作用によって亀裂内には腐食生成物（錆）が生じるため、亀裂の開口部 3 a に密着した含水材 1 0 の表面には、亀裂の開口部 3 a に沿う形で腐食生成物が転写され、亀裂の開口部 3 a の形状がレプリカとして転写される。

図 2 0 の各図に示した白線及び長さ表示は、それぞれの荷重繰り返し数 N における実亀裂長さの合計（切欠き部の長さ + 試験片 1 0 0 の表面における左右の疲労亀裂長さの和）を示している。実亀裂長さの合計は、図 2 0 (a) では 1 9 . 0 mm、図 2 0 (b) では 2 2 . 5 mm、図 2 0 (c) では 2 7 . 3 mm、図 2 0 (d) では 5 1 . 1 mm である。疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート 1 上に転写された亀裂形状のレプリカは実亀裂形状と良く対応しており、目視による亀裂検出が可能であることが分かる。

【 0 1 2 6 】

以上のように、本発明による疲労亀裂の進展抑制 / 検出方法及び進展抑制 / 検出シートは、浸漬状態のように亀裂面の金属イオンが著しく溶出することがなく、亀裂面上に適度の腐食生成物（錆）が生じる程度の湿潤腐食環境を現場で簡便かつ局所限定的に作り出し、生じさせた腐食生成物のくさび効果により、従来は困難であった亀裂先端部においても、亀裂の進展を効果的に抑制することができ、また亀裂を目視により容易に検出することが可能となる。さらに、外圧や接触に強いいため、施工性や耐環境性を向上させることができる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 2 7 】

本発明は、船舶や海洋構造物、車両や航空機、橋梁や工作機械等、疲労亀裂が発生している、また疲労亀裂の発生が懸念される様々な金属製の構造物に適用することができる。

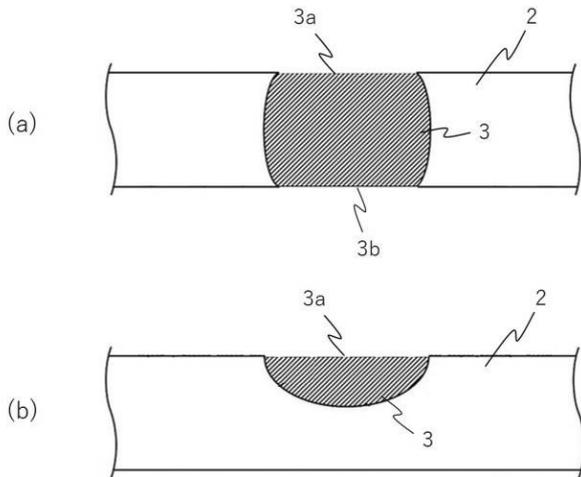
【 符号の説明 】

【 0 1 2 8 】

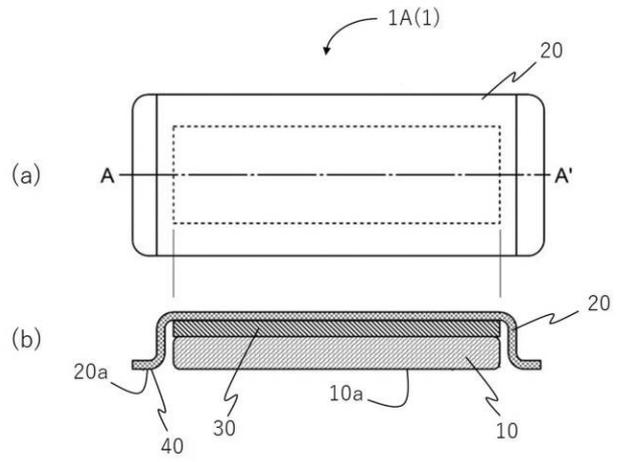
- 1 疲労亀裂の進展抑制 / 検出シート
- 2 母材
- 3 疲労亀裂
- 3 a、3 b 疲労亀裂の開口部
- 1 0 含水材（含水ジェル）
- 1 1 孔部
- 2 0 シート手段（マグネットシート）
- 3 0 支持体
- 4 0 貼付手段
- 5 0 流電陰極
- 6 0 導線
- 7 0 耐久電極
- 8 0 直流電源手段
- 9 0 乾燥防止膜
- 1 1 0 加熱手段
- 1 2 0 酸化剤

- 1 3 0 酸化剤収納手段
- 1 3 0 a 開口（酸化剤収納手段開口部）
- 1 3 0 b 上面

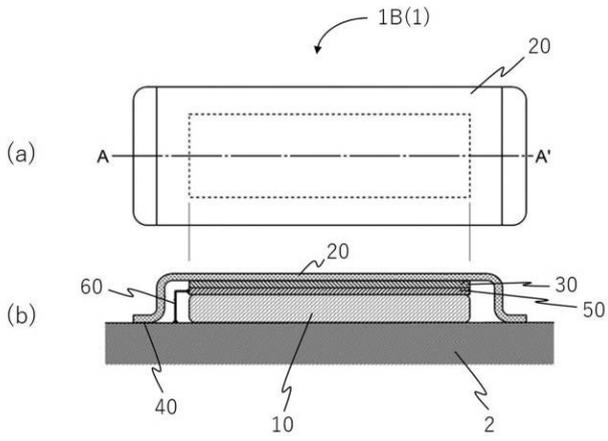
【 図 1 】



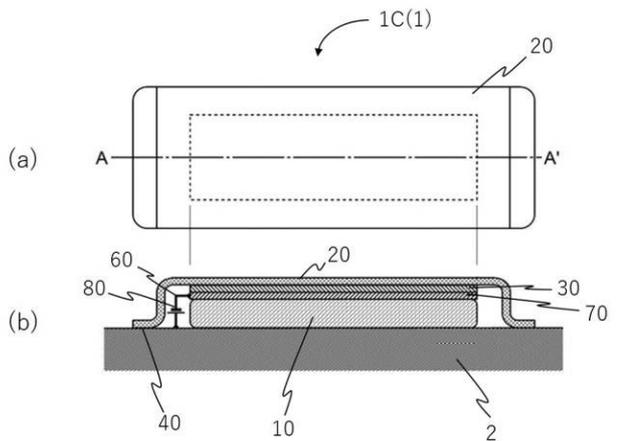
【 図 2 】



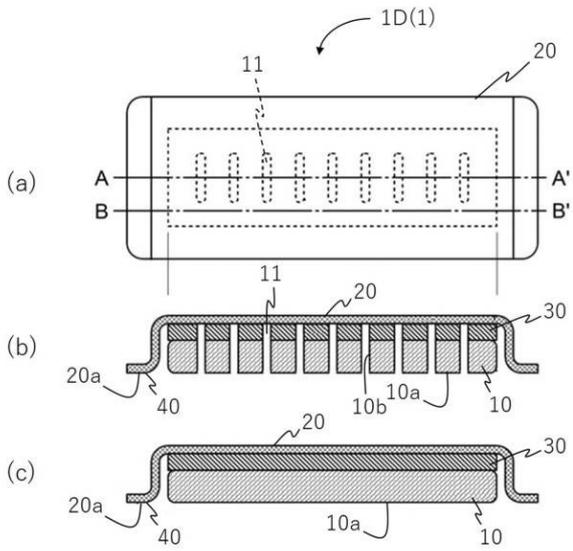
【 図 3 】



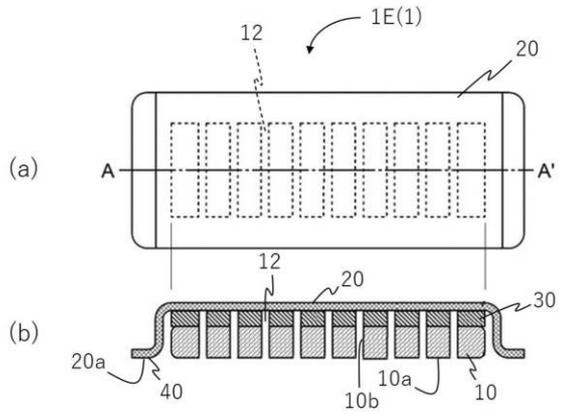
【 図 4 】



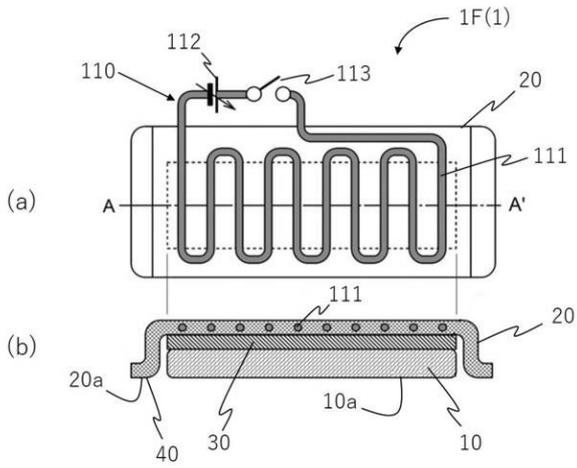
【 図 5 】



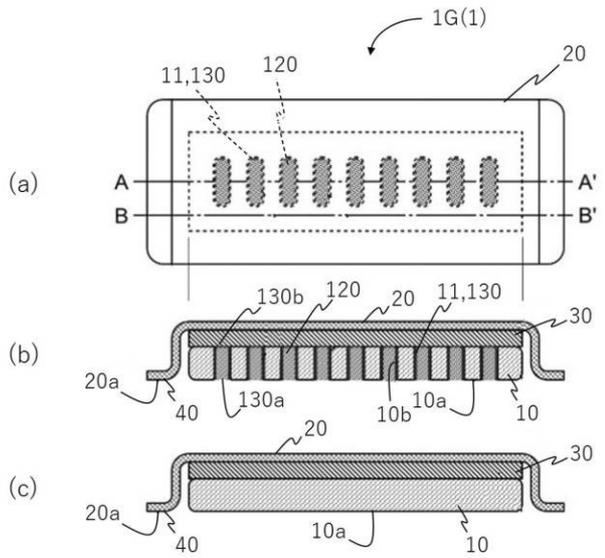
【 図 6 】



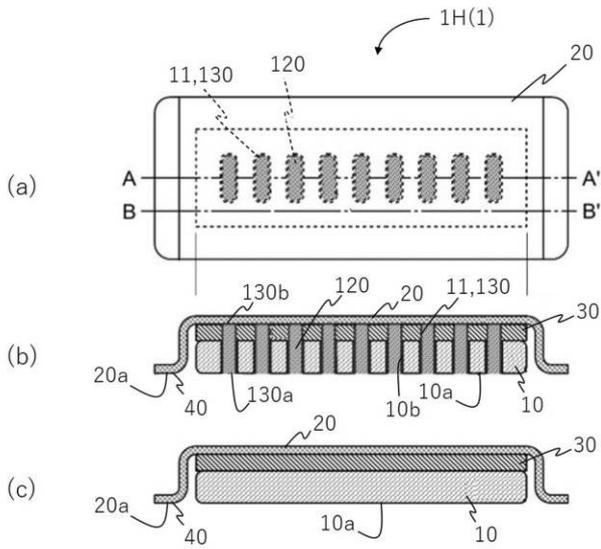
【 図 7 】



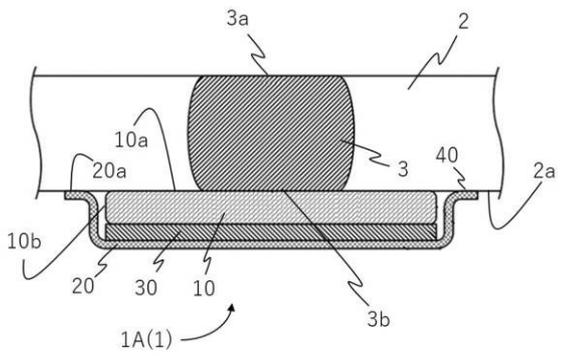
【 図 8 】



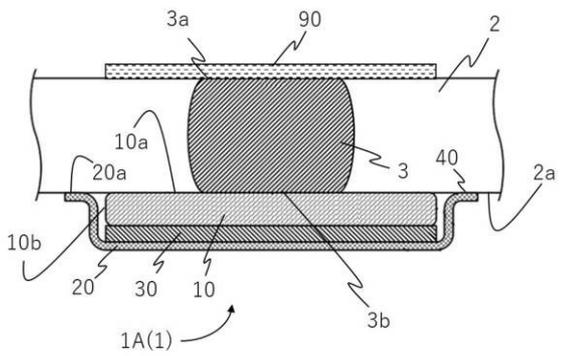
【 図 9 】



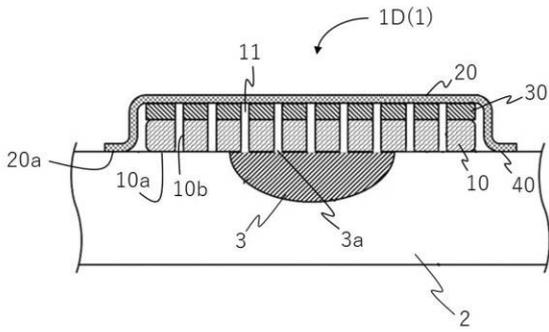
【 図 10 】



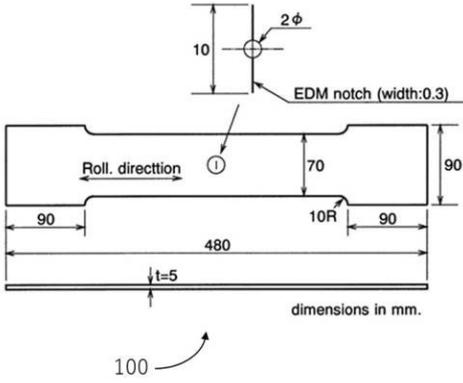
【 図 11 】



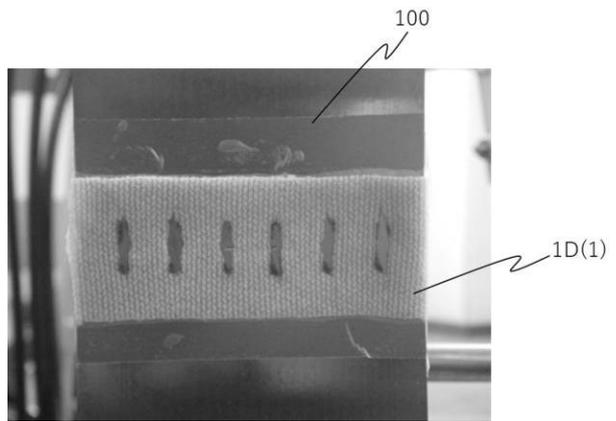
【図12】



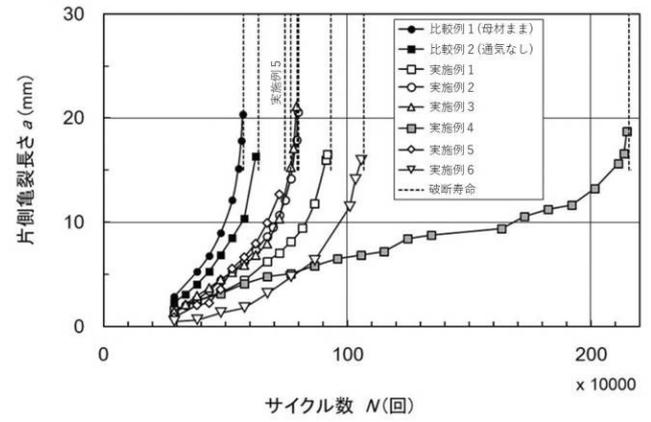
【図13】



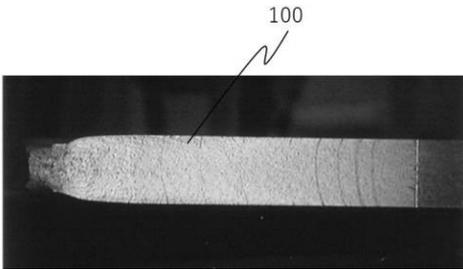
【図14】



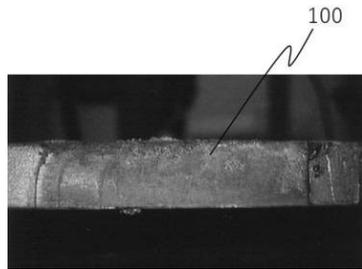
【図15】



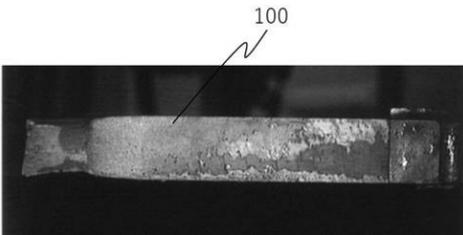
【図16】



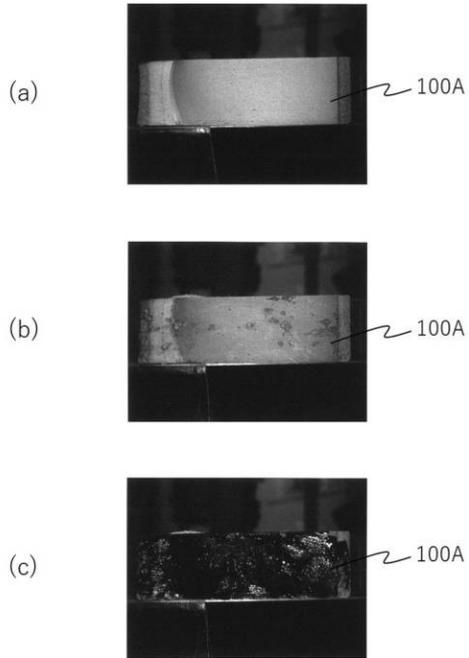
【図18】



【図17】



【 図 19 】



【 図 20 】

