

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5597873号
(P5597873)

(45) 発行日 平成26年10月1日(2014. 10. 1)

(24) 登録日 平成26年8月22日(2014. 8. 22)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 N 21/27 (2006. 01)
G 2 1 C 3/06 (2006. 01)G O 1 N 21/27 A
G 2 1 C 3/06 Z

請求項の数 16 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2010-537464 (P2010-537464)	(73) 特許権者	510163846
(86) (22) 出願日	平成20年12月12日(2008. 12. 12)		コミシリア ア レネルジ アトミック
(65) 公表番号	特表2011-506946 (P2011-506946A)		エ オ エナジーズ オルタネティヴズ
(43) 公表日	平成23年3月3日(2011. 3. 3)		フランス、エフ-75015 パリ、パテ
(86) 国際出願番号	PCT/EP2008/067444		イマ <ル ポナン デー>、25 リュ
(87) 国際公開番号	W02009/077459		ルブラン
(87) 国際公開日	平成21年6月25日(2009. 6. 25)	(74) 代理人	100071054
審査請求日	平成23年12月12日(2011. 12. 12)		弁理士 木村 高久
(31) 優先権主張番号	07/08742	(72) 発明者	アレグレ、ステファン
(32) 優先日	平成19年12月14日(2007. 12. 14)		フランス、エフ-91300 マシー、リ
(33) 優先権主張国	フランス (FR)		ュ ジャン メルモー、2
		(72) 発明者	シャショ、ロイック
			フランス、エフ-92130 イッシー
			レ ムリノー、リュ マルセル ミゲル、
			30

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 合金、特に核燃料クラディング合金内の水素化物の画像を解析する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原画像(20)が合金の試料を表すピクセル(70)からなり、水素化物がピクセル群(21)で表される、合金内の水素化物の画像を解析する方法であって、前記方法が、前記画像を処理して、前記画像内に含まれる前記ピクセル群(21)のスケルトン化表現(21')を得るステップ(1、2、3、4、5)を含み、スケルトン化ステップ(5)の後に、そうしてスケルトン化表現(21')に関連する解析ステップ(6、10)が続き、前記解析ステップ(6)が、前記試料内の水素含有率の計算を実行する方法において、前記解析ステップ(10)が、水素化物の危険係数を導出し、この危険係数が、スケルトン化表現(21')内の前記水素化物の形態の関数である値であり、水素化物の前記危険係数が、以下の式：

【数 1】

$$D = \sqrt{L^2 + \theta^2 + \frac{1}{p^2}}$$

(式中、Lは、スケルトン化表現(21')の長さを表し、θは向きを表し、pは他の水素化物への近接度を表す)

に従って定義される大きさDであることを特徴とする、方法。

【請求項 2】

前記合金がジルコニウム合金であることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記合金が、核燃料ロッドの保護クラディングを形成することを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記水素含有率が、前記水素化物を表す前記画像の前記スケルトン化表現 (2 1 ') のすべてからなる面積 H の計算により特定され、前記面積 H が、水素含有率が分かっている参照試料に基づいて構築される較正曲線 (6 1) と比較され、前記試料の水素化物を表すピクセル群が、予め定められた測定オプションに対応し、前記較正曲線が、水素含有率の関数として前記面積 H を表す曲線であり、前記較正曲線が、面積 H と前記参照試料の対応する水素含有率とにより形成されるペアに対応する測定点に基づいて定義され、前記参照試料の前記面積 H の前記計算が、解析される前記試料と同じ測定オプションに沿って実行されることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の方法。

10

【請求項 5】

前記面積 H が、前記画像 (4 1) の全面積上の前記水素化物を表す前記スケルトン化表現 (2 1 ') の面積の合計に等しいことを特徴とする、請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記較正曲線 (6 1) が、前記参照試料の前記測定点のすべてからの最小距離を示すことを特徴とする、請求項 4 または 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記長さ L が、前記スケルトン化表現 (2 1 ') の分枝の長さの合計により定義されることを特徴とする、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の方法。

20

【請求項 8】

前記長さ L が、軸に平行なスケルトン化表現 (2 1 ') の 2 つの最も離れた点間の距離により定義されることを特徴とする、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

前記長さ L が、スケルトン化表現 (2 1 ') の 2 つの最も離れた点間の距離により定義されることを特徴とする、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 10】

前記向きが、以下の式：

30

【数 2】

$$\theta_{mean} = \frac{\sum_i \theta_i d_i}{\sum_i d_i}$$

(式中、i がスケルトン化後の前記水素化物の前記分枝の順番を表し、 θ_i が、参照軸に対する順番 i の分枝の向きを表し、 d_i が、順番 i の前記分枝の長さを表す) に従う平均向き θ_{mean} により定義されることを特徴とする、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 11】

前記向きが、スケルトン化後の前記水素化物の 2 つの最も離れた点間の向きであることを特徴とする、請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の方法。

40

【請求項 12】

前記向きが、スケルトン化後の前記水素化物の分枝の 2 つの最も離れた交点間の向きであることを特徴とする、請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 13】

前記近接度 p が、最も近い隣接する水素化物の近接間の距離 (8 1) により定義され、この距離が、 $0^\circ \sim 180^\circ$ の分枝間の角度での一方の前記スケルトン化表現 (2 1 ') の各端部と他方の水素化物 (2 1 ') の両端部との距離の計算により定義され、端部毎に、この距離の最小のものがとられ、前記近接度の値は、前記最小距離のうちの最小のもの

50

であることを特徴とする、請求項 1 ~ 12 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 14】

一方では $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ の分枝間の角度、他方では $180^{\circ} \sim 360^{\circ}$ での一方の前記スケルトン化表現 (21') の各端部と他方の水素化物 (21') の両端部との距離の計算を特徴とする、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記試料の危険係数 D_{mean} が定義され、この危険係数 D_{mean} が、前記試料の前記画像 (41) に存在する前記水素化物の前記危険係数の平均であることを特徴とする、請求項 1 ~ 14 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 16】

前記試料に対して最大危険係数 D_{max} が定義され、この危険係数 D_{max} が、前記試料の前記画像 (41) 内に存在するすべての前記水素化物のうちの最大の前記危険係数に対応することを特徴とする、請求項 1 ~ 15 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、合金内の水素化物の画像を解析する方法に関する。特に、本発明は、例えば、原子力発電所内で使用される燃料をクラディングする材料であるジルコニウムの合金に対する、画像解析による金属組成検査に適用される。

【背景技術】

【0002】

特に材料を検査するための業界検査作業では、画像解析が使用される。この種の解析は特に、原子力発電所の燃料のクラディングの検査および保守に適用され、これらクラディングはジルコニウムで作られる。周囲温度でのジルコニウム内での水素の溶解限度が非常に低いため、水素は水素化物の形態でジルコニウムと共に析出され、特定の状況では、これはクラディングの機械的強度に有害な恐れがある。周囲温度で形成される水素化物の量は、材料内の水素含有率に直接比例する。クラディング試料の画像解析を使用して、この試料が示す水素含有率を定量化することができ、画像は、例えば、光学顕微鏡または電子走査顕微鏡により得られる。水素化物の形態に関する他の情報、例えば、平均サイズ、既知の軸に対する近接度または向きも、画像解析により定量化可能である。

【0003】

この方法は、放射線に曝される材料で特に重要な、水素化物の局所的かつ非破壊的解析であるため、真空熱抽出 (vacuum thermal extraction) 方法よりも優れたいくつかの利点がある。したがって、解析のために試料を破壊する必要がない。次に、同一の試料に対していくつかの検査を施すことができる。これは、特に、多くの処理を必要とする厄介な作業の場合、多すぎる試料の使用を回避することにより、解析を経済的に実施可能にすることができる。

【0004】

しかし、画像を撮影する前の試料の準備中、試料は研磨および薬品による攻撃を受ける。薬品による攻撃の目的は、水素化物の暴露である。酸混合物が、好ましくは、光学コントラストにより明らかになる水素化物を溶かす。不都合なことに、薬品による攻撃はまた、水素化物周囲の母材にわずかに穴を開け、水素化物のサイズ、特に厚さを際立たせがちである。水素化物を実際の寸法で観察可能な後方散乱電子での電子走査顕微鏡による検査とは異なり、光学顕微鏡では、薬品による攻撃が激しいほど、水素化物は幅広になる。したがって、確実な解析、特に水素化物の有効な特徴付けを実行することが困難である。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の目的は、特に、量および質の両方の観点から水素化物の確実な解析を可能にすることである。したがって、本発明の主題事項は、合金内の水素化物の画像を解析する方

10

20

30

40

50

法である。原画像は、合金の試料を表すピクセルからなり、水素化物はピクセル群により表され、上記方法は、画像を処理して、画像内に含まれるピクセル群のスケルトンを得るステップを含み、スケルトン化ステップ後、そうしてスケルトン化された群に関する解析ステップが続き、解析ステップは、試料内の水素含有率の計算を実行し、含有率が、水素化物を表す画像のピクセル群のすべてからなる面積Hの計算により特定され、上記面積Hは、水素含有率が既知の参照試料に基づいて構築された較正曲線と比較され、水素化物を表すピクセル群は予め定められた測定オプションと一致し、較正曲線は、水素含有率の関数として面積Hを表す曲線であり、面積Hと参照試料の対応する水素含有率とにより形成されるペアに対応する測定点に基づいて定義され、面積Hの計算は、解析される試料の場合と同じ測定オプションに沿って実行される。

10

【0006】

合金は、例えば、特に核燃料ロッドの保護クラディングを形成するジルコニウム合金である。

【0007】

面積Hは、例えば、画像の全面積上の水素化物を表すピクセル群の合計面積に等しい。

【0008】

有利なことに、解析ステップは、水素化物の危険係数を導出し、この危険係数は、スケルトン化された表現での水素化物の形態の関数である値である。

【0009】

水素化物の危険係数は、水素化物の長さL、合金内の向きθ、または最も近い水素化物からの距離pにより定義される近接度の関数であり得る。

20

【0010】

水素化物の危険係数は、例えば、以下の式に従って定義される大きさDである。

【数1】

$$D = \sqrt{L^2 + \theta^2 + \frac{1}{p^2}}$$

式中、Lは水素化物の長さを表し、θは向きを表し、pは他の水素化物に対する近接度を表す。有利なことに、危険係数 D_{mean} が試料に対して定義され、この危険係数 D_{mean} は、試料の画像内に存在する水素化物の危険係数の平均である。

30

【0011】

同様に、例えば、最大危険係数 D_{max} が試料に対して定義され、この危険係数 D_{max} は、試料の画像内に存在するすべての水素化物の最大危険係数に対応する。

【0012】

本発明の他の特徴および利点は、添付図面に関連して行われる以下の説明を用いて明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明による方法の可能なステップの図である。

40

【図2】合金試料の原画像を切断する第1のステップの図である。

【図3】画像の二値化ステップの図である。

【図4】画像のスケルトン化ステップの図である。

【図5】試料内の水素含有率を与える解析ステップの図である。

【図6】水素含有率を特定するために使用される較正曲線の例である。

【図7】同一の水素化物にピクセルが属することを定義するための関連性規則の例である。

。

【図8】2つの水素化物の近接度の図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

50

図 1 は、例えば原子力発電所内の放射後の燃料ロッドのジルコニウム合金クラディング内に存在する水素化物の解析に適用される、本発明による方法の可能なステップを示す。事前ステップにおいて、クラディング試料の画像が撮影される。この画像は、光学顕微鏡または他の任意の手段により撮影される。図 2 a は、例えば、760 × 570 ピクセルを含む、得られた画像の一例を示す。この画像 20 は、試料内に存在する水化物 21 のトレースを示す。

【0015】

第 1 のステップ 1 において、画像はトリミング (blocked out) され、次に、後続ステップ 2、3、4、5 において、スケルトン式の画像が得られるまで、すなわち、水素化物のトレースがピクセルの厚さに低減されるまで、処理される。最後に、最後の

10

【0016】

図 2 a ~ 図 2 d は、特に、原画像を中心としてプログラム可能な寸法の画像を得るために、画像 20 をトリミングする第 1 のステップ 1 を示す。この動作により、特に、例えば、

- 画像の撮影に対するエッジ上のブレたゾーン 22、
 - 画像のエッジでのクラディング 23 外部のピクセルの存在
- 等のエッジの影響に関連する主問題をなくすることができる。

【0017】

20

図 2 c は、図 2 d のトリミング画像 25 を与える、実行されるトリミング 24 を示す。続けて処理されるのは、この画像 25 である。第 1 のステップ 1 の後、トリミング画像 215 の照明を補正するステップ 2 を続けることができる。画像の取得中、オペレータ自身が照明の強度を調整する。通常、使用されるランプは経時変化し、これによっても照明の変動が生じる。試料も異なる反射能を有し得る。次に、この第 2 のステップ 2 により、必要であれば、照明アーチファクトを低減することができる。

【0018】

次のステップ 3 は、カラー画像 25 のグレーレベルへの切り替えを実行する。グレーレベルへの切り替えは、次のステップ 4 である閾値処理を実行するには複雑すぎる場合があるカラー画像が保持されないことを意味する。いくつかの既知の解決策が、グレーレベルへの切り替えを実行するために可能である。図 3 の画像 25 は、例えば、強度による切り替えに従って得られ、このグレーレベルへの切り替えは、光の強度の関数として実行される。しかし、他の解決策も可能である。

30

【0019】

図 3 は、画像の閾値処理を実行し、その後に二値化を実行する次のステップ 4 を示す。いくつかの閾値処理方法が既知である。閾値処理の目的は、取り込まれる望ましくない要素の量が最小のみにしながら、水素化物を選択することである。閾値処理は、画像の解析に必要であり得る。特に、画像の二値化はこの動作に依存する。

【0020】

画像の二値化が、閾値化動作の後に続く。二値化は、グレーレベルの画像 25 を白黒画像 31 に切り替えることにある。この動作により、この画像内の粒子を選択するために、画像の処理をさらに簡易化することが可能である。

40

【0021】

図 4 は、スケルトン化ステップと呼ばれる次のステップ 5 中に得られる結果を示す。この動作は、1 ピクセル分の厚さを有する物体の最終的な腐食処理である。図 4 は、このスケルトン化動作前の画像 31 および得られた画像 41 を示す。次に、画像 31 の水素化物 21 は、1 ピクセル分の厚さを有するフィラメント 21' に変換される。図 4 の例に使用されるスケルトン化モードは、「光スケルトン化」型のものである。この場合、スケルトン化は、黒色背景上で白色のピクセルに対してのみ実行され、白色ピクセルは水素化物に対応する。いくつかの度数のスケルトン化を使用することが可能である。最大度数では、

50

水素化物は1ピクセル厚のフィラメントに変換される。より度数の低いスケルトン化を使用してもよく、その場合、水素化物は、2ピクセル分以上の厚さを有するフィラメントに変換され、最終的な厚さは度数に依存する。

【0022】

有利なことに、本発明は、水素化物が、所与の材料に関して、試料内の濃度に関わりなく、実質的に同じ厚さを有することを利用する。本発明は、ジルコニウム合金の水素含有率が水素化物の全長に直接比例するという仮説も使用する。次に、これにより、水素化物を、厚さを考慮せずにフィラメントに同化させることが可能になる。スケルトン化ステップ5は、フィラメントを得ることを可能にし、次のステップ6において、フィラメントから含有率の測定が実行される

10

【0023】

図5は、水素含有率を測定するこのステップ6の可能なフェーズを示す。第1のフェーズ51では、以下では面積Hと呼ばれる、この含有率の大きさ特徴が計算される。この大きさは、水素化物に対応するフィラメントの面積を考慮する。

【0024】

より具体的には、これは、スケルトン化された画像41の全面積に対する検出された水素化物フィラメントの全面積の比に対応する、寸法のない大きさである。したがって、以下の式により定義される。

【数2】

$$\text{面積 H} = \frac{\sum \text{検出された水素化物フィラメントの面積}}{\text{画像の全面積}}$$

20

【0025】

実際には、以下の式Mにより定義することができる。

【数3】

$$\text{面積 H} = \frac{\sum \text{選択される白色ピクセルの面積}}{\text{画像の全面積}}$$

30

【0026】

検出された水素化物フィラメント21'に対応する、選択される白色ピクセルは、以下に定義される測定オプションに依存する。各面積の合計Σは、粒子を形成するピクセル群の面積である。測定オプションは、水素化物フィラメントに対応する粒子のみを選択するための規則を定義する。

【0027】

第2のフェーズ52では、例えば、式(2)に従って、検出された水素化物フィラメントから計算された面積Hは、較正曲線と比較されて、試料内の水素含有率が得られる。

40

【0028】

図6は、較正曲線61の例を与える。Y軸は面積Hの値を表し、X軸は、ppm単位で表される水素含有率を表す。

【0029】

この較正曲線は、フィラメントの選択に関して上述したものと同一測定オプションを使用して生成される。この較正曲線61は、均等に分布した水素化物を示しかつ水素含有率が既知の参照試料で得られた測定から定義される。これら試料のそれぞれについて、面積Hが、例えば、式(2)に従い、解析される試料の画像41と同じ計算方法に従って計算される。読みやすくするために、式(2)に従って計算された面積Hを、例えば、Y軸上で0~120000の間でばらつくように、 10^{-6} で乗算する。参照試料で得られた測

50

定は、図 6 の軸系内において十字 6 2 で示される。参照試料毎に、ユーザは、第 1 の原理から、X 軸上に記された水素含有率を知っており、Y 軸に移って対応する測定点 6 2 を得て、その面積 H を計算する。

【 0 0 3 0 】

例えば、較正曲線 6 1 は直線であり、その位置は、参照試料の測定点 6 2 の位置に基づいて定義される。直線 6 1 は、例えば、すべての測定点 6 2 に対する最小距離を示す直線である。この較正曲線が確立されると、解析される試料の画像 4 1 内に含まれる水素含有量が、その面積 H の計算に基づいて特定される。曲線 6 1 を使用して、計算された面積 H を Y 軸に移すことに基づいて、対応する X 軸の値が特定され、この X 軸の値は考えられる水素含有率に対応する。この方法は、この場合、Y 軸上で計算される値に対して手動で説明される。当然ながら、曲線 6 1 を等式化することができ、含有率を、曲線 6 1 および解析される試料の面積 H の値の等式に基づいて計算により自動的に得てもよい。

10

【 0 0 3 1 】

水素含有率を測定するこの方法は、有利なことに、全体として多数の画像を処理することを可能にし、好ましくは、材料内の水素化物を定量化する必要性を満たす。

【 0 0 3 2 】

この方法が完全に信頼できることを保証するために、十分な数の参照試料、ひいては十分な数の測定点 6 2 を提供する必要がある。側転オプションに対するいかなる変更にも、新しいサンプリング、すなわち、新しいサンプリング曲線 6 1 の定義が必要である。

【 0 0 3 3 】

20

いくつかの測定オプションを粒子の検出、すなわち、ピクセル群の検出に適用することができる。特に、以下のパラメータに対して 3 つのオプションを選択することが可能である。

- 同一の粒子にピクセルが属することを特定するためのピクセルの関連度、
- 水素化物か否かを判断するための粒子内のピクセルの最小数、
- 画像 4 1 の限界上に 1 つまたは複数のピクセルを有する粒子が測定結果に含まれているか否かを判断するためのエッジへの包含。

【 0 0 3 4 】

関連度、すなわち、考慮すべき隣接ピクセル数に関して、これは、粒子の拡大を可能にするパラメータである。図 7 は、3 つの白色ピクセル 7 0 を含む $3 \times 3 = 9$ ピクセルを含む原正方形画像抽出 7 1 に基づいて隣接ピクセルを選択する 2 つの可能なモードを示す。

30

【 0 0 3 5 】

正方形 7 2 は、4 つの隣接ピクセルを有する選択オプションを示す。このオプションでは、同色 7 0 1 の 2 つのピクセルが、正方形 7 2 内にグレー表示されている 2 つの原白色ピクセル 7 0 1 で示されるように、隣接ピクセル上に直接、すなわち、上、下、右、または左に配置されている場合のみ、同一の粒子の一部をなすと考慮される。

【 0 0 3 6 】

正方形 7 3 は、8 つの隣接ピクセルを有する選択オプションを示す。このオプションでは、検出野が広げられる。すなわち、これから、対角線上の隣接ピクセル 7 0 2 が、同一の粒子の一部をなすと考慮される。したがって、正方形の原白色ピクセル 7 0、正方形 7 3 内のグレー表示ピクセル 7 0 1、7 0 2 は、同一の粒子の一部をなす。

40

【 0 0 3 7 】

同一粒子にピクセルが属する規則が決定されると、水素化物に対応するために粒子が含まなければならないピクセルの最小数を定義する必要がある。例えば、この最小数を 10 に等しいとし、それにより、ピクセル 10 個未満のすべての粒子をなくすることが可能である。このフィルタリングにより、特に、試料の準備によるピンホールの大部分をなくすることが可能になる。特に、スケルトン化により、ピンホールは単一粒子または小サイズの粒子に低減されている。例えば、水素化物のような細長い形状のスケルトン化が生成される場合、1 ピクセル分の厚さを有するフィラメントが得られる。同じ動作が、例えば、ピンホールのような丸い形状に対して実行される場合、1 ピクセルに等しい厚さを有する短く

50

丸い形状であるか、または単一の孤立したピクセルが得られる。したがって、スケルトン化後にこのフィルタリングを続けることにより、ピンホールまたは例えば埃による欠陥をなくすることが可能である。

【 0 0 3 8 】

最後に、エッジ上への包含に関するオプションにより、エッジ上に1つまたは複数のピクセルを有する粒子を測定のために考慮しなければならないか否かを判断することが可能である。2つのオプションが可能である。第1のオプションでは、エッジに触れている粒子は測定に含められる。このオプションは、画像内の水素化物含有率の計算に特に有用である。第2のオプションでは、エッジに触れている粒子は、測定から除外される。このオプションは、例えば、水素化物の平均長を特定する場合に選択され得る。

10

【 0 0 3 9 】

試料内の水素含有率の、寸法のない純定量値の測定は、有利なことに、その文脈内で水素化物の局所品質測定により補足することができる。これら測定は常に、スケルトン化された画像41からとられる。具体的には、水素化物により課される危険は、特に起こり得る亀裂の伝搬に関して、近接度および向きも含め、特にその形態に依存する。

【 0 0 4 0 】

図1に戻ると、スケルトン化ステップ5の終わりに、別の解析ステップ10において、局所測定も実行可能なことが示され、これら測定は、例えば、上述した品質測定、すなわち、水素化物の長さ、水素化物の向き、および最近傍の水素化物からの距離に対応する近接度である。

20

【 0 0 4 1 】

水素化物の長さ指標は、材料に関するその危険性を特徴付けることが問題となっている場合に重要である。具体的には、水素化物が長いほど、その向きが材料に加えられる応力にとって好ましいものである場合、この水素化物内の亀裂が長くなる危険性がある。燃料のクラッキングでは、半径方向向きの水素化物が、脆さに関して最も危険である一方で、円周方向向きの水素化物は材料の良好な挙動に対して有利である。したがって、いくつかの長さ基準を定義し得る。当然ながら、例えば、半径方向水素化物が関わる場合、最長の水素化物を見つけることが可能である。しかし、混ざった、または主に円周方向の水素化物では、水素化物が半径方向に延び得る最大長を定義することがより有用であり得る。

【 0 0 4 2 】

30

長さを特定するいくつかの解決策が可能である。適用が単純な解決策では、粒子毎に、半径方向軸に対応する写真の垂直軸上で最も高い点および最も低い点がとられる。次に、これら2つの座標の差が計算され、その差が水素化物の半径方向長さを与える。この長さを考慮することは、亀裂伝搬の場合、クラッキングの半径方向に容易に走り得る距離の特徴付けを可能にするため、重要である。半径方向向きの水素化物の場合、この距離は長くなり得る。円周方向の水素化物の場合、この距離はゼロであるか、または非常に小さい。水素化物の長さの別の測定は、水素化物内の2つの最も遠い点を見つけ、それらの間隔を測定することであり、この距離が水素化物の長さとして考慮される。最後に、その断片または分枝の長さの合計として水素化物の長さを定義することが常に可能である。

【 0 0 4 3 】

40

向き指標も、水素化物を特徴付けるための局所解析において重要なパラメータである。具体的には、水素化物が母材よりも脆いことが許容される場合、半径方向向きの水素化物は、クラッキングの破裂に繋がる恐れがある亀裂の伝搬に対して有利である。したがって、危険性を判断できるように、水素化物の向きを特徴付けることが重要である。図4のようなスケルトン化された画像14では、水素化物は非常に分枝したフィラメントであり、水素化物の平均向きが、その危険性を特徴付ける最も賢明なパラメータであるわけではない。したがって、危険性を表す向きを測定し、水素化物の特定の形態に向けて構成された異なるパラメータを作成する必要がある。

【 0 0 4 4 】

水素化物の向きのいくつかの定義を使用し得る。第1の解決策では、平均向き θ_{mea}

50

n が、以下の式に従って定義される。

【数 4】

$$\theta_{mean} = \frac{\sum_i \theta_i d_i}{\sum_i d_i} \quad (3)$$

式中、 i は水素化物の断片のランクを表し、 θ_i は参照軸に対するランク i の断片の向きを表し、 d_i はランク i の断片の長さを表す。

【0045】

これにより、関連する断片の長さに関連する向きの平均値が与えられる。向きの定義は、様々な分枝による向き値のばらつきを見たい場合に有用であり得る。向き角度の別の定義では、各粒子の 2 つの最も離れた点が取られる。次に、これら 2 点間の向きが計算され、この向きが、粒子の向きであると解釈される。別の定義では、2 つの最も離れた点を考慮することに代えて、2 つの最も離れた交点間の向きが取られる。

【0046】

近接度指標は、水素化物が特定の伝搬方向において一緒になる程度を表す。これは、水素化物 A が考慮される場合、特徴付けられるものが、亀裂が伝搬した場合、亀裂が水素化物 A の一端部に達したとき、亀裂が水素化物 B に向かって容易に伝搬し得るか否かであることを意味する。水素化物 A の両端部と水素化物 B の両端部との距離が短いほど、亀裂が一方から他方に伝わり易い。半径方向において平行に隣接する同じ長さの 2 つの水素化物は、近接度を特徴付けるために信頼できる状況ではないため、水素化物の配置を考慮しなければならない。並んだ 2 つの水素化物の場合は、近接度の文脈において危険な場合である。しかし、いくつかの手法が可能である。亀裂が非水素化物形成材料内で純粋に半径方向に伝搬することを考慮することが可能である。剪断現象である、亀裂が半径方向に対して $\pm 45^\circ$ で伝搬することを考慮することも可能である。第 3 の手法は、亀裂が母材内を、亀裂が伝わった水素化物の最後の部分の向きに沿って延びることを提案する。

【0047】

2 つの粒子の近接度を定義するいくつかの解決策が可能である。図 8 は、近接度が、最近傍であるフィラメント 21' により表される水素化物の端部間の距離 81 により定義される例を示す。この距離を特定するために、例えば、 $0^\circ \sim 180^\circ$ の角度での一方の水素化物 21' の各端部と他方の水素化物 21' の両端部との距離、すなわち、テストされる水素化物を繋ぐ距離が計算される。向き基準が検証された場合、水素化物の端部毎に、この距離の最小が取られる。近接度値 p は、これら最小距離のうちの最小のものである。別の双方向方法も可能である。このプロセスは、二重伝搬が一方では $0^\circ \sim 180^\circ$ に対して、他方では $180^\circ \sim 360^\circ$ に対して実行されることを除き、上と同じである。これにより、2 つの距離が与えられる。選択される近接度値は、これら 2 つの距離の平均であり得る。2 つの距離の平均をとることに代えて、これら 2 つの距離のうちの最小をとることも可能である。

【0048】

本発明によれば、フィラメント 21' により表される水素化物毎に、ユーザは、例えば、燃料クラディングのより大域的な環境内で危険を局所的に特徴付ける大きさ D を定義する。この危険係数 D は、水素化物の長さ L 、向き角度 θ 、および別の水素化物への近接度 p を考慮する。これらパラメータ L 、 θ 、および p は、例えば、上述した方法に従って定義される。大きさ D は、例えば、以下の式により定義される。

【数 5】

$$D = \sqrt{L^2 + \theta^2 + \frac{1}{p^2}} \quad (4)$$

L および p は、例えば、 μm 単位で定義され、 θ は度数単位で定義される。

【0049】

平均危険係数 D_{mean} は画像のすべての水素化物に定義することができ、この危険係数は、例えば、すべての水素化物の危険係数の平均である。画像のすべての水素化物のうちの最大の危険係数に対応する最大危険係数 D_{max} を定義することも可能である。

10

【0050】

有利なことに、最大危険係数により、各画像の最も危険な水素化物を知ることができる。画像の平均危険係数により、これら画像を互いに比較し、ひいては材料を互いに比較することができる。

【0051】

本発明をジルコニウム合金への適用に関して説明したが、本発明は他の種類の合金内の水素化物の解析に適用することも可能である。

【図 1】

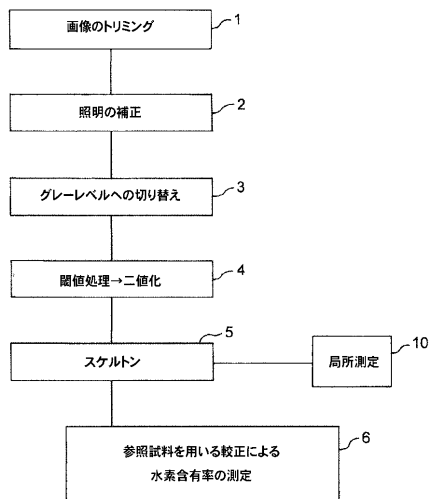


図 1

【図 5】

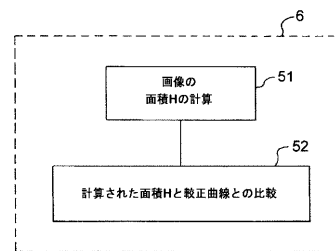


図 5

【図 6】

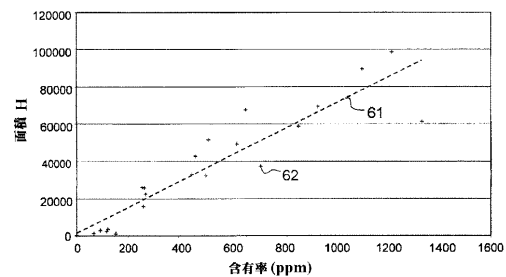
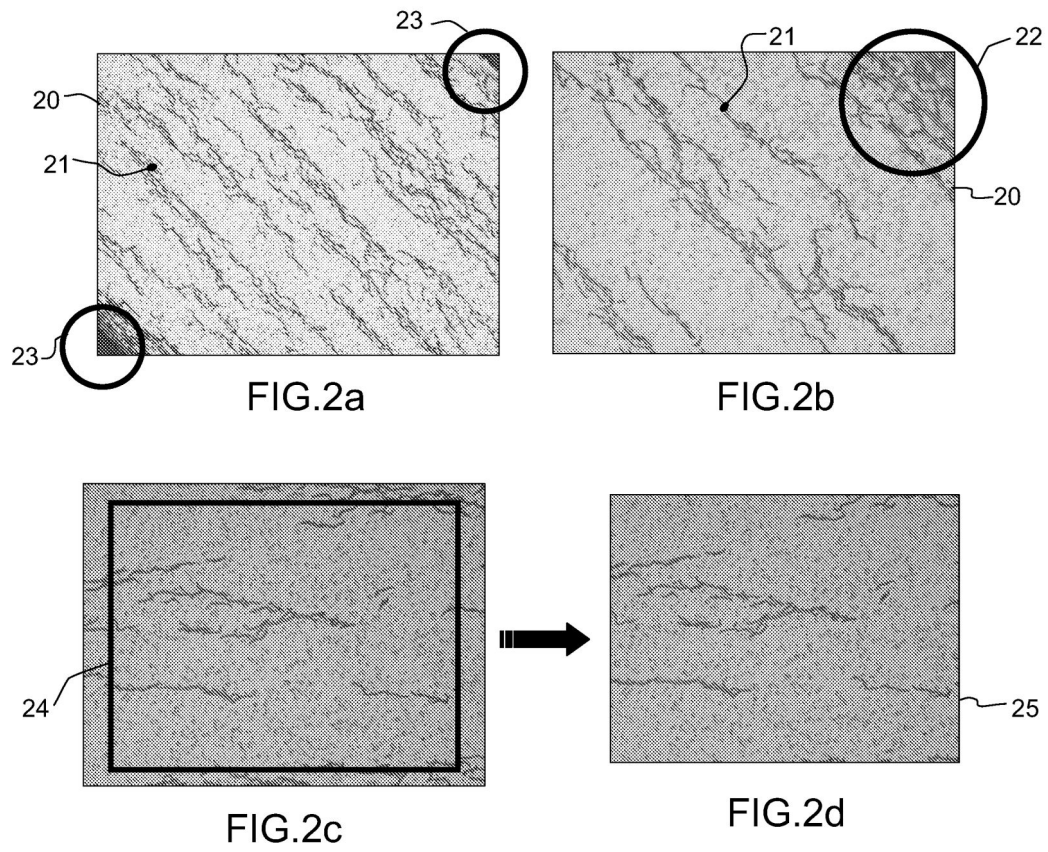
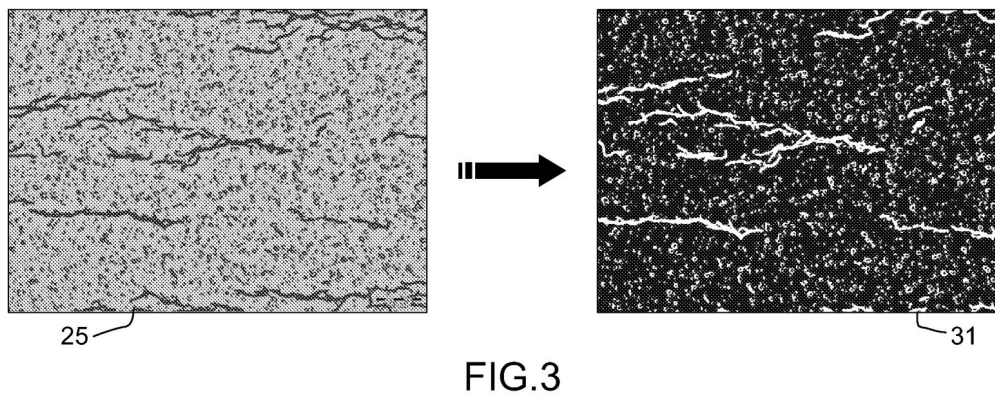


図 6

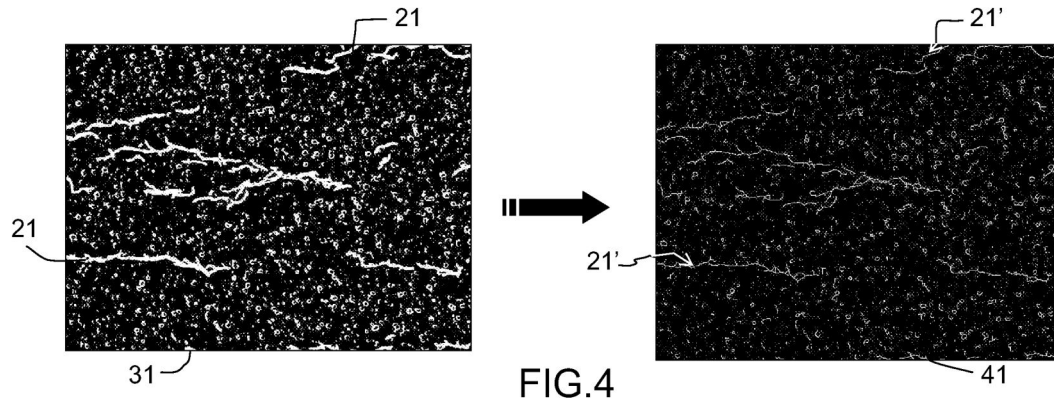
【図 2】



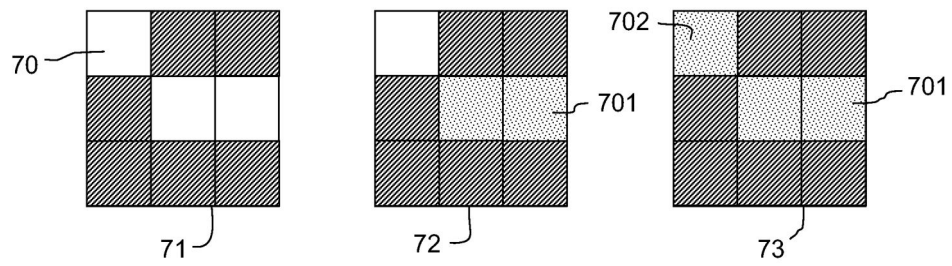
【図 3】



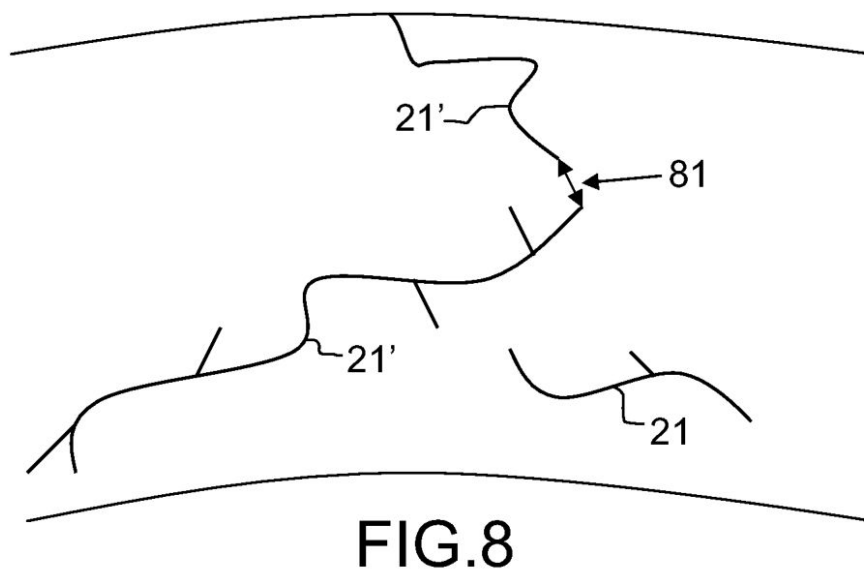
【図 4】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 ラブイユ、オリヴィエ

フランス、エフ - 9 2 2 6 0 フォントネ オ ロズ、リュ ド ドクター スピーズ、7

審査官 ▲高▼場 正光

(56)参考文献 J. H. ZHANG, "Quantification et caracterisation des hydrures de zirconium dans le Zircaloy-4 par analyse d'image", JOURNAL OF NUCLEAR MATERIALS, 1992年10月, Volume 195, Issues 1-2, Pages 17-23

RACINE, A., "INFLUENCE DE L'ORIENTATION DES HYDRURES SUR LES MODES DE DEFORMATION, D'ENDOMMAGEMENT ET DE RUPTURE DU ZIRCALOY-4 HYDRURE", THESE DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE, 2005年 9月23日, Pages 53-78

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 N 2 1 / 0 0 - 2 1 / 6 1

J S T P l u s (J D r e a m I I I)