

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 10 月 2 日(02.10.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/155558 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 17/00 (2006.01) *G01N 3/32* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/058982
- (22) 国際出願日: 2013 年 3 月 27 日(27.03.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 中国電力株式会社 (THE CHUGOKU ELECTRIC POWER CO., INC.) [JP/JP]; 〒7308701 広島県広島市中区小町 4 番 3 3 号 Hiroshima (JP).
- (72) 発明者: 荒川 大輔 (ARAKAWA, Daisuke); 〒7308701 広島県広島市中区小町 4 番 3 3 号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP). 西田 秀高 (NISHIDA, Hidetaka); 〒7308701 広島県広島市中区小町 4 番 3 3 号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP). 松村 栄郎 (MATSUMURA, Hideo); 〒7308701 広島県広島市中区小町 4 番 3 3 号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP). 小野 泰弘 (ONO, Yasuhiro); 〒7308701 広島県広島市中区小町 4 番 3 3 号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP). 石井

正志 (ISHII, Masashi); 〒7308701 広島県広島市中区小町 4 番 3 3 号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP).

(74) 代理人: 一色国際特許業務法人 (ISSHIKI & CO.); 〒1050004 東京都港区新橋 2 丁目 1 2 番 7 号 労金新橋ビル Tokyo (JP).

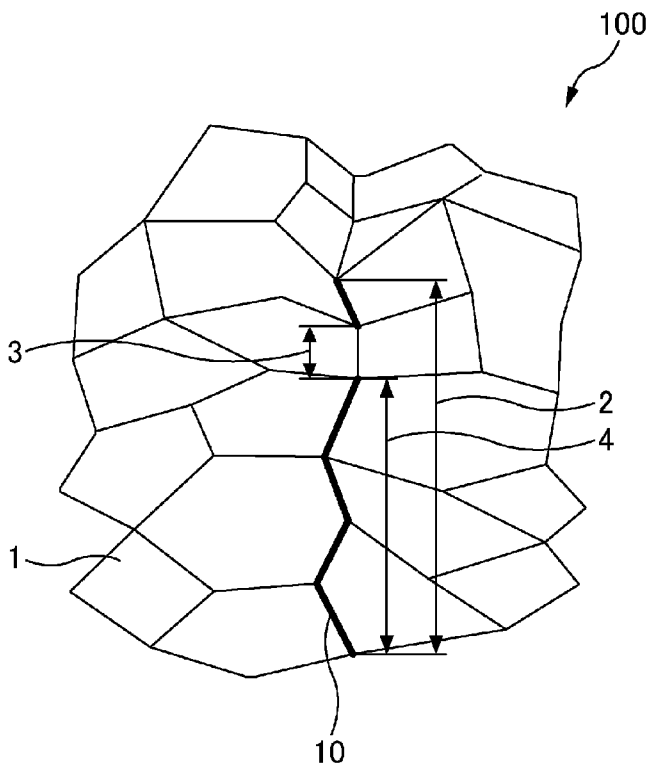
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR PREDICTING REMAINING CREEP LIFE OF HEAT- AND PRESSURE-DEGRADED PRODUCT, AND STANDARD CURVE PREPARATION METHOD USING THIS PREDICTION METHOD

(54) 発明の名称: 加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命の予測方法、及び、この予測方法に用いる検量線作成方法



(57) Abstract: [Problem] Provided is a method for predicting the remaining creep life of a heat- and pressure-degraded product. Specifically, this method for predicting the remaining creep life is characterized by involving a step for calculating the length of the largest crack that has formed in the product, and a step for calculating the damage rate of the product from the obtained largest crack length, wherein the product has a bainite structure.

(57) 要約: 【課題】加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命を予測する方法を提供する。すなわち、製品に生じた最大亀裂の長さを求める工程と、得られた最大亀裂長さから製品の損傷率を求める工程とを含み、製品がベイナイト組織を有することを特徴とする、クリープ余寿命予測方法とする。



(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命の予測方法、及び、この予測方法に用いる検量線作成方法

技術分野

[0001] 本発明は、加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命の予測方法、及び、この予測方法に用いる検量線作成方法に関する。

背景技術

[0002] 火力発電設備や原子力発電設備等において用いられる機械部品は、長期間に渡って高温・高圧条件におかれることから、徐々に塑性変形を起こし、クリープ寿命に達すると破断してしまう。従って、火力発電設備や原子力発電設備を安全かつ経済的に運転するためには、用いられている機械部品のクリープ余寿命を的確に予測することによって、最適な時期に機械部品の交換を行うことが求められる。

[0003] このような機械部品に使用されている耐熱鋼のクリープ余寿命を予測する方法としては、例えば特開昭63-235861号公報が示すように、実際に稼動している火力発電設備や原子力発電設備の機械部品の耐熱鋼から試験片を切り出して、クリープ破断試験を行い、その破断時間から余寿命を予測する方法が知られているが、この方法では、実際に稼動している設備から試験片を切り出して長時間に渡って試験をする必要があり、煩雑である。

この他、目視検査、及び、レプリカ法によるクリープボイドを検出する方法などが知られており、例えば、クリープボイドを検出する方法の一種として、最大ボイド粒界占有率（Mパラメータ）を使用する方法が、例えば国際公報WO 02/014835号公報により報告されている。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本発明は、加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命の予測方法

、及び、この予測方法に用いる検量線作成方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0005] 本発明に係る、加熱及び加圧により劣化した第1製品のクリープ余寿命を予測する方法に用いる検量線を作成する方法は、加熱及び加圧により劣化した第2製品に生じた最大亀裂の長さを求める工程と、得られた最大亀裂長さと第2製品の損傷率との関係を表す検量線を作成する工程とを含み、第1製品および第2製品がベイナイト組織を有することを特徴とする。
- [0006] また、本発明に係る、加熱及び加圧により劣化した第1製品のクリープ余寿命を予測する方法に用いる検量線を作成する方法は、加熱及び加圧により劣化した第2製品に生じた最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求める工程と、得られた結晶粒の数と第2製品の損傷率との関係を表す検量線を作成する工程とを含み、第1製品および第2製品がベイナイト組織を有することを特徴としても良い。
- [0007] 最大亀裂が寸断されている場合に、寸断されている各箇所が、その寸断箇所が隣接する両亀裂のうち長い方の長さに対して所定の割合以下であれば、最大亀裂は寸断されていないものとみなして、最大亀裂長さ、または、最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求めることが好ましい。所定の割合が半分であることがより好ましい。
- [0008] 本発明に係る、加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命を予測する方法は、製品に生じた最大亀裂の長さを求める工程と、得られた最大亀裂長さから製品の損傷率を求める工程とを含み、製品がベイナイト組織を有することを特徴とする。
- [0009] また、本発明に係る、加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命を予測する方法は、製品に生じた最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求める工程と、得られた結晶粒の数から製品の損傷率を求める工程とを含み、製品がベイナイト組織を有することを特徴としても良い。
- [0010] 最大亀裂が寸断されている場合に、寸断されている各箇所が、その

寸断箇所が隣接する両亀裂のうち長い方の長さに対して所定の割合以下であれば、最大亀裂は寸断されていないものとみなして、最大亀裂長さ、または、最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求めることが好ましい。所定の割合が半分であることがより好ましい。

[0011] 製品が中空管であることが好ましく、例えば、曲がり部分を有するボイラ用配管であっても良い。これらの場合に、加圧は製品に内圧を加えることにより行われるのが好ましい。

発明の効果

[0012] 本発明によって、加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命の予測方法、及び、この予測方法に用いる検量線作成方法を提供することが可能となった。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]亀裂が生じたベイナイト組織を有する製品の模式図である。

[図2]試験1における試料の損傷率が0.76の時の、(a)50倍、(b)100倍、及び、(c)400倍の倍率で行った、SEMによる組織検査の結果を示す図である。

[図3]試験1における試料の損傷率が0.85の時の、(a)50倍、(b)100倍、及び、(c)400倍の倍率で行った、SEMによる組織検査の結果を示す図である。

[図4]試験1における試料の損傷率が1.00の時の、(a)10倍、(b)50倍、(c)100倍、及び、(d)400倍の倍率で行った、SEMによる組織検査の結果を示す図である。

[図5]試験2における試料の損傷率が0.70の時の、(a)100倍、及び、(b)400倍の倍率で行った、SEMによる組織検査の結果を示す図である。

[図6]試験2における試料の損傷率が0.98の時の、(a)50倍、(b)100倍、及び、(c)400倍の倍率で行った、SEMによる組織検査の結果を示す図である。

[図7]試験2における試料の損傷率が1.00の時の、(a)10倍、(b)50倍、(c)100倍、及び、(d)400倍の倍率で行った、SEMによる組織検査の結果を示す図である。

[図8]一実施形態における、(a)損傷率が0~1.0、及び、(b)損傷率が0.7~1.0での、最大亀裂長さと試料の損傷率との関係を表すグラフである。

[図9]一実施形態における、拡張Mパラメータと試料の損傷率との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、本発明の目的、特徴、利点、および、そのアイデアは、本明細書の記載により、当業者には明らかであり、本明細書の記載から、当業者であれば容易に本発明を再現できる。以下に記載された発明の実施の形態及び具体的な実施例などは、本発明の好ましい実施態様を示すものであり、例示又は説明のために示されているのであって、本発明をそれらに限定するものではない。本明細書で開示されている本発明の意図並びに範囲内で、本明細書の記載に基づき、様々な改変並びに修飾ができることは、当業者にとって明らかである。

[0015] 従来、フェライト、オーステナイト及びベイナイトに代表される母材は、加熱及び加圧により劣化しても、亀裂はほとんど生じないと考えられてきた。このため、ベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命を、亀裂を検出することによって予測することはなかった。

しかし、本発明者等は、ベイナイト組織を有する製品を加熱及び加圧すると、劣化に伴って亀裂が生じることを発見した。さらに、製品に生じた亀裂のうち最大の長さを有する亀裂に着目することによって、ベイナイト組織を有する製品の余寿命を予測できることを見出した。本発明は、これらの発見に基づいて、完成されたものである。

[0016] ===クリープ余寿命を予測する方法に用いる検量線の作成方法===

本発明に係る、加熱及び加圧により劣化した第1製品のクリープ余寿命を

予測する方法に用いる検量線を作成する方法は、加熱及び加圧により劣化した1または2以上の第2製品に生じた最大亀裂の長さを求める工程と、得られた最大亀裂長さと第2製品の損傷率との関係を表す検量線を作成する工程とを含み、第1製品および第2製品がベイナイト組織を有することを特徴とする。

[0017] 第1製品及び第2製品は、ベイナイト組織を有し、かつ、加熱及び加圧によってクリープ変形を生じる材料から構成されている。このような材料として、例えば、鋳鋼が挙げられるが、これに限定されない。第1製品及び第2製品は、同じ材料から構成されていることが好ましい。

第1製品及び第2製品の形は、特に限定されず、例えば、中空管、板、または、棒であることができるが、中空管であることが好ましい。中空管の断面は、どのような形であっても良く、例えば、円形、楕円形、または、多角形であることができるが、中空管の強度を考慮に入れば、角を有さない円形または楕円形であることが好ましく、円形であることがより好ましい。

このような中空管として、例えば、曲がり部分を有するボイラ用配管が挙げられる。ボイラ用配管は、従来は、フェライト組織またはパーライト組織を有すると考えられていたため、フェライト組織またはパーライト組織を有する製品のクリープ余寿命を予測する方法に従って、そのクリープ余寿命が予測されてきた。しかし、本発明者等は、ボイラ用配管の曲がり部分を作成する際のゆっくりとした加熱に伴い、この曲がり部分がベイナイト組織を有するように変化することを発見した。従って、本発明に係る検量線作成方法によって作成した検量線を用いて、曲がり部分を有するボイラ用配管のクリープ余寿命を予測すれば、このボイラ用配管のクリープ余寿命を精度良く予測することが可能となる。

なお、第1製品の形と第2製品の形とは、同じであっても異なっても良いが、同じまたは相似形であることが好ましく、同じであることがより好ましい。

[0018] 第1製品及び第2製品は、それぞれ、一定の高温、及び、常圧よりも高い

一定の圧力の条件下に置くことにより劣化させる。

温度の範囲は、各製品がベイナイト組織を有する限り特に限定されないが、例えば、 210°C ～ 550°C の範囲であっても良く、 350°C ～ 550°C の範囲であることが好ましい。第1製品の加熱温度と、第2製品の加熱温度とは、同じであっても異なっても良いが、同じであることが好ましい。

圧力の範囲は、常圧 (0.1MPa) よりも高ければ特に限定されないが、例えば、 0.2MPa ～ 1000MPa であっても良く、 0.3MPa ～ 500MPa であることが好ましく、 0.5MPa ～ 300MPa であることがより好ましい。第1製品に加えられた圧力と、第2製品に加えられた圧力とは、同じであっても異なっても良い。

製品に圧力を加える方法は、特に限定されず、外圧を加えても良く、内圧を加えても良いが、各製品が中空管である場合には内圧を加えることが好ましい。第2製品に内圧を加える場合には、内圧クリープ試験により第2製品を劣化させることが好ましい。内圧クリープ試験は、高温炉中で中空管に内圧を加え、必要に応じて中空管をクリープ破断させることによって、中空管の寿命を測定する方法である。内圧クリープ試験は、中空管そのものを試験対象とできるため、例えば中空管をボイラの配管として用いた場合に生じる、中空管の外表面および内表面の酸化物など変質層の影響を含めて試験できる点で優れている。さらに、ボイラで実際に用いられる場合と同様に、内圧による応力を中空管に加えることから、ボイラ用配管の寿命を精度よく測定することが可能である。

[0019] 最大亀裂とは、加熱及び加圧による劣化に伴って製品に生じた亀裂のうち、最長の長さを有する亀裂をいう。

亀裂が寸断されている場合には、寸断されている箇所の長さが、その寸断箇所が隣接する両亀裂のうち長い方の長さに対して所定の割合以下であれば、これら両亀裂及び寸断箇所は繋がった一つの亀裂であるとみなして、亀裂の長さを求めることが好ましい。本発明者等は、亀裂が途中で寸断されている場合において、寸断されている箇所が今後亀裂になるか否かは、この寸断

箇所が隣接している両亀裂のうち長い方の亀裂から強い影響を受けることを見出した。さらに、長い方の長さに対して寸断箇所の長さが所定の割合以下である場合には、この寸断箇所が今後亀裂になりやすいと評価できることを見出した。これらの発見に基づき、寸断箇所を上記のようにみなすことによって、第1製品のクリープ余寿命を精度良く予測できる検量線を作成することが可能となる。所定の割合は、例えば、半分であることが好ましく、4割であることがより好ましく、3割であることがさらに好ましい。

[0020] 亀裂の長さとは、亀裂の両端を結んだ直線の長さであり、また、寸断されている箇所の長さとは、寸断されている箇所とこの寸断箇所が隣接する両亀裂とが作る2つの交点間の直線の長さである。

亀裂の長さの求め方を、図1を用いて具体的に説明する。ベイナイト組織を有する製品100において、亀裂10（図1中に太い線で記載）が複数の結晶粒1に沿って生じている。亀裂10は途中で寸断されているが、寸断されている箇所の長さ3が、この寸断箇所が隣接する両亀裂のうちの長い方の長さ4の半分以下であることから、亀裂10は寸断箇所も含めて一つの亀裂であるとみなす。この結果、亀裂10の長さは亀裂長さ2であると求まる。

[0021] 亀裂の長さを測定する方法は、特に限定されず、公知の方法を用いることができるが、例えば、走査型電子顕微鏡（SEM）によって製品の表面の組織観察を行うことによって測定しても良い。

また、最大亀裂の長さを測定するにあたっては、測定対象である製品の全体を観察し、製品に生じた全ての亀裂の中で最大の亀裂の長さを測定しても良いが、製品において所定の評価範囲を設定し、その評価範囲内に生じた亀裂の中において最大の亀裂の長さを測定しても良い。

評価範囲を設定する場合、評価範囲の位置は、製品の任意の箇所に設定することができるが、その製品において亀裂が生じやすい箇所を含むように設定することが好ましい。当業者であれば、このような箇所を、経験則や計算から求めることができる。また、評価範囲の広さは、任意であるが、例えば、 $0.3\text{ mm}^2 \sim 1.0\text{ mm}^2$ の範囲内で設定しても良い。

本発明に係る検量線作成方法によれば、ベイナイト組織を有する製品の余寿命を予測するにあたって最大亀裂長さを適用することによって、評価範囲を任意に設定しても、設定の仕方に依存する誤差が極めて少ない検量線を作成できるという有利な効果を奏する。

[0022] このようにして求めた第2製品の最大亀裂長さと損傷率との関係を表す検量線を作成することによって、第1製品のクリープ余寿命を予測するための検量線とすることができる。

製品の損傷率とは、その製品の寿命に対して、寿命を決定するのと同じ加熱条件と同じ加圧条件の下でどれだけの時間が経過したのかを表す割合である。ここで、製品の寿命とは、一定の加熱及び一定の加圧によって、その製品が破断するのに要する時間である。製品の寿命は、公知の方法で求めることができ、例えば、その製品と同じ材料から作られた同一構造の製品を、実際に壊れるまで一定に加熱及び加圧することによって測定することができる。

例えば、ある製品の寿命が10000時間であり、寿命を決定するのと同じ加熱条件と同じ加圧条件の下での経過時間が8000時間である場合には、損傷率は、 $8000 \div 10000 = 0.80$ と求めることができる。逆に、ある製品の寿命が10000であり、損傷率が0.80の場合には、寿命を決定するのと同じ加熱条件と同じ加圧条件の下での、その製品の余寿命は、 $10000 \times 0.80 = 8000$ 時間と求めることができる。なお、寿命を決定する条件が複数であった場合、余寿命を予測する場合の加熱条件及び加圧条件は、いずれか一つの条件に一致していれば良い。

[0023] 第2製品として、1種類の製品のみを用いても良く、互いに異なる温度で加熱され、かつ、互いに異なる圧力で加圧された少なくとも2種類の製品を用いても良い。この場合、これら2種類の製品のそれぞれについて最大亀裂長さを適宜求め、求めた全ての最大亀裂長さをを用いて第2製品の損傷率との関係を求めることによって、検量線を作成する。加熱加圧条件が異なる少なくとも2種類の製品を用いて検量線を作成することによって、検量線の精度

を向上させることができる。

加熱加圧条件が異なる少なくとも２種類の製品を用いる場合、これら製品の寿命が、同程度であることが好ましい。同程度とは、２種類以上の製品の寿命が、長い方の寿命を基準として短い方が２５％以内の差であることが好ましく、２０％以内の差であることがより好ましく、１０％以内の差であることがさらに好ましい。当業者であれば、２種類以上の製品の寿命が同程度となるように、各製品に加える温度と圧力とを適切に設定することができる。

例えば、本願の実施例１では、５５０℃で加熱し１４５ＭＰaで加圧した製品と、５２５℃で加熱し２４０ＭＰaで加圧した製品との２種類の製品を用い、これらに共通する関係として、図８に示す近似曲線を、最大亀裂長さと第２製品の損傷率との関係を表す検量線として得た。

[0024] このようにして作成した検量線を用いて、加熱及び加圧により劣化した第１製品のクリープ余寿命を予測することができる。

[0025] また、本発明に係る、加熱及び加圧により劣化した第１製品のクリープ余寿命を予測する方法に用いる検量線を作成する方法は、加熱及び加圧により劣化した１または２以上の第２製品に生じた最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求める工程と、得られた結晶粒の数と第２製品の損傷率との関係を表す検量線を作成する工程とを含み、第１製品および第２製品がベイナイト組織を有することを特徴としても良い。

即ち、上述した方法において、最大亀裂長さを求める代わりに最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求め、さらに、最大亀裂長さと第２製品の損傷率との関係を表す検量線を作成する代わりに、最大亀裂がまたがる結晶粒の数と第２製品の損傷率との関係を表す検量線を作成する。

[0026] 亀裂がまたがる結晶粒の数とは、亀裂が走る結晶粒界の面または辺の数をいう。亀裂が寸断されている場合には、寸断されている箇所（箇所）の長さが、その寸断箇所が隣接する両亀裂のうち長い方の長さに対して所定の割合以下であれば、これら両亀裂及び寸断箇所は繋がった一つの亀裂であるとみなして、

亀裂がまたがる結晶粒の数を求めることが好ましい。このようにみなすことによって、第1製品のクリープ余寿命を精度良く予測できる検量線とすることができる。所定の割合は、例えば、半分であることが好ましい。

亀裂がまたがる結晶粒の数の求め方を、図1を用いて具体的に説明する。ベイナイト組織を有する製品100において、亀裂10（図1中に太い線で記載）が複数の結晶粒1に沿って生じている。亀裂10は途中で寸断されているが、寸断されている箇所長さ3が、この寸断箇所が隣接する両亀裂のうちの長い方の長さ4の半分以下であることから、亀裂10は寸断箇所も含めて一つの亀裂であるとみなす。この結果、亀裂10がまたがる結晶粒の数は6であると求まる。

[0027] 亀裂がまたがる結晶粒の数を測定する方法は、特に限定されず、公知の方法を用いることができるが、例えば、走査型電子顕微鏡（SEM）によって製品の表面の組織観察を行うことによって測定しても良い。

また、亀裂がまたがる結晶粒の数を測定するにあたっては、製品の全体を観察し、製品に生じた全ての亀裂の中で最大の亀裂がまたがる結晶粒の数を測定しても良いが、製品において所定の評価範囲を設定し、その評価範囲内に生じた亀裂の中から最大の亀裂がまたがる結晶粒の数を測定しても良い。

評価範囲を設定する場合、評価範囲の位置は、製品の任意の箇所に設定することができるが、その製品において亀裂が生じやすい箇所を含むように設定することが好ましい。当業者であれば、このような箇所を、経験則や計算から求めることができる。また、評価範囲の広さの設定は、任意であるが、例えば、 $0.3\text{ mm}^2 \sim 1.0\text{ mm}^2$ の範囲内であっても良い。

本発明に係る検量線作成方法によれば、ベイナイト組織を有する製品の余寿命の予測するにあたって、最大亀裂がまたがる結晶粒の数を適用することによって、評価範囲を任意に設定しても、設定の仕方に依存する誤差が極めて少ない検量線を作成できるという有利な効果を奏する。

[0028] このようにして得られた最大亀裂がまたがる結晶粒の数と、第2製品の損傷率との関係を表す検量線を作成することによって、第1製品のクリープ余

寿命を予測するための検量線とすることができる。そして、このようにして作成した検量線を用いて、加熱及び加圧により劣化した第1製品のクリープ余寿命を予測することができる。

[0029] ===クリープ余寿命を予測する方法==

本発明に係る加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命を予測する方法は、製品に生じた最大亀裂の長さを求める工程と、得られた最大亀裂長さからその製品の損傷率を求める工程とを含み、製品がベイナイト組織を有することを特徴とする。

例えば、加熱及び加圧により劣化した第1製品のクリープ余寿命を予測するには、以下のようにして行う。

まず、第1製品に生じた最大亀裂の長さを求める。次いで、得られた最大亀裂長さを、上述の方法によって作成した検量線の最大亀裂長さに挿入することによって、対応する製品の損傷率を求めることができる。例えば、対応する損傷率が0.80であると求まった場合には、第1製品の余寿命は、これまでに加熱及び加圧した時間の25%であると予測することができる。

[0030] また、本発明に係る加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命を予測する方法は、製品に生じた最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求める工程と、得られた結晶粒の数からその製品の損傷率を求める工程とを含み、製品がベイナイト組織を有することを特徴としても良い。

この場合、例えば、加熱及び加圧により劣化した第1製品のクリープ余寿命を予測するには、以下のようにして行う。

まず、第1製品に生じた最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求める。次いで、得られた結晶粒の数を、上述の方法によって作成した検量線における、最大亀裂がまたがる結晶粒の数に挿入する。これにより、対応する製品の損傷率を求めることができる。例えば、対応する損傷率が0.80であると求まった場合には、第1製品の余寿命は、これまでに加熱及び加圧した時間の25%であると予測することができる。

実施例

[0031] [実施例 1]

クロムモリブデン鉄鋼鋼材から作られたベイナイト組織を有する円筒管（STPA22、外径 ϕ 56.5mm、内径47.5mm、長さ35.0mm）を試料として、内圧クリープ試験を行った。1つの試料には、温度550℃の条件下で145MPaの内圧を加え（試験1）、別の試料には、温度525℃の条件下で240MPaの内圧を加えた（試験2）。なお、試験1における試料の寿命と、試験2における試料の寿命とは、試験1における試料に対して、試験2における試料の寿命は約23%短く、同程度であった。

[0032] 試験1については、損傷率が、0、0.11、0.18、0.25、0.47、0.66、0.76、0.85および1.00の時に、また、試験2については、損傷率が、0.00、0.14、0.23、0.32、0.61、0.85、0.98および1.00の時に、試料の組織観察を行った。

具体的には、各試料について、観察毎に評価範囲を定めた。評価範囲の位置の設定は、円筒管において亀裂が生じやすいとされる管の長さ方向の中央部分を含むように設定した。また、評価範囲の面積の設定は、亀裂が1.0mm²以上の面積にわたる場合には亀裂全体を含むように定め、これ以外の場合には0.3mm²または1.0mm²の広さを有するように設定した。

定めた評価範囲について、10倍、50倍、100倍及び400倍の倍率で走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて組織観察をし、評価範囲内に存在するボイドの数、さらに、亀裂が存在した場合には、最も長い亀裂について、最大亀裂長さ、及び、最大亀裂がまたがる結晶粒の数（以下、「拡張Mパラメータ」ともいう）を測定した。なお、亀裂が途中で寸断されていた場合には、その寸断されている箇所各長さが、寸断箇所が隣接する両亀裂のうち長い方の長さの半分以下であれば、これらの亀裂及び寸断箇所は繋がった一つの亀裂であるとみなして、最大亀裂長さ及び拡張Mパラメータを求めた。

また、組織観察に加えて、上記各損傷率の時に、試料の長さ方向の中央部分において、試料の外径及びビッカース硬さを測定した。測定した外径からは、損傷率が0の時の外形を基準として膨張率を求めた。

[0033] 得られたSEMの像のうち、代表して、試験1における損傷率が0.76の像を図2に、損傷率が0.85の像を図3に、及び、損傷率が1.00の像を図4に、並びに、試験2における損傷率が0.70の像を図5に、損傷率が0.98の像を図6に、及び、損傷率が1.00の像を図7に示す。

例えば図2(b)が示すように、試験1における損傷率が0.76の時の最大亀裂は、途中で寸断されているが、寸断されている箇所の長さが、隣接する両亀裂のうち長い方の長さの半分以下であったため、これらの亀裂及び寸断箇所は繋がった一つの亀裂であるとみなして、最大亀裂長さを $518\mu\text{m}$ と求め、拡張Mパラメータを6と求めた。同様に、図3(a)が示すように、試験1における損傷率が0.85の時の最大亀裂は、複数箇所が途中で寸断されているが、寸断されている各箇所の長さが、それぞれが隣接する両亀裂のうち長いほうの亀裂の長さの半分以下であったため、これらの亀裂及び寸断箇所は繋がった一つの亀裂であるとみなして、最大亀裂長さを1.09mmと求め、拡張Mパラメータを14と求めた。

[0034] このようにして、全てのSEMの像から求めたボイドの数、最大亀裂長さ及び拡張Mパラメータ、並びに、試料の膨張率及びビッカース硬さの結果を、試験1については表1に、試験2については表2にまとめて示す。

[0035]

表 1

			損傷率(%)								
			0.00	0.11	0.18	0.25	0.47	0.66	0.76	0.85	1.00
ボイド個数	評価範囲	1.0	0	0	0	0	31	84	—	—	破断
		0.3	0	0	0	0	13	35	—	—	破断
拡張 Mパラメータ	(mm ²)	1.0	0	0	0	0	0.32	0.54	6	14	破断
		0.3	0	0	0	0	0.32	0.54	6	14	破断
最大亀裂長さ			—	—	—	—	—	—	518μm	1.09mm	18.1mm
膨張率(%)			—	—	0.18	0.18	0.35	0.71	0.88	1.06	2.48
ビッカース硬さ(HV)			195.0	186.9	186.2	183.3	168.2	158.4	164.0	148.3	137.2

[0036]

表 2

			損傷率(%)								
			0.00	0.14	0.23	0.32	0.61	0.85	0.98	1.00	
ボイド個数	評価範囲 (mm ²)	1.0	0	0	0	8	251	—	—	破断	
		0.3	0	0	0	8	81	—	—	破断	
Mパラメータ		拡張	1.0	0	0	0	0.02	0.93	9	36	破断
			0.3	0	0	0	0.02	0.93	9	36	破断
最大亀裂長さ			—	—	—	—	—	764μm	3.41mm	23.7mm	
膨張率(%)			—	—	0	0	0	0.53	0.71	0.71	
ビッカース硬さ(HV)			191.6	192.6	194.8	192.3	194.8	190.3	190.1	190.8	

[0037] 表1及び表2が示すように、評価範囲が 1.0 mm^2 の広さの場合と、 0.3 mm^2 の広さを有する場合とを、同じ損傷率で比較すると、ボイドの個数は面積に比例せず誤差が生じたが、拡張Mパラメータの値は同一となった。従って、拡張Mパラメータを使用してベイナイト組織を有する製品のクリープ余寿命を予測すれば、評価範囲の設定の仕方による誤差が生じにくく、この結果、クリープ余寿命を精度良く予測できることが示された。

[0038] さらに、表1及び表2に基づいて作成した、最大亀裂長さと損傷率との関係を表すグラフを図8に、拡張Mパラメータと損傷率との関係を表すグラフを図9に示す。

図8及び図9が示すように、最大亀裂が途中で寸断されている場合に、寸断されている箇所の各長さが、寸断箇所が隣接する両亀裂のうち長い方の長さの半分以下であれば、これらの亀裂及び寸断箇所は繋がった一つの亀裂であるとみなした最大亀裂長さを採用することによって、最大亀裂長さと損傷率との間、及び、拡張Mパラメータと損傷率との間には、良好な相関関係が存在することが分かる。

これら、最大亀裂長さと損傷率との関係を表す図8、および／または、拡張Mパラメータと損傷率との関係を表す図9を用いることによって、実施例1で使用した試料と同一の材料から作られた、ベイナイト組織を有する他の製品のクリープ余寿命を予測することができる。

[0039] [実施例2]

実施例2では、実施例1で作成した図8及び図9を用いて、ベイナイト組織を有する円筒管のクリープ余寿命を予測した。

クロムモリブデン鉄鋼鋼材で作られた配管（STPA22、JIS規格G 3457「配管用アーク溶接炭素鋼鋼管」）を、火力発電所のボイラでできるように、ゆっくりと加熱しながら曲げ加工した。加工した配管の曲がり部分の組織をSEMで検査したところ、ベイナイト組織が生成していた。このようにして加工した配管に対し、 550°C の温度下で、 145 MPa の内圧を加えた。

[0040] ある時間経過したところで、配管の曲がり部分について、SEMを用いて組織観察した。得られたSEMの像から最大亀裂長さを求めたところ、1.7 mmであった。実施例1で作成した図8より、最大亀裂長さが1.7 mmの時の損傷率は0.95であると求まることから、ボイラの配管の曲がり部分の損傷率は0.95であると予測することができた。即ち、この配管の曲がり部分の余寿命は、現在までの使用時間の約5%であると予測することができた。

[0041] 同様にして、得られたSEMの像から拡張Mパラメータを求めたところ、2.5であった。実施例1で作成した図9より、拡張Mパラメータが2.5の時の損傷率は0.95であると求まることから、ボイラの配管の曲がり部分の損傷率は0.95であると予測することができた。即ち、この配管の曲がり部分の余寿命は、現在までの使用時間の約5%であると予測することができた。

符号の説明

- [0042]
- 1 結晶粒
 - 2 亀裂長さ
 - 3 寸断されている箇所長さ
 - 4 寸断箇所が隣接する亀裂のうち長い方の長さ
 - 10 亀裂
 - 100 ペイナイト組織を有する製品

請求の範囲

- [請求項1] 加熱及び加圧により劣化した第1製品のクリープ余寿命を予測する方法に用いる検量線を作成する方法であって、
- 加熱及び加圧により劣化した第2製品に生じた最大亀裂の長さを求める工程と、
- 得られた最大亀裂長さと第2製品の損傷率との関係を表す検量線を作成する工程とを含み、
- 第1製品および第2製品がベイナイト組織を有することを特徴とする、検量線の作成方法。
- [請求項2] 加熱及び加圧により劣化した第1製品のクリープ余寿命を予測する方法に用いる検量線を作成する方法であって、
- 加熱及び加圧により劣化した第2製品に生じた最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求める工程と、
- 得られた結晶粒の数と第2製品の損傷率との関係を表す検量線を作成する工程とを含み、
- 第1製品および第2製品がベイナイト組織を有することを特徴とする、検量線の作成方法。
- [請求項3] 最大亀裂が寸断されている場合に、寸断されている各箇所の長さが、その寸断箇所が隣接する両亀裂のうち長い方の長さに対して所定の割合以下であれば、最大亀裂は寸断されていないものとみなして、最大亀裂長さ、または、最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求めることを特徴とする、請求項1または2に記載の検量線作成方法。
- [請求項4] 所定の割合が半分であることを特徴とする、請求項3に記載の検量線作成方法。
- [請求項5] 加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命を予測する方法であって、
- 前記製品に生じた最大亀裂の長さを求める工程と、
- 得られた最大亀裂長さから前記製品の損傷率を求める工程とを含

み、

前記製品がベイナイト組織を有することを特徴とする、クリープ余寿命予測方法。

[請求項6] 加熱及び加圧により劣化した製品のクリープ余寿命を予測する方法であって、

前記製品に生じた最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求める工程と

、

得られた結晶粒の数から前記製品の損傷率を求める工程とを含み

、

前記製品がベイナイト組織を有することを特徴とする、クリープ余寿命予測方法。

[請求項7] 最大亀裂が寸断されている場合に、寸断されている各箇所が長さ、その寸断箇所が隣接する両亀裂のうち長い方の長さに対して所定の割合以下であれば、最大亀裂は寸断されていないものとみなして、最大亀裂長さ、または、最大亀裂がまたがる結晶粒の数を求めることを特徴とする、請求項5または6に記載のクリープ余寿命予測方法。

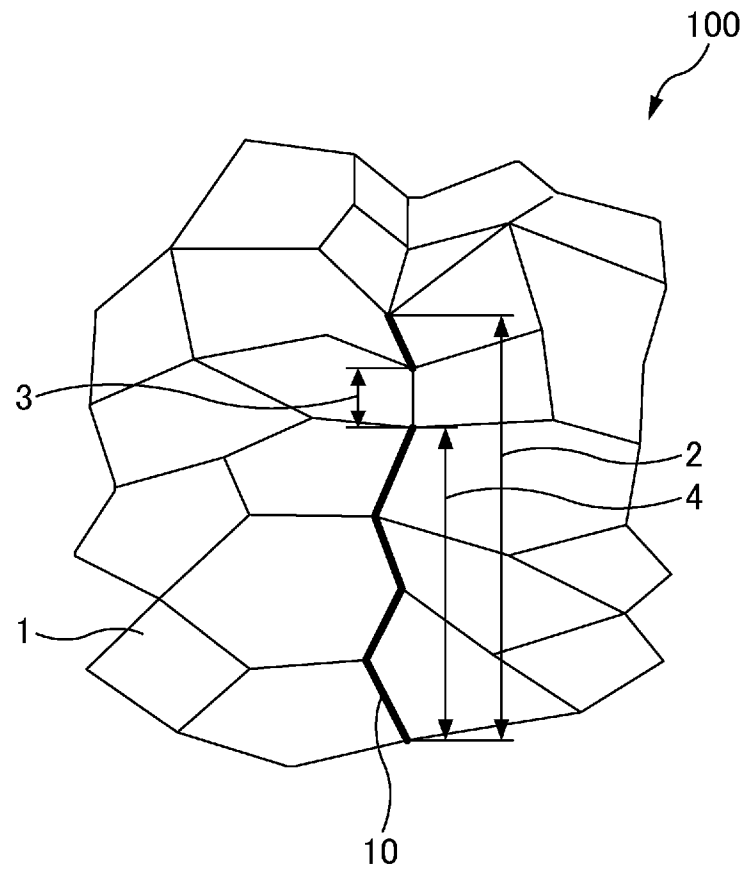
[請求項8] 所定の割合が半分であることを特徴とする、請求項7に記載のクリープ余寿命予測方法。

[請求項9] 前記製品が中空管であることを特徴とする、請求項5～8のいずれか1項に記載のクリープ余寿命の予測方法。

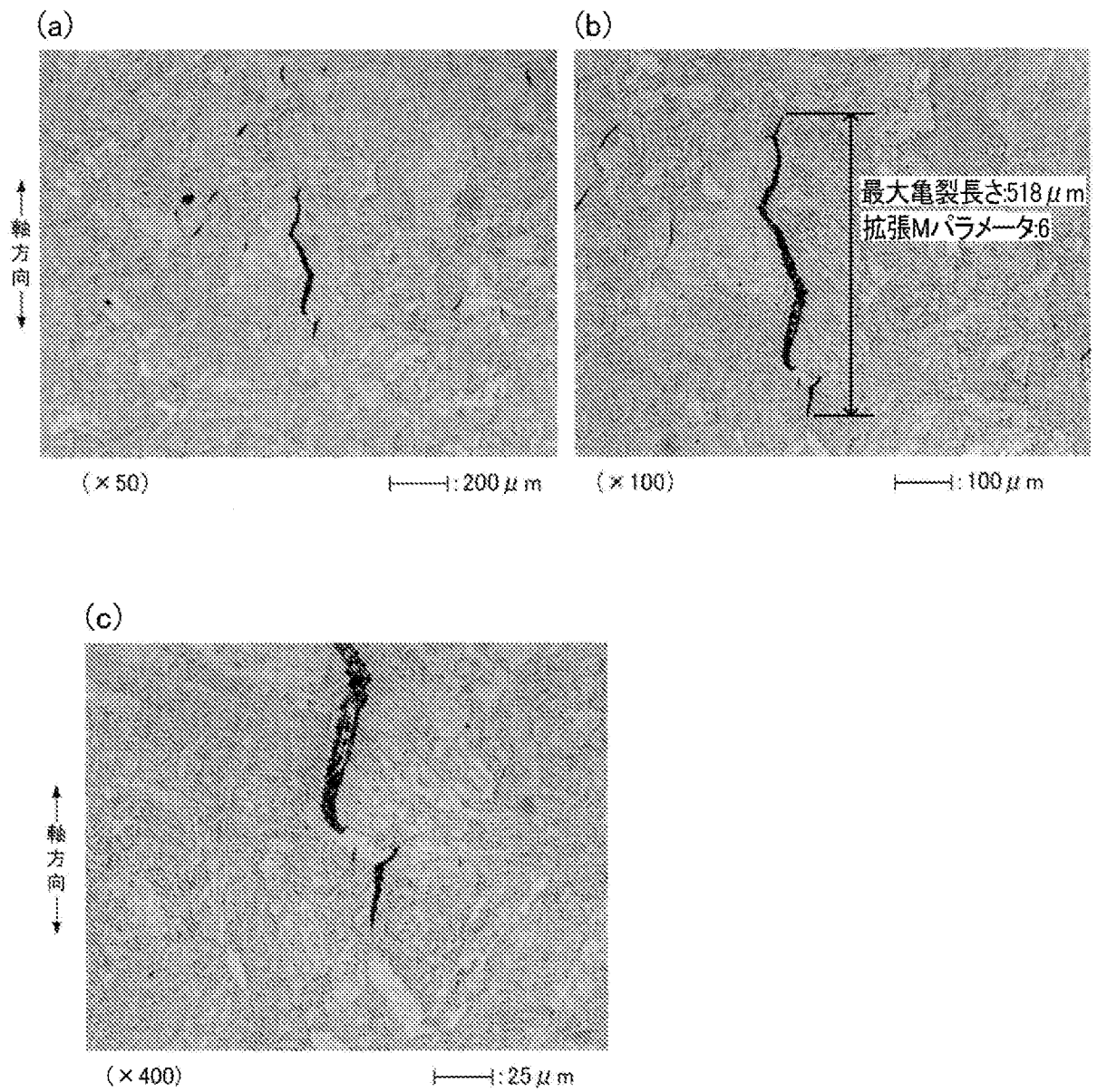
[請求項10] 前記製品が曲がり部分を有するボイラ用配管であることを特徴とする、請求項9に記載のクリープ余寿命の予測方法。

[請求項11] 前記加圧が前記製品に内圧を加えることにより行われることを特徴とする、請求項9または10に記載のクリープ余寿命の予測方法。

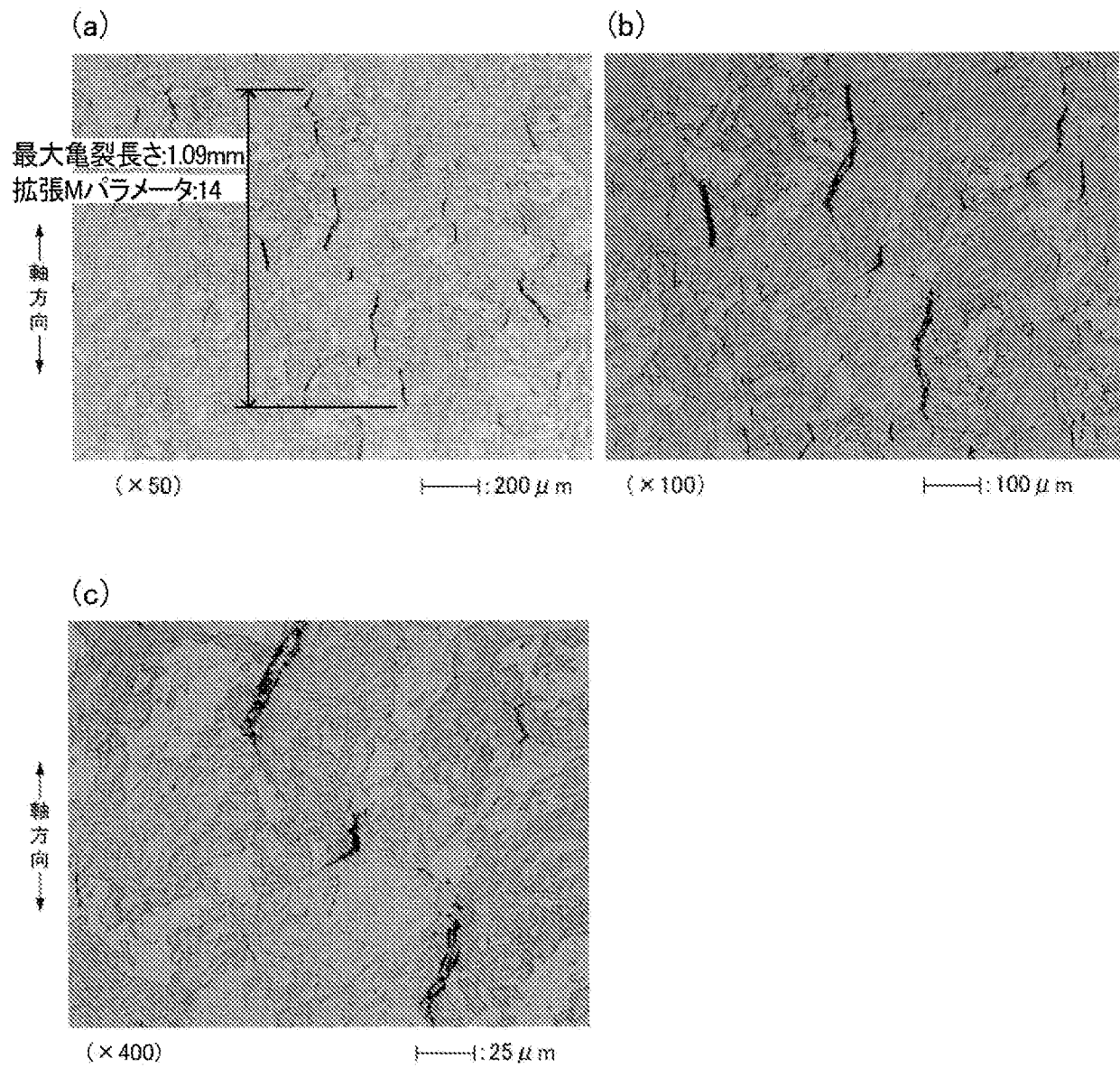
[図1]



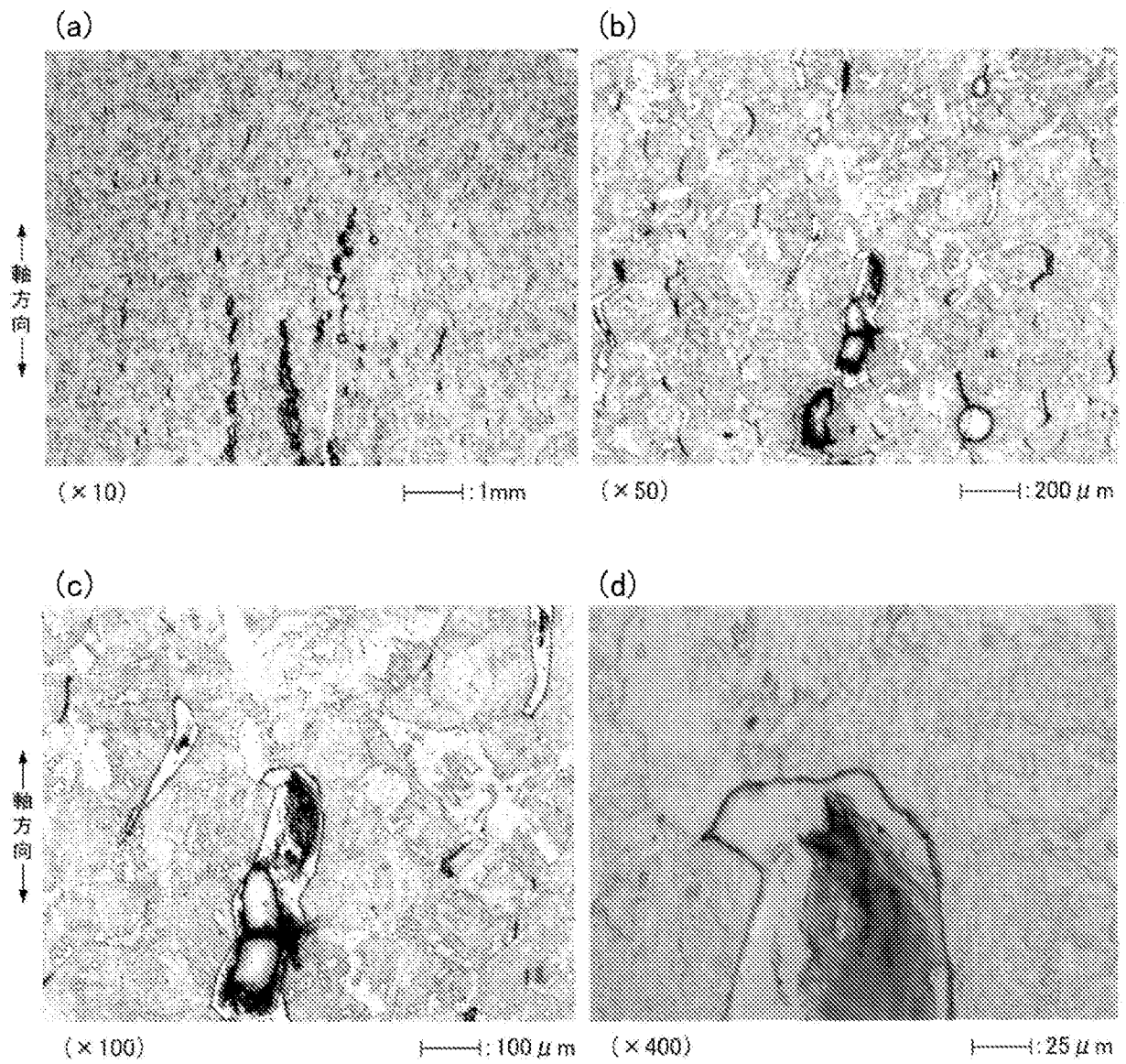
[図2]



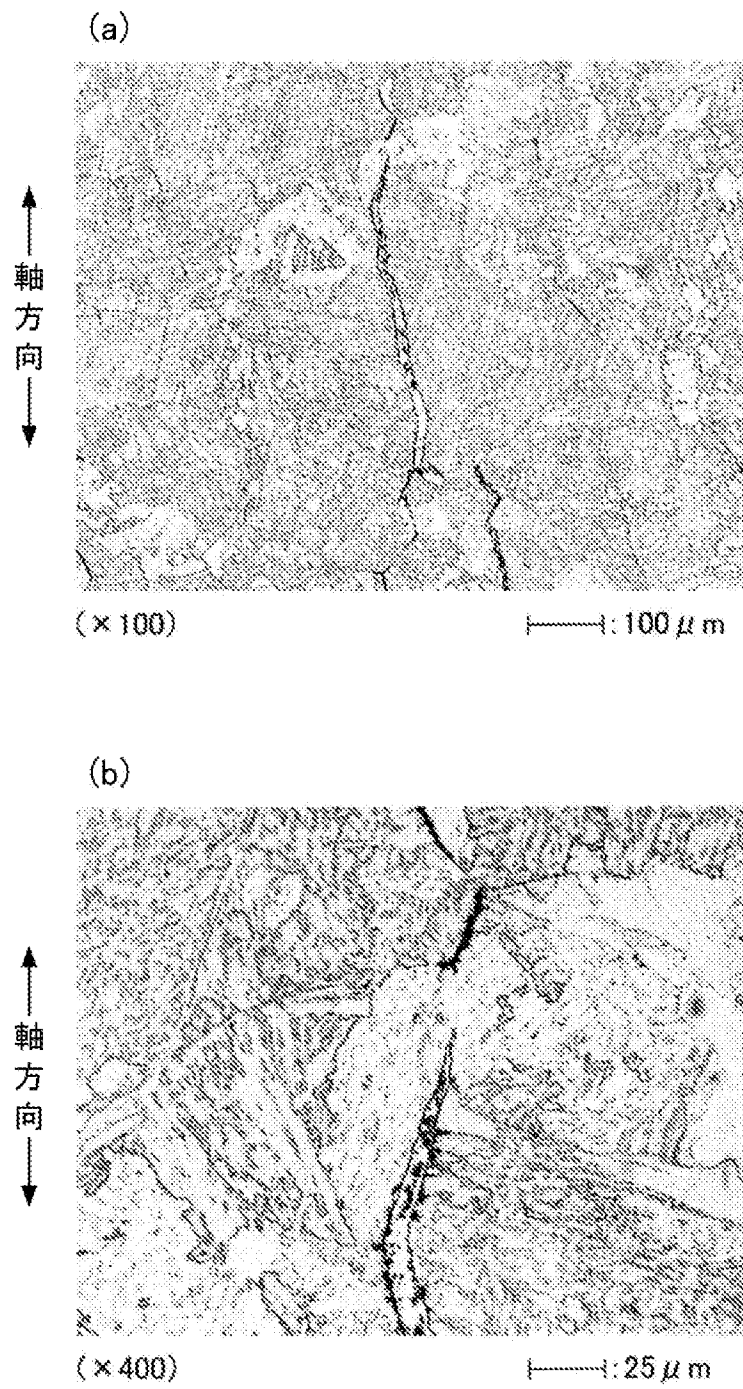
[図3]



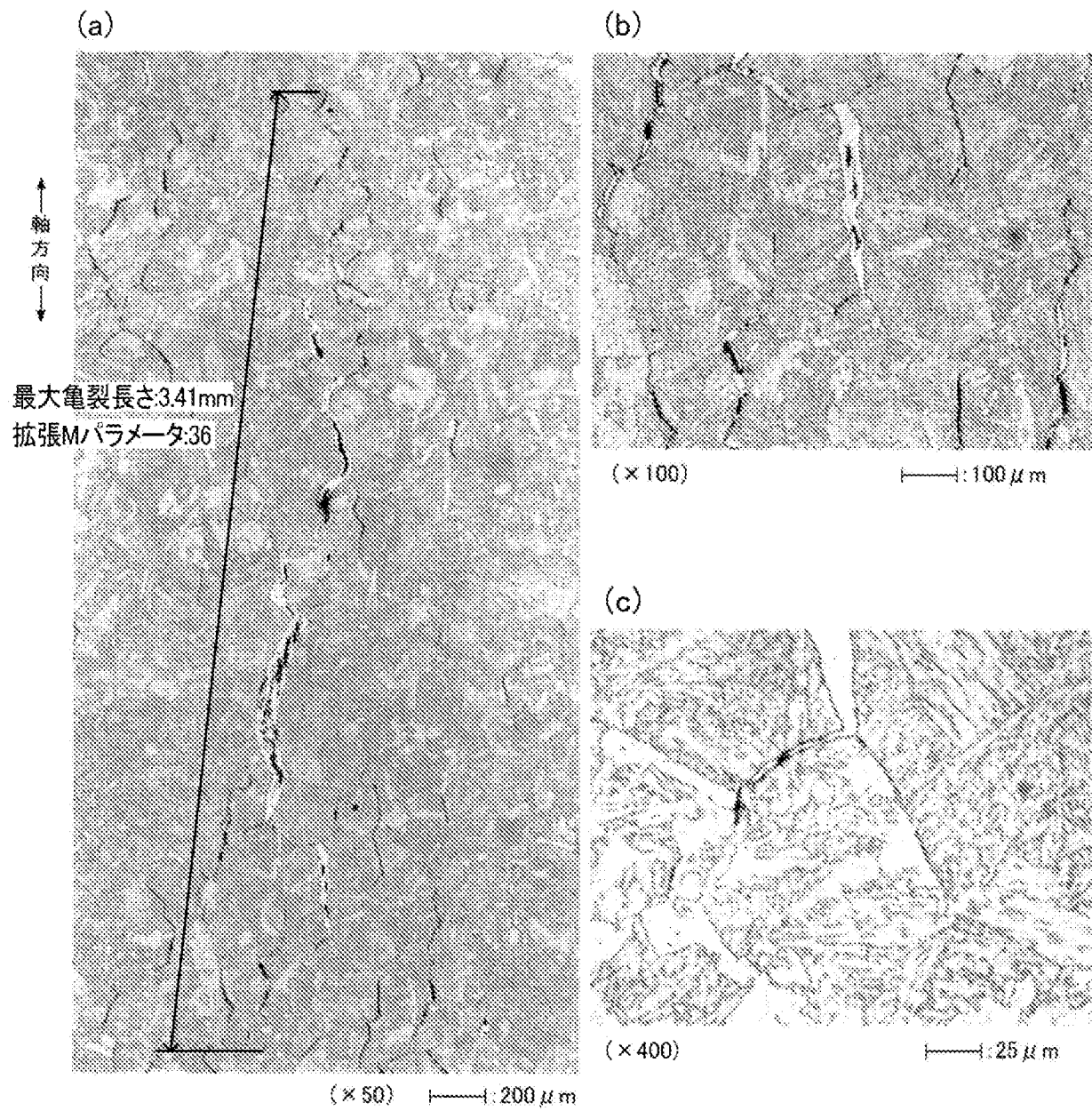
[図4]



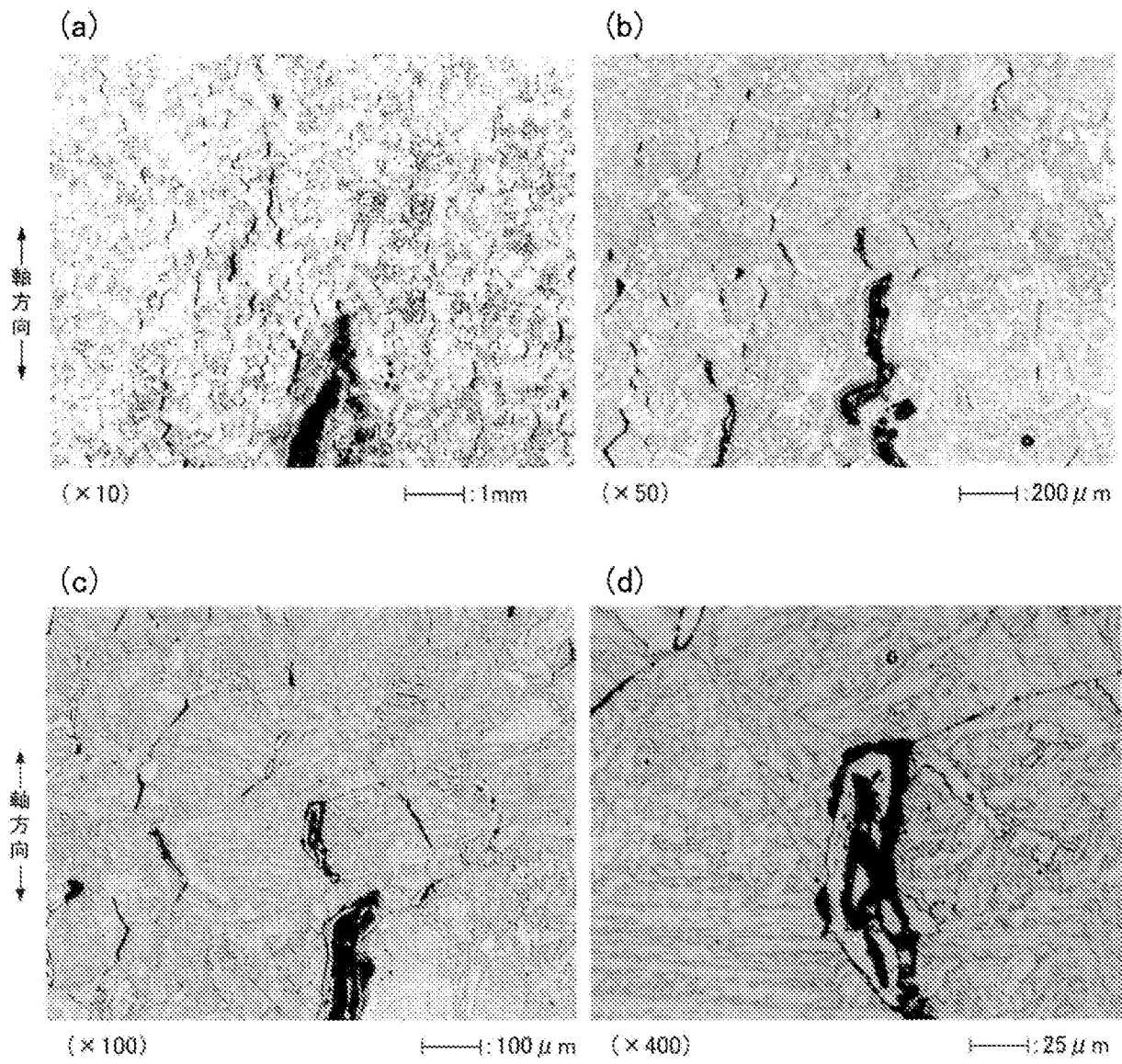
[図5]



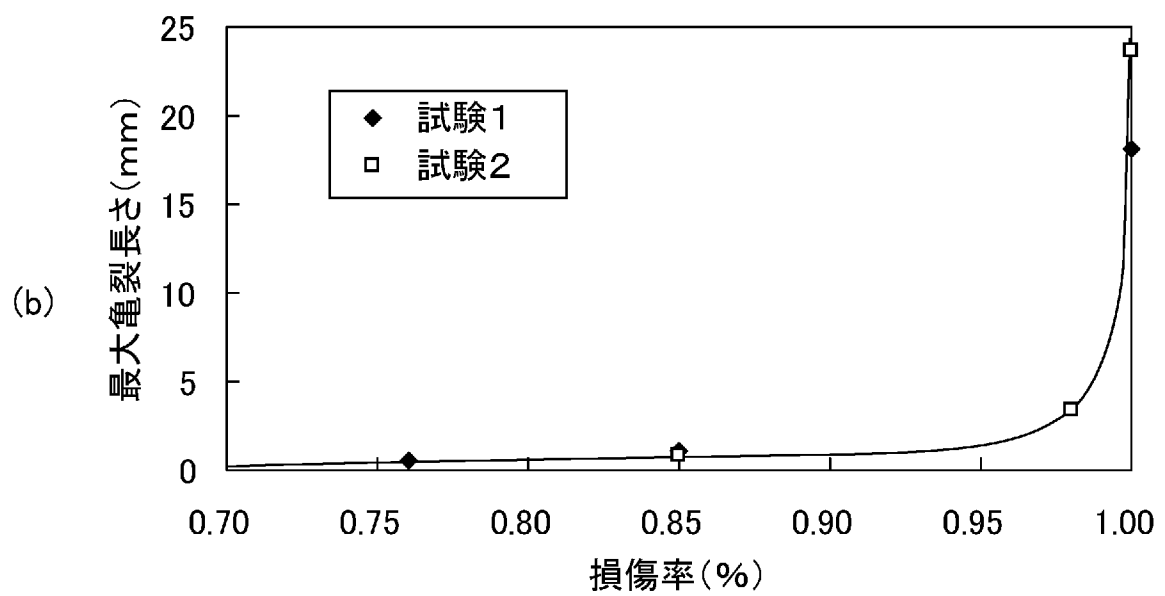
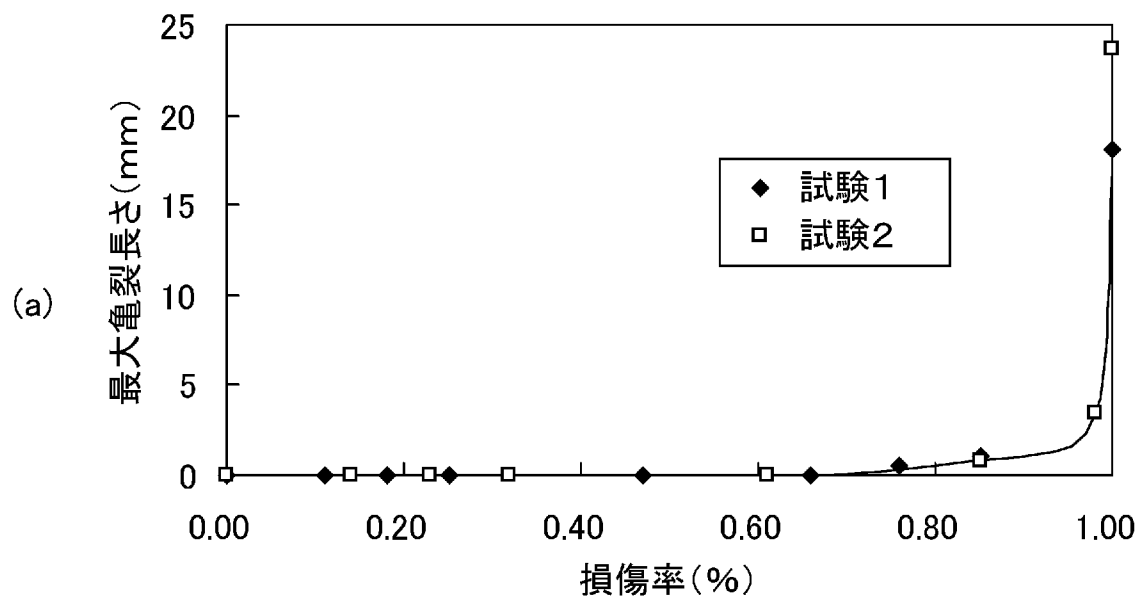
[図6]



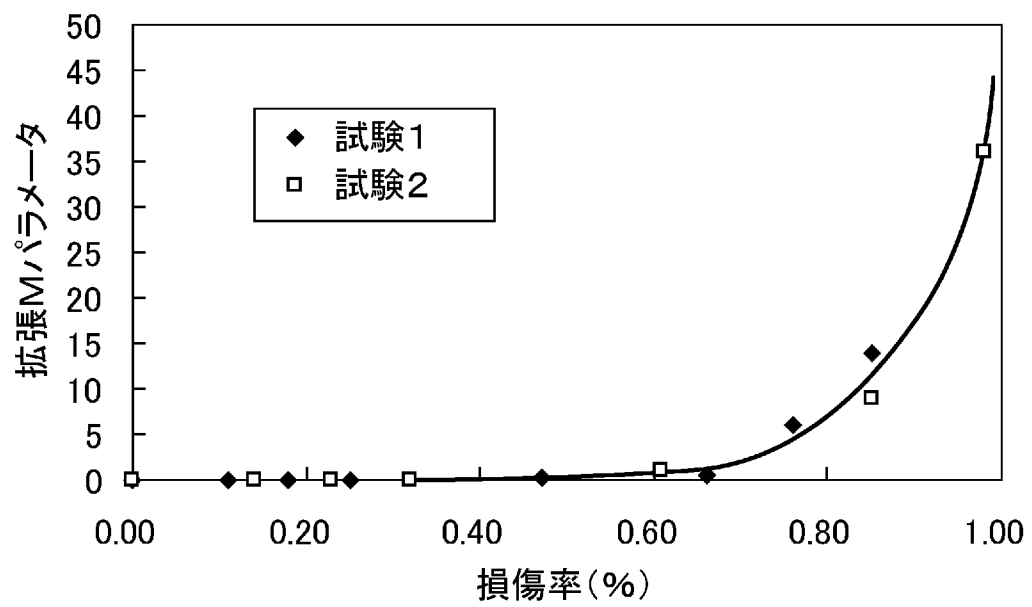
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/058982

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N17/00 (2006.01) i, G01N3/32 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N17/00-17/04, G01N19/00-19/10, G01N3/00-3/62

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2013

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2013 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII), CiNii

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	Isamu NONAKA et al., "202 Boiler Kiki ni Okeru Creep Hiro Sonsho no Keitai to Hyokaho", Gakujutsu Koenkai Koen Ronbunshu, 1996, 45, 37-38	1, 2, 5, 6, 9-11 3, 4, 7, 8
Y A	JP 2005-139470 A (The Tokyo Electric Power Co., Inc.), 02 June 2005 (02.06.2005), paragraphs [0019] to [0024] & US 2004/0089701 A1 & EP 1418245 A2 & CA 2448091 A & CA 2448091 A1	1, 2, 5, 6, 9-11 3, 4, 7, 8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
12 April, 2013 (12.04.13)Date of mailing of the international search report
23 April, 2013 (23.04.13)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01N17/00(2006.01)i, G01N3/32(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01N17/00-17/04, G01N19/00-19/10, G01N3/00-3/62

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII), CiNii

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	野中 勇 他, 202 ボイラ機器におけるクリープ疲労損傷の形態と評価法, 学術講演会講演論文集, 1996, 45, 37-38	1, 2, 5, 6, 9-11 3, 4, 7, 8
Y A	JP 2005-139470 A (東京電力株式会社) 2005.06.02, 【0019】 — 【0024】 & US 2004/0089701 A1 & EP 1418245 A2 & CA 2448091 A & CA 2448091 A1	1, 2, 5, 6, 9-11 3, 4, 7, 8

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 2 . 0 4 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 3 . 0 4 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

阿部 知

2 J

4 6 3 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 2