

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5363689号
(P5363689)

(45) 発行日 平成25年12月11日(2013.12.11)

(24) 登録日 平成25年9月13日(2013.9.13)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 N 3/10 (2006.01)

G O 1 N 3/10

請求項の数 10 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2013-528654 (P2013-528654)
 (86) (22) 出願日 平成23年9月14日(2011.9.14)
 (65) 公表番号 特表2013-540263 (P2013-540263A)
 (43) 公表日 平成25年10月31日(2013.10.31)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2011/065932
 (87) 国際公開番号 W02012/035062
 (87) 国際公開日 平成24年3月22日(2012.3.22)
 審査請求日 平成25年5月10日(2013.5.10)
 (31) 優先権主張番号 1057306
 (32) 優先日 平成22年9月14日(2010.9.14)
 (33) 優先権主張国 フランス (FR)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 511152500
 コミッサリア ア レネルジ アトミック
 エ オー エネルジス アルテルナティ
 ヴス
 COMMISSARIAT A L 'EN
 ERGIE ATOMIQUE ET A
 UX ENERGIES ALTERNA
 TIVES
 フランス国, 75015 パリ, リュー
 ルブラン バティマン ル ポナン デ,
 25
 25, rue Leblanc Bat
 iment Le Ponant D,
 F-75015 Paris, Franc
 e

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 管状試料のクリープ試験用装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

クリープ試験用装置であって、
 2つの端部と内壁を有する管状の細長い被験試料、
 長手軸と、2つの端部と、外壁と、内部体積と、前記長手軸に沿って、半径方向のステ
 ィフネスよりも小さい軸方向スティフネスを有する管、及び、
 2つのストッパ、
 を有し、
 前記ストッパの各々は、前記試料の端部と前記管の端部を固定し、かつ、前記試料と前
 記管との間の内部空間を、前記試料の内壁と前記管の外壁との間の表面によって閉じ、
 当該装置は、前記試料に印加される軸方向応力と円周方向応力を、前記内部空間での圧
 力に対する前記管の内部体積での圧力の比、及び、前記内部体積を閉じる表面Stの面積に
 対する、前記ストッパでの前記試料の内壁と前記管の外壁との間の表面の面積の比の関数
 として、各独立に明らかにすることによって、二軸の比を求めることを可能にする、
 ことを特徴とする装置。

【請求項 2】

前記管の少なくとも一の端部は、加圧気体を前記内部体積へ導入するのに適した再封止
 可能な開口部を有する、請求項1に記載の装置。

【請求項 3】

前記管の少なくとも一の端部は、加圧気体を前記内部空間へ導入するのに適した再封止

10

20

可能な開口部を有する、請求項1又は2に記載の装置。

【請求項4】

前記管は、前記管の少なくとも一の端部の近傍であって前記外壁上に少なくとも1つの鍵を有し、かつ、

少なくとも1つのストッパは、前記試料中での前記管のねじれを防止するように、前記鍵に対して相補的な形状を有する溝を備える、

請求項1乃至3のうちいずれか一項に記載の装置。

【請求項5】

前記管の各端部は先細り形状を有し、

各ストッパは、前記管の各端部に対して相補的な先細り形状を有する、

請求項1乃至4のうちいずれか一項に記載の装置。

10

【請求項6】

前記管は、前記長手軸に沿った軸方向スティフネスが半径方向のスティフネスよりも小さくなるように、波状の中央部を有する、請求項1乃至5のうちいずれか一項に記載の装置。

【請求項7】

前記試料と前記管との間の内部空間が気体を含み、

前記圧力は、当該装置への外圧と等しくても良いし異なっても良く、かつ、前記内部体積の圧力と等しくても良いし異なっても良い、

請求項1乃至6のうちいずれか一項に記載の装置。

20

【請求項8】

前記管の内部体積は気体を含み、

前記圧力は、当該装置への外圧と等しいか、又は異なる、

請求項1乃至7のうちいずれか一項に記載の装置。

【請求項9】

前記内部体積又は内部空間が真空状態である、請求項1乃至8のうちいずれか一項に記載の装置。

【請求項10】

前記試料が、ジルコニウム合金、酸化物分散強化型(ODS)鋼、又はSiC/SiCセラミックマトリックス複合体から形成される、請求項1乃至9のうちいずれか一項に記載の装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、管状試料のクリープ試験用装置に関する。

【背景技術】

【0002】

構造健全性は、核施設及び原子炉の安全性の非常に重要な要素である。構造物の環境（たとえば機械的応力、温度、照射等）によって誘起される燃料集合体の構成要素の寸法変化を決定することは、この構造健全性の保証の助けになる。

【0003】

40

本願においては、機械的試験によって、原子炉の燃料集合体の構成要素—特に燃料被覆管—の挙動が調査される。この構成要素の挙動の調査は、照射下での試料の構成材料の粘塑性挙動と、完全な材料又は被照射材料での非照射粘塑性挙動を調査することによって実行される。

【0004】

原子炉内で起こりうる最も代表的な条件—具体的には材料を照射する中性子束、温度、及び多軸内部応力（つまり材料の任意の点での単位面積当たりに作用する内部の力の大きさ）が考慮される—でこれらの機械的試験を行うことが求められることは明らかである。

【0005】

50

特に応力は2つに分類される。

－ 垂直応力と呼ばれる調査される部分に対して垂直な応力（たとえば引っ張り応力及び圧縮応力）

－ 剪断応力、横応力、又は縦応力と呼ばれる調査される部分に対して平行な正接応力

細長い管状試料の場合では、図1に図示されているように、縦軸Zに沿った垂直軸応力 σ_{zz} （以降簡明を期すために σ_z と表記する）、及び、軸Zに対して垂直でかつ試料半径が r のときの垂直円周応力 $\sigma_{\theta\theta}$ （以降簡明を期すために σ_{θ} と表記する）を特定することが求められる。

【0006】

従来一定又は平均の応力値は、次式で与えられる。

$$\sigma_{\theta} = P \cdot r_i / e$$

$$\sigma_z = (P \cdot S + F) / S_0$$

$$\sigma_r = P / [2 + (e / r_i)]$$

ここで、 P は試料の内圧で、 r_i は試料の初期内径で、 e は試料の初期厚さで、 S は試料の初期内部断面積で、 F は試料外部からの軸方向の力で、 S_0 は試料の負荷がかかる初期断面積である。

【0007】

これらの式によると、 σ_{θ} は厚さ内での（厚さによって重み付けられた）円周方向の応力の平均値で、かつ、 σ_r はその厚さ内での半径方向の応力の平均値である。

【0008】

よって二軸の比 α 次式によって定義される。

$$\alpha = \sigma_z / \sigma_{\theta}$$

あるいは直接修正するのに適した量を用いて操作すると、次式のようにになる。

$$\alpha = \alpha^{PI} [1 + (S_t / S_i) \cdot P_t / (P_i - 1)]$$

ここで、

【0009】

【数1】

$$\alpha^{PI} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{e}{2 \cdot r_i}} \right)$$

である。

【0010】

これらの種類の相補的な試験は通常、管状試料の粘塑性挙動を評価するのに用いられる。試料のクリープ試験という語句が用いられる。

【0011】

第1種の試験は、加圧前の試料で実行される。これらの試験は、封止された試料内部に所与の量の気体を設ける手順からなる。これらの試験は、試料が照射されないコールド試験においても、被照射材料又は原子炉内での中性子束を受ける試料を扱うホット試験においても、最も確実で、かつ、多数の試料を含む系統的な試験に非常に適している。

【0012】

第2種の試験は、設定された内圧下の試験で実行される。これらの試験は、固定又は接合されたストッパによって封止された管部分での内圧を連続的に設定する手順からなる。設定された圧力試験は従来、コールド試験でかつホットセルにおいて用いられ、かつ、機械的負荷の試験に適している。このとき二軸の比は0.5である。

【0013】

第3種の試験は、設定された内圧及び軸方向の負荷がかかった状態の試料で実行される。これらの試験は、たとえば油によって内圧を印加し、同時に軸方向に外力を印加することによって、その試料の2つの軸に沿った応力を設定する手順からなる。よって、外部からの軸方向の圧縮力又は引っ張り力が、内圧がかかることに起因する端部の負荷効果により自然に誘起される引っ張り力に加わる。外部からの軸方向の力に加わることで、任意の二軸の比の値を得ることが可能となる。機械的負荷の選択及び二軸の比の選択を可能にすることによって軸方向に負荷をかけた設定圧力試験を行うことで、材料の機械的挙動の知見に関して最大の価値がさらに得られる。これらは、いくつかの原子力実験施設でのみ習得されている。

10

【0014】

しかし上記試験には問題がある。

【0015】

加圧前の試料での試験では、二軸の比 α は約0.5という1つの値に限定される。

【0016】

設定された内圧試験は短時間の試験向けであり、かつ、ほんのいくつかの設定された加圧照射実験しかできない。そのため、複数の試料を同時に用いるのに適さない高度な技術的試験装置が必要となる。

【0017】

設定された内圧及び軸方向負荷試験は、その試験装置の高度な技術的性質のため、複数の試料を同時に用いるのに適さない。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0018】

本発明の目的は、これらの課題のうちの少なくとも1つを解決することである。

【課題を解決するための手段】

【0019】

上記目的のため、本発明はクリープ試験用装置に関する。当該装置は以下を有することを特徴とする。

- ー 2つの端部と内壁を有する管状の細長い被験試料、
- ー 長手軸と、2つの端部と、外壁と、内部体積と、前記長手軸に沿って、半径方向のスティフネスよりも小さい軸方向スティフネスを有する管、及び、
- ー 2つのストッパ、

30

を有する。前記ストッパの各々は、前記試料の端部と前記管の端部を固定し、かつ、前記試料と前記管との間の内部空間を、前記試料の内壁と前記管の外壁との間の表面によって閉じる。

【0020】

当該装置は、前記試料に印加される軸方向応力と円周方向応力を、前記内部空間での圧力に対する前記管の内部体積での圧力の比、及び、前記内部体積を閉じる表面 S_t の面積に対する、前記ストッパでの前記試料の内壁と前記管の外壁との間の表面の面積の比の関数として、各独立に明らかにすることによって、二軸の比を求めることを可能にする。

40

【0021】

本発明は有利になるように、以下の特徴をさらに有する。

【0022】

前記管の少なくとも一の端部は、加圧気体を前記内部体積へ導入するのに適した再封止可能な開口部を有する。

【0023】

前記管の少なくとも一の端部は、加圧気体を前記内部空間へ導入するのに適した再封止可能な開口部を有する。

【0024】

50

前記管は、前記管の少なくとも一の端部の近傍であって前記外壁上に少なくとも1つの鍵を有する。少なくとも1つのストッパは、前記試料中での前記管のねじれを防止するため、前記鍵に対して相補的な形状を有する溝を備える。

【0025】

前記管の各端部は先細り形状を有する。

【0026】

前記管は、前記長手軸に沿った軸方向スティフネスが半径方向のスティフネスよりも小さくなるように、波状の中央部を有する。

【0027】

前記試料と前記管との間の内部空間は気体を含む。前記圧力は、当該装置への外圧と等しくても良いし異なっても良く、かつ、前記内部体積の圧力と等しくても良いし異なっても良い。

【0028】

前記管の内部体積は気体を含む。前記圧力は、当該装置への外圧と等しくても良いし異なっても良い。

【0029】

前記内部体積又は内部空間は真空状態である。

【0030】

前記試料は、ジルコニウム合金、酸化物分散強化型(ODS)鋼、又はSiC/SiCセラミックマトリックス複合体から形成される。

【0031】

本発明は多数の利点を有する。

【0032】

本発明は、前記軸方向応力と前記円周方向応力とを分離するのに適している。前記軸方向応力と前記円周方向応力とが分離されることで、従来手段—具体的には前記試料の端部負荷効果、すなわち前記試料へ印加される前記管の内部体積内での圧力の選択—を用いては通常は不可能であった、前記二軸の比を容易に選択することが可能となる。

【0033】

特に前記試料の端部負荷効果を具体的に選択することによって、特に前記軸方向応力を決定する、前記試料の内壁と前記管の外壁との間の表面に印加される前記ストッパでの圧力は、前記試料の底部全体には印加されない。よって前記圧力は制限されうる。他方、前記圧力は、前記試料の内壁に印加される圧力を決定する。

【0034】

本発明は、特にホット試験を行う実験室またさらには中性子束中—たとえば研究用原子炉中—での実施も単純である。

【0035】

本発明は、0.5とは異なる二軸の比の値を選択することが可能であると同時に、加圧前試験の利点を併せ持つ。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】細長管状試料に印加される応力を表している。

【図2A】本発明による装置を概略的に表している。

【図2B】本発明による装置を概略的に表している。

【図2C】本発明による装置を概略的に表している。

【図3A】本発明による装置の考えられ得る実施例を表している。

【図3B】本発明による装置の考えられ得る実施例を表している。

【図3C】本発明による装置の考えられ得る実施例を表している。

【発明を実施するための形態】

【0037】

本発明のさらなる特徴、目的、及び利点は、以降の発明の詳細な説明から明らかとなる

10

20

30

40

50

。この発明の詳細な説明は、非限定的な例示に過ぎず、添付図面を参照しながら読まなければならない。

【0038】

全図中、同様の構成要素は同一の参照番号を有する。

【0039】

図2A～2Cは本発明による装置を概略的に表している。

【0040】

これらの図に示されているように、本発明によるクリープ試験用装置は基本的に、管状の細長形状を有する被験試料1を有する。

【0041】

試料1は、2つの端部（近接端部と遠方端部）11、及び、内壁12を有する。

【0042】

被験試料1は、任意の材料で作られて良いが、現在及び将来の原子炉の燃料被覆管を構成するジルコニウム合金、酸化物分散強化型(ODS)鋼、又はSiC/SiCセラミックマトリックス複合体で構成されることが好ましい。

【0043】

当該装置はまた管2をも有する。管2は、試料1の内部に設けられ、かつ、長手軸(AA)と、2つの端部（近接端部と遠方端部）23を有する。

【0044】

管2は、外壁22と内部体積28をさらに有する。以降の本明細書の記載から分かるように、内部体積28は表面Stによって閉じられている。

【0045】

図2Aのジグザグによって概略的に表されているように、管2は、長手軸(AA)に沿った軸方向スティフネスを有する。前記軸方向スティフネスは、長手軸(AA)に対して垂直な方向に沿った半径方向スティフネスよりも小さい。軸方向スティフネスが小さくなると、内部体積28内での満足できる圧力の伝播を得ることが可能となる。

【0046】

各ストップ3は、試料1の一端11と管2の一端23を固定する。

【0047】

同様に各ストップ3は、試料1と管2との間の内部空間5を閉じて画定する。

【0048】

内部空間5は、図2Bと図2Cから分かるように、ストップ3の表面Siによって閉じられる。よって表面Siは、各ストップ3上で試料1の内壁11と管2の外壁22との間で画定される。

【0049】

本明細書の以降の記載から明らかなように、管2の内部体積28内に印加される圧力Ptを選択することが可能である。ストップ3によって管2の端部23と試料1の端部11が固定されているので、圧力Ptは、端部負荷効果によって、次式で表される軸方向の力Ftを発生させる。

$$F_t = P_t \cdot S_t$$

軸方向の力Ftは次式で表される試料での軸方向応力 σ_z に寄与する。

$$\sigma_{zt} = F_t / S_0$$

ここで S_0 は、試料1の負荷を受ける初期断面積である。

【0050】

本明細書の以降の記載から明らかなように、内部空間5内に印加される圧力Piを選択することは可能である。ストップ3によって管2の端部23と試料1の端部11が固定されているので、圧力Piは、端部負荷効果によって、次式で表される軸方向の力Fiを発生させる。

$$F_i = P_i \cdot S_i$$

軸方向の力Fiは次式で表される試料での軸方向応力 σ_z に寄与する。

$$\sigma_{zt} = F_i / S_0$$

ここで S_0 は、試料1の負荷を受ける初期断面積である。

10

20

30

40

50

【0051】

従って次式が成立する。

$$\sigma_z = \sigma_{zt} + \sigma_{zi}$$

しかも軸(AA)に沿って試料1の内壁12の表面 S_z に印加される圧力 P_i は、円周の垂直面内で垂直力を発生させる。前記垂直力は、次式で表される、試料半径 r にて軸(AA)に対して垂直な円周方向応力 σ_θ に寄与する。

$$\sigma_\theta = P_i \cdot r_i / e$$

当該装置が、試料1に印加される軸方向応力と円周方向応力を以下の比の関数として各独立に明らかにするのに適していることは明らかである。

- 管2の内部体積28内での圧力 P_t に対する内部空間5内での圧力 P_i の比 P_i/P_t 、及び、
- ストップ3で内部体積28を閉じる表面 S_t の面積に対する、ストップ3での試料1の内壁12と管2の外壁22との間の表面 S_i の面積の比 S_i/S_t

10

特に、試料1と管2との間の内部空間5が気体を含むとき、円周方向応力 σ_θ は無視できる。ここで圧力 P_i は、当該装置外部からの圧力 P_e に等しくて良いし、又は異なっても良い。力 F_i に起因する軸方向応力もまた無視できる。

【0052】

しかしこの場合において圧力 P_t が圧力 P_e よりも大きい場合、試料1に印加される応力は、基本的に軸方向の力 F_t であるので、次式で表される軸方向応力である。

$$\sigma_{zt} = F_t / S_0$$

二軸の比 α が $\alpha = \sigma_z / \sigma_\theta$ によって定義される場合、 σ_θ が無視できるので、二軸の比 α が無限大と近似されることは明らかである。

20

【0053】

このため第1近似として次式が与えられる。

$$\alpha = \infty (E1)$$

逆にストップ3での試料1の内壁12と管2の外壁22との間の表面積 S_i が、内部体積28を閉じる表面積 S_t に対して無視できるときには、表面 S_i での圧力 P_i により発生する力 F_i によって誘起される試料への軸方向応力の成分 $\sigma_{zi} = F_i / S_0$ （ここで $F_i = P_i \cdot S_i$ ）は、如何なる場合でも、同一の圧力によって誘起される円周方向応力 $\sigma_\theta = P_i \cdot r_i / e$ に対して無視できる。

【0054】

この場合において管2の内部体積28が気体を含む場合には、成分 F_t つまりは $\sigma_{zt} = F_t / S_0$ が無視できる。ここで圧力は、当該装置外部からの圧力 P_e 以下である。

30

【0055】

従ってこの場合、試料1に印加される円周方向応力と無視できる軸方向応力が発生する。従ってこの場合、二軸の比 α は約0となる。

【0056】

このため第2近似として次式が与えられる。

$$\alpha = 0 (E2)$$

よって比 P_i/P_t の値と比 S_i/S_t の値を調節することによって、式(E1)と式(E2)で表される2つの極限の場合の間で二軸の比 α の値を得ることが可能となる。

【0057】

40

比 S_i/S_t は、当該装置の設計—具体的には管2の外径—によって決定される一方で、比 P_i/P_t は、同一の装置であっても、加圧気体が内部空間5及び/又は内部体積28へ導入されるか否かに従って、変化しうることは明らかである。

【0058】

この圧力差はまた、内部空間5又は内部体積28を真空状態に設定することによっても得ることができる。

【0059】

図3A、図3B、図3C、及び図3Dは、本発明による装置の好適実施例の各独立する図を表している。

【0060】

50

図3Aに図示されているように、本発明による管2は、半径方向スティフネスよりも小さい長手軸(AA)に沿った軸方向スティフネスを供する基本的に波状の中央部27を有する。

【0061】

管2はまた、管2の少なくとも1つの端部23付近であって外壁22に少なくとも1つの鍵24をも有する。

【0062】

同様に管2の各端部23は選択的に雄の先細り形状を有する。

【0063】

さらに管2の少なくとも1つの端部23は、加圧気体を内部体積28へ導入するのに適した再封止可能な開口部25を有する。再封止可能な開口部25は、内部体積28と連通する。

10

【0064】

さらに管2の少なくとも1つの他の端部23は、加圧気体を内部空間5へ導入するのに適した再封止可能な開口部26を有する。この目的のため、一旦管2が試料1内に載置されると（図3A参照）、開口部26は、内部空間5へのT字形状を有するチャンネルを形成する。

【0065】

再封止可能な開口部25,26の各々は、たとえば溶接されたプラグ又は当業者に既知である他の手段（たとえばチップング）によって再封止されて良い。

【0066】

図3Bと図3Cに図示されているように、各ストッパ3は、端部11で試料1の内壁12と係合するのに適した内部円筒部32を有する。

20

【0067】

この目的のため、各ストッパ3は有利となるように、鍵24に対して相補的な形状を有する溝34を備える。各鍵24と各溝34との間で係合することで、試料1中での管2のねじれが防止される。

【0068】

各ストッパ3はまた、試料1の外部で、かつ試料1の各端部11の軸方向の上部に隣接する外部円筒部35をも有する。

【0069】

よってストッパ3は、各端部11に対して相補的な形状によって係合する。

【0070】

30

気密性は、前記形状の相補的な性質により供される。それによりストッパ3は、試料1と管2との間の内部空間5を封止する。

【0071】

有利となるように、管2の各端部23は、試料1の一端11と管2の一端を固定するように、各ストッパ3を貫通して、外部円筒部35に隣接するナット4と係合するのに適するようにねじ山を備えた外壁を有する。

【0072】

端部23とストッパとを組み合わせる他の手段（接合、溶接等）が用いられて良いことは明らかである。

【0073】

40

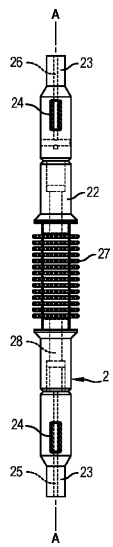
端部11と23は、相補的な形状によつての機械的に固定される。

【0074】

この目的のため、各ストッパ3は、管2の各端部23に対して相補的な雌の先細り形状を有する。

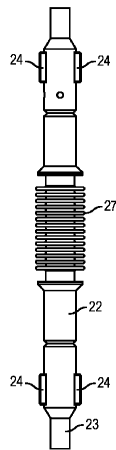
【図 3 A】

FIG. 3A



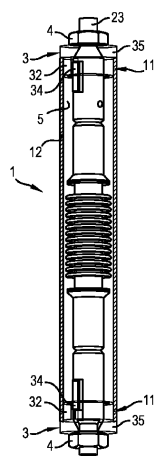
【図 3 B】

FIG. 3B



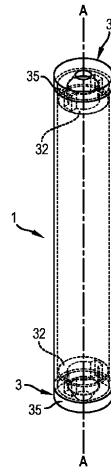
【図 3 C】

FIG. 3C



【図 3 D】

FIG. 3D



フロントページの続き

(74)代理人 100107766

弁理士 伊東 忠重

(74)代理人 100070150

弁理士 伊東 忠彦

(74)代理人 100091214

弁理士 大貫 進介

(72)発明者 カラスー, セバスチャン

フランス国, エフー 9 1 4 7 0 リムール リュー デ ラブルボワ, 5

(72)発明者 モンガブール, フィリップ

フランス国, エフー 9 4 2 4 0 ライ レ ローズ リュー ウジューヌ ジヴォール, 4 9

(72)発明者 イヴォン, パスカル

フランス国, エフー 9 2 1 6 0 アントニー シェマン ドゥ モリク 4

審査官 阿部 知

(56)参考文献 仏国特許出願公開第 2 9 3 4 8 9 9 (FR, A 1)

英国特許出願公開第 2 4 5 8 2 9 3 (GB, A)

特開 2 0 0 7 - 2 5 6 1 6 4 (JP, A)

特開昭 6 4 - 2 5 0 9 6 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 N 3 / 0 0 - 3 / 6 2

G 2 1 C 1 / 0 0 - 2 3 / 2 0