

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/201664 A2

(43) Date de la publication internationale
08 octobre 2020 (08.10.2020)

(51) Classification internationale des brevets :
G01N 27/20 (2006.01) G01B 7/34 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2020/050615

(22) Date de dépôt international :
20 mars 2020 (20.03.2020)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1903443 01 avril 2019 (01.04.2019) FR

(71) Déposant : SAFRAN CERAMICS [FR/FR] ; Les Cinq
Chemins Rue de Touban, 33185 LE HAILLAN (FR).

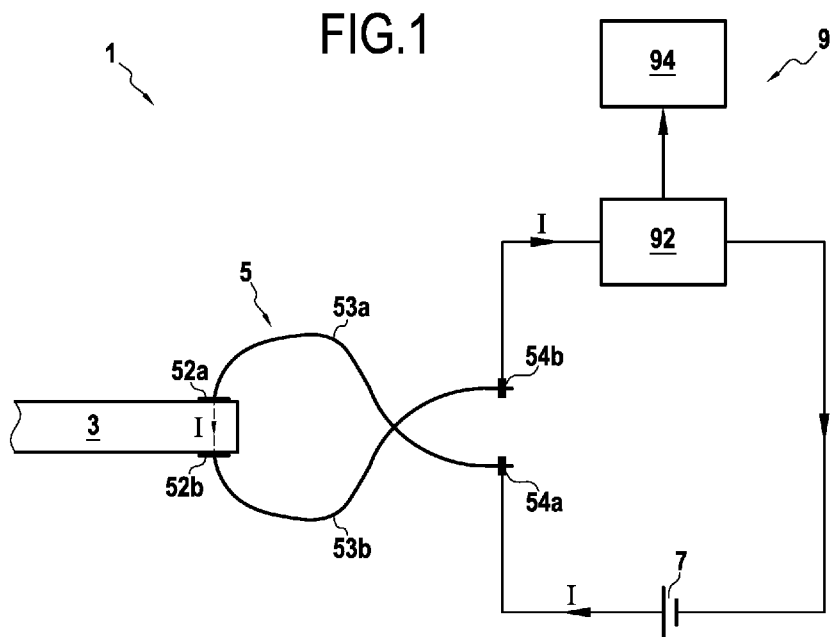
(72) Inventeurs : **BOUILLON, Florent, Georges, Jean-Pierre**
; c/o SAFRAN CEPI, Rond-point René Ravaud - Réau,
77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). **CAZABAT, Patrick**
; c/o SAFRAN CEPI, Rond-point René Ravaud - Réau,
77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). **BESSETTE, Anne**
; c/o SAFRAN CEPI, Rond-point René Ravaud - Réau,
77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR).

(74) Mandataire : **DESORMIERE, Pierre-Louis** et al. ;
CABINET BEAU DE LOMENIE, 158 Rue de l'Université,
75340 PARIS CEDEX 07 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : 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, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,

(54) Title: ADVANTAGEOUS SYSTEM FOR EVALUATING THE DAMAGE TO A WORKPIECE OF COMPOSITE MATERIAL

(54) Titre : SYSTEME UTILE POUR EVALUER L'ENDOMMAGEMENT D'UNE PIECE EN MATERIAU COMPOSITE



(57) Abstract: The invention relates to an advantageous system (1) for evaluating the damage to a workpiece (3) of composite material, comprising at least: - the workpiece of composite material, which comprises a fibre reinforcement which is densified by a matrix having at least one electrically conductive phase, - a clamping device (5) which conducts electricity and comprises electrical conductors (52a; 52b) clamped around the workpiece, - an electrical generator (7) which is connected to the electrical conductors and configured to circulate an electrical current in the workpiece, and - a processing unit (9) which is connected to the electrical conductors and configured to determine the resistance or resistivity of the workpiece and to compare the the resistance or resistivity determined with a predetermined value.

(57) Abrégé : L'invention concerne un système (1) utile pour évaluer l'endommagement d'une pièce (3) en matériau composite, comprenant au moins : - la pièce en matériau composite qui comprend un renfort fibreux densifié par une matrice ayant au moins une phase



WO 2020/201664 A2

KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2(g))*

conductrice de l'électricité, - un dispositif de serrage (5) conducteur de l'électricité comprenant des conducteurs électriques (52a; 52b) enserrant la pièce, - un générateur électrique (7) relié aux conducteurs électriques et configuré pour faire circuler un courant électrique dans la pièce, et - une unité de traitement (9) reliée aux conducteurs électriques et configurée pour déterminer la résistance ou la résistivité de la pièce et pour comparer la résistance ou résistivité déterminée à une valeur prédéterminée.

Description

Titre de l'invention : Système utile pour évaluer l'endommagement d'une pièce en matériau composite

5 Domaine Technique

La présente invention concerne des systèmes permettant d'évaluer l'endommagement d'une pièce en matériau composite, ainsi que des procédés associés.

10 Technique antérieure

Les pièces en matériau composite, comme les disques de frein en matériau carbone / carbone (C/C), sont endommagées en service. Cet endommagement peut être lié à une dégradation mécanique, pouvant se traduire par l'apparition de fissures suite à l'application de sollicitations mécaniques ou thermiques, ou à de l'oxydation par l'oxygène de l'air environnant, ou encore à un effet combiné entre dégradation mécanique et oxydation.

Lors de leur retour de service, l'état d'endommagement des pièces est évalué. Actuellement, cette évaluation est réalisée par inspection visuelle de l'état de surface de la pièce. A l'issue de cette évaluation, l'opérateur détermine si la pièce peut être remise en service, doit subir une réparation ou doit, dans le pire des cas, être mise au rebut. Les méthodes actuelles ne sont pas entièrement satisfaisantes du fait de leur caractère qualitatif et car elles fournissent un résultat dépendant de l'opérateur. En outre, ces méthodes n'évaluent la pièce que sur la base de sa surface et pas de son volume.

25

Il est donc souhaitable de rendre l'évaluation de l'endommagement des pièces en matériau composite plus fiable tout en conservant une mise en œuvre relativement simple.

30

Exposé de l'invention

L'invention vise un système utile pour évaluer l'endommagement d'une pièce en matériau composite, comprenant au moins :

- 5 - la pièce en matériau composite qui comprend un renfort fibreux densifié par une matrice ayant au moins une phase conductrice de l'électricité, par exemple en carbone,
- un dispositif de serrage conducteur de l'électricité comprenant des conducteurs électriques enserrant la pièce,
- 10 - un générateur électrique relié aux conducteurs électriques et configuré pour faire circuler un courant électrique dans la pièce, et
- une unité de traitement reliée aux conducteurs électriques et configurée pour déterminer la résistance ou la résistivité de la pièce et pour comparer la résistance ou résistivité déterminée à une valeur prédéterminée.

15 L'invention peut s'appliquer qu'il s'agisse d'évaluer un endommagement d'une pièce lié à l'oxydation de celle-ci ou à une dégradation mécanique. Dans l'invention, l'endommagement de la pièce est évalué à partir de la détermination de la résistance ou de la résistivité de celle-ci.

Par rapport aux techniques habituelles d'évaluation de l'endommagement mettant en œuvre une inspection visuelle, l'endommagement est évalué dans l'invention de
20 manière quantitative, reproductible et indépendante de l'opérateur. En outre, l'évaluation est effectuée sur la base du volume de la pièce et pas seulement de sa surface. En particulier, l'invention emploie un dispositif de serrage conducteur pour connecter la pièce au générateur électrique qui permet d'imposer à la pièce un serrage prédéterminé et donc un contact électrique prédéfini indépendant de
25 l'opérateur. Le dispositif de serrage est en outre d'un emploi aisé pour un opérateur et n'implique pas d'altérer la pièce pour réaliser la mesure électrique, il n'y a en effet en particulier pas lieu de souder la pièce à un élément tiers. Le dispositif de serrage constitue en outre un moyen réutilisable pour réaliser l'évaluation de la pièce. En outre, l'examen des valeurs de résistance ou de résistivité permet de discriminer
30 précisément les différents états d'endommagement de la pièce.

Selon un premier exemple, le générateur électrique est configuré pour imposer une différence de potentiel prédéterminée entre les conducteurs électriques, et l'unité de

traitement est configurée pour mesurer l'intensité du courant électrique circulant dans la pièce et pour calculer, à partir de cette mesure, la résistance ou la résistivité de la pièce.

Selon un deuxième exemple, le générateur électrique est configuré pour faire circuler un courant d'intensité prédéterminée entre les conducteurs électriques, et l'unité de traitement est configurée pour mesurer la différence de potentiel aux bornes de la pièce et pour calculer, à partir de cette mesure, la résistance ou la résistivité de la pièce.

Les deux exemples de réalisation décrits ci-dessus permettent d'évaluer l'endommagement de la pièce en calculant sa résistance ou sa résistivité à partir de la mesure d'une grandeur électrique au niveau de la pièce. Dans le premier exemple évoqué, la résistance ou la résistivité de la pièce est calculée à partir de l'intensité du courant circulant dans la pièce mesurée par l'unité de traitement, et de la différence de potentiel prédéterminée imposée par le générateur. Dans le deuxième exemple évoqué, la résistance ou la résistivité de la pièce est calculée à partir de la différence de potentiel aux bornes de la pièce mesurée par l'unité de traitement, et de l'intensité du courant prédéterminée imposée par le générateur.

Selon un troisième exemple, la pièce constitue une résistance d'un pont résistif, et l'unité de traitement est reliée audit pont résistif et est configurée pour déterminer la résistance ou la résistivité de la pièce par équilibrage dudit pont résistif.

Dans ce cas, on peut par exemple intégrer la pièce à évaluer à un pont de Wheatstone ou à un pont à fil à l'aide du dispositif de serrage.

L'emploi d'un pont résistif peut être avantageux pour davantage fiabiliser la détermination de la résistance ou de la résistivité lorsque celle-ci a une valeur relativement faible.

Dans un exemple de réalisation, chaque conducteur électrique est monté sur une portion de support du dispositif de serrage par l'intermédiaire d'une liaison pivot.

La présence de cette liaison pivot permet d'orienter de manière optimale les conducteurs électriques par rapport à la pièce dont on cherche à évaluer l'endommagement de sorte à améliorer davantage encore la qualité du contact électrique.

Dans un exemple de réalisation, le dispositif de serrage est une pince de serrage.

Le fait d'utiliser une pince de serrage permet avantageusement de disposer d'un moyen d'évaluation transportable et d'un emploi particulièrement aisé pour l'opérateur.

- 5 Dans un exemple de réalisation, la pièce en matériau composite est un disque de frein.

Dans un exemple de réalisation, le système comprend plusieurs dispositifs de serrage conducteurs de l'électricité comprenant chacun des conducteurs électriques enserrant la pièce et étant chacun présent dans une zone d'évaluation distincte de la

10 pièce, l'unité de traitement étant reliée aux conducteurs électriques et configurée pour déterminer la résistance ou la résistivité de chaque zone d'évaluation et pour comparer chaque résistance ou résistivité déterminée à une valeur prédéterminée.

Un tel système permet une évaluation de l'endommagement plus précise tenant compte d'éventuelles disparités d'endommagement entre différentes zones de la

15 pièce.

Dans ce cas où plusieurs dispositifs de serrage sont utilisés, l'unité de traitement peut être selon l'un quelconque des exemples décrits plus haut et être configurée pour déterminer la résistance ou la résistivité de la pièce par le calcul à partir de la mesure du courant circulant au travers de la pièce ou de la différence de potentiel à

20 ses bornes, ou par équilibrage d'un pont résistif.

Dans ce cas où plusieurs dispositifs de serrage sont utilisés, tout ou partie des dispositifs de serrage peuvent être une pince de serrage.

L'invention vise également un procédé d'évaluation de l'endommagement d'une pièce en matériau composite mettant en œuvre un système tel que décrit plus haut,

25 comprenant au moins les étapes suivantes :

- faire circuler, à l'aide du générateur électrique, un courant électrique dans la pièce,
 - déterminer, à l'aide de l'unité de traitement, la résistance ou la résistivité de la pièce, et
 - comparer, à l'aide de l'unité de traitement, la résistance ou la résistivité déterminée
- 30 à une valeur prédéterminée afin d'évaluer l'endommagement de la pièce.

L'invention vise également un procédé d'évaluation de l'endommagement d'une pièce en matériau composite mettant en œuvre un système selon le premier exemple décrit plus haut, comprenant au moins les étapes suivantes :

- imposer, à l'aide du générateur électrique, une différence de potentiel
- 5 prédéterminée entre les conducteurs électriques enserrant la pièce,
- mesurer, à l'aide de l'unité de traitement, l'intensité du courant électrique circulant dans la pièce,
- calculer, à l'aide de l'unité de traitement et à partir de la mesure de courant électrique effectuée, la résistance ou la résistivité de la pièce, et
- 10 - comparer, à l'aide de l'unité de traitement, la résistance ou la résistivité calculée à une valeur prédéterminée afin d'évaluer l'endommagement de la pièce.

L'invention vise également un procédé d'évaluation de l'endommagement d'une pièce en matériau composite mettant en œuvre un système selon le deuxième exemple décrit plus haut, comprenant au moins les étapes suivantes :

- 15 - faire circuler, à l'aide du générateur électrique, un courant d'intensité prédéterminée entre les conducteurs électriques enserrant la pièce,
- mesurer, à l'aide de l'unité de traitement, la différence de potentiel aux bornes de la pièce,
- calculer, à l'aide de l'unité de traitement et à partir de la mesure de différence de
- 20 potentiel effectuée, la résistance ou la résistivité de la pièce, et
- comparer, à l'aide de l'unité de traitement, la résistance ou la résistivité calculée à une valeur prédéterminée afin d'évaluer l'endommagement de la pièce.

L'invention vise également un procédé d'évaluation de l'endommagement d'une pièce en matériau composite mettant en œuvre un système selon le troisième

25 exemple décrit plus haut, comprenant au moins les étapes suivantes :

- faire circuler, à l'aide du générateur électrique, un courant électrique entre les conducteurs électriques enserrant la pièce intégrée audit pont résistif,
- équilibrer, à l'aide de l'unité de traitement, le pont résistif,
- déterminer, à l'aide de l'unité de traitement et suite à l'équilibrage du pont résistif
- 30 effectué, la résistance ou la résistivité de la pièce, et
- comparer, à l'aide de l'unité de traitement, la résistance ou la résistivité déterminée à une valeur prédéterminée afin d'évaluer l'endommagement de la pièce.

Dans un exemple de réalisation, le système comprend plusieurs dispositifs de serrage conducteurs de l'électricité comprenant chacun des conducteurs électriques enserrant la pièce et étant chacun présent dans une zone d'évaluation distincte de la pièce, et l'endommagement de la pièce étant évalué dans chacune de ces zones
5 d'évaluation en mettant en œuvre le procédé tel que décrit plus haut.

Dans un exemple de réalisation, l'endommagement de la pièce est évalué dans chacune des zones d'évaluation simultanément.

Brève description des dessins

10 [Fig. 1] La figure 1 est un schéma électrique simplifié d'un système selon le premier exemple décrit plus haut.

[Fig. 2] La figure 2 illustre un exemple de pince de serrage pouvant être mise en œuvre dans le cadre de l'invention.

15 [Fig. 3] La figure 3 illustre la variation de résistance d'une pièce en fonction de son endommagement.

[Fig. 4] La figure 4 illustre l'évaluation de l'endommagement dans plusieurs zones d'évaluation distinctes de la pièce.

[Fig. 5] La figure 5 est un schéma électrique simplifié d'un système selon le deuxième exemple décrit plus haut.

20 [Fig. 6] La figure 6 est un schéma électrique simplifié représentant l'intégration de la pièce à un pont de Wheatstone afin d'évaluer son endommagement en mettant en œuvre un cas particulier de système selon le troisième exemple décrit plus haut.

[Fig. 7] La figure 7 est un schéma électrique simplifié représentant l'intégration de la pièce à un pont à fil afin d'évaluer son endommagement en mettant en œuvre un
25 autre cas particulier de système selon le troisième exemple décrit plus haut.

[Fig. 8] La figure 8 illustre l'augmentation de la résistance d'une pièce en carbure de silicium en fonction de sa durée de vie.

Description des modes de réalisation

On a représenté à la figure 1 un système 1 selon le premier exemple décrit plus haut permettant de déterminer l'endommagement d'une pièce en matériau composite 3.

La pièce 3 peut être une pièce de friction, comme un disque de frein. Le disque de frein peut être un disque de frein stator ou rotor d'aéronef ou de véhicule terrestre.

5 L'invention est toutefois applicable pour évaluer l'endommagement d'autres types de pièces en matériau composite, comme un secteur d'anneau de turbine par exemple.

La pièce 3 comprend une matrice ayant au moins une phase conductrice de l'électricité. La pièce peut comprendre un renfort fibreux densifié par une matrice au moins partiellement en carbone. La matrice enrobe les fibres du renfort fibreux et est

10 présente dans la porosité de ce dernier. La pièce 3 peut être une pièce en matériau composite C/C, c'est-à-dire comprenant un renfort en fibres de carbone et une matrice en carbone. En variante, la pièce 3 peut comporter au moins une phase de matrice de carbure de silicium (SiC) avec au moins une deuxième phase de matrice de carbone. Selon un exemple, la matrice peut être entièrement en carbone ou en

15 carbone mélangé avec un matériau céramique différent du carbone, comme le carbure de silicium.

Le renfort fibreux peut être formé de fibres de carbone et/ou de fibres céramiques.

On peut envisager différentes techniques pour réaliser le renfort fibreux. On peut en particulier former le renfort fibreux, de manière connue en soi, par aiguilletage de

20 strates fibreuses ou par tissage tridimensionnel.

Comme illustré sur la figure 1, le système 1 comprend une pince de serrage 5 conductrice de l'électricité enserrant la pièce 3 dont on cherche à évaluer l'endommagement. La structure de cette pince de serrage 5 va maintenant être décrite plus en détails en lien avec la figure 2. L'exemple illustré montre un dispositif

25 de serrage sous la forme d'une pince de serrage qui constitue un outillage portatif d'emploi particulièrement aisé pour l'opérateur. On ne sort toutefois pas du cadre de l'invention lorsque le dispositif de serrage n'est pas sous la forme d'une pince portative mais constitue une installation fixe destinée à coopérer avec la pièce pour procéder à son évaluation.

30 La pince de serrage 5 comprend deux branches articulées 53a et 53b montées en sens opposé mobiles l'une par rapport à l'autre. La pince de serrage 5 constitue une pièce à main. Chaque branche 53a ou 53b comprend une partie proximale 55a ou

55b formant partie de préhension. Chaque branche 53a ou 53b comprend, en outre, une partie distale 57a ou 57b formant mâchoire, située en regard de la mâchoire correspondante de l'autre branche, et coopérant avec cette autre mâchoire. Un ressort 56 relie les deux branches 53a ou 53b et les sollicite dans le sens du serrage des mâchoires 57a et 57b l'une contre l'autre, leur permettant ainsi de serrer la pièce 3. Chaque mâchoire 57a ou 57b comprend un conducteur électrique 52a ou 52b. Dans l'exemple illustré, chaque branche 57a, 57b constitue une portion de support portant un élément orientable 59a, 59b sur lequel est monté le conducteur électrique 52a ou 52b. L'élément orientable 59a ou 59b est monté sur la branche 57a ou 57b par l'intermédiaire d'une liaison pivot 60a ou 60b. L'élément orientable 59a ou 59b permet d'orienter le conducteur électrique 52a ou 52b de sorte à le positionner parallèlement à la surface de la pièce 3 à évaluer, ce qui permet d'assurer un contact électrique optimal entre les conducteurs électriques 52a et 52b et la pièce 3 et, par conséquent, d'optimiser la fiabilité de l'évaluation faite. Dans l'exemple illustré, un élément intercalaire 61a ou 61b est intercalé entre chaque conducteur électrique 52a ou 52b et l'élément orientable associé 59a ou 59b. La surface de chaque élément intercalaire 61a ou 61b peut être supérieure à la surface de l'élément orientable associé 59a ou 59b. La rugosité de la surface de chaque élément intercalaire 61a ou 61b peut être inférieure à la rugosité de la surface de l'élément orientable associé 59a ou 59b. Chaque élément intercalaire 61a et 61b peut être isolant. La présence des éléments intercalaires 61a et 61b est optionnelle. La pièce 3 est destinée à être enserrée entre les conducteurs électriques 52a ou 52b des mâchoires 57a et 57b. Dans l'exemple illustré, la pince 5 comprend en outre un élément de réglage du serrage 62 permettant de régler l'effort de serrage imposé à la pièce 3 et de le maintenir à une valeur prédéfinie pendant l'évaluation. Cela permet avantageusement de rendre la mesure encore plus reproductible et fiable. Les conducteurs électriques 52a et 52b sont en contact électrique avec la pièce en matériau composite 3 et permettent la circulation d'un courant au travers de celle-ci. Les conducteurs électriques 52a et 52b peuvent être en matériau métallique, par exemple en cuivre. Les conducteurs électriques 52a et 52b peuvent avoir une surface plane comme illustré. Les conducteurs 52a et 52b peuvent enserrer la pièce 3 au niveau de faces opposées de la pièce 3. Dans l'exemple illustré, le serrage des conducteurs 52a et 52b est effectué selon l'épaisseur de la pièce 3.

Chaque branche 53a ou 53b de la pince de serrage 5 comprend en outre un connecteur électrique 54a ou 54b. Le premier connecteur électrique 54a est relié électriquement au premier conducteur électrique 52a par l'intermédiaire d'un premier conducteur de liaison 58a. Le deuxième connecteur électrique 54b est relié

5 électriquement au deuxième conducteur électrique 52b par l'intermédiaire d'un deuxième conducteur de liaison 58b. Ces connecteurs électriques 54a et 54b permettent la connexion de la pince de serrage 5 au générateur électrique 7 afin de faire circuler un courant électrique au travers de la pièce 3 et réaliser l'évaluation de l'endommagement. La pince de serrage 5 est une pince de serrage du commerce

10 qui a été modifiée de sorte à être munie des conducteurs 52a et 52b, des éléments orientables 59a et 59b, des éléments intercalaires 61a et 61b, des connecteurs 54a et 54b et des conducteurs de liaison 58a et 58b.

Le système 1 comprend un générateur électrique 7 connecté électriquement aux connecteurs 54a et 54b de la pince de serrage 5. Dans le premier exemple de la

15 figure 1, le générateur électrique 7 permet d'imposer une différence de potentiel prédéterminée entre les conducteurs électriques 52a et 52b, donc aux bornes de la pièce 3.

Le système 1 comprend une unité de traitement 9 comprenant une unité 92 de mesure du courant électrique (ampèremètre) circulant dans la pièce 3. L'unité 92 est

20 montée en série avec la pièce 3 et avec le générateur 7. L'unité de traitement 9 comprend en outre une unité 94 de calcul en communication avec l'unité 92. La communication entre l'unité 92 et l'unité 94 peut être filaire ou non-filaire. L'unité 92 transmet à l'unité 94 la mesure du courant circulant au travers de la pièce 3. L'unité 94 comprend des moyens de calcul permettant de calculer la résistance ou la

25 résistivité de la pièce 3, à partir de la valeur du courant mesurée par l'unité 92. L'unité 94 comprend en outre des moyens de traitement permettant de comparer la valeur de résistance ou de résistivité calculée à une valeur prédéterminée. Cette comparaison permet d'évaluer l'endommagement de la pièce.

L'unité 94 peut déterminer la résistance de la pièce 3 à partir de la loi d'Ohm : $R = U / I$, où R désigne la résistance de la pièce 3 recherchée, U est la différence de

30 potentiel imposée par le générateur 7 entre les conducteurs électriques 52a et 52b et I désigne la valeur du courant circulant au travers de la pièce 3 mesurée par l'unité 92.

La valeur prédéterminée de résistance ou de résistivité à partir de laquelle on considère que la pièce est trop endommagée pour être utilisée de manière satisfaisante est fonction de la pièce 3 en matériau composite évaluée. Dans l'exemple d'une pièce 3 constituant un disque de frein en matériau C/C,

5 l'endommagement du matériau suite à l'oxydation du carbone se traduit par une augmentation de la résistance car l'élimination du carbone par oxydation résulte en la formation de porosités remplies par de l'air dans le matériau. L'endommagement suite à une dégradation mécanique aboutit à la formation de fissures remplies d'air qui conduisent aussi à une augmentation de la résistance. A titre d'exemple, pour un

10 disque de frein en matériau C/C d'épaisseur 10 mm, la résistance à l'état neuf peut être d'environ 0,5 mΩ (milliohm) et le disque peut être considéré comme trop endommagé pour être utilisé de manière satisfaisante si la valeur de résistance R déterminée est supérieure ou égale à 1 mΩ. La figure 3 illustre cela : pour un disque C/C d'épaisseur 10 mm, le disque neuf (noté « A ») a une résistance proche de 0,50

15 mΩ, le disque est dans un état acceptable (noté « B ») lorsque sa résistance est comprise entre 0,50 mΩ et 1 mΩ et le disque est considéré comme trop endommagé (noté « C ») pour une utilisation satisfaisante si sa résistance est supérieure à 1 mΩ. D'une manière générale et quelle que soit l'épaisseur de la pièce considérée, la pièce peut être considérée comme trop endommagée pour être utilisée de manière

20 satisfaisante si la valeur de résistance, respectivement de résistivité, déterminée atteint deux fois la valeur de résistance, respectivement de résistivité, de la pièce avant la première utilisation (état neuf).

Dans ce cas d'une pièce en matériau SiC/SiC, les résistances mesurées sont supérieures ou égales à 0,5 Ω pour des pièces de dimensions de 10 mm ou plus.

25 L'augmentation de la résistivité est de plus de 100% dans le cas d'une pièce fortement endommagée, et un seuil d'augmentation de l'ordre de 30% à 60% est significatif pour détecter un endommagement correspondant à la mi-vie de la pièce. La figure 8 en illustre un exemple en représentant l'augmentation de la résistance de la pièce en fonction du temps pour une pièce en matériau SiC/SiC. L'essai

30 correspondant à la figure 8 a mis en œuvre une fréquence de sollicitation de 1 Hz avec laquelle la pièce a été chargée entre 0 et 60 MPa, à une température de 450 °C et sous une pression d'humidité relative de 10 kPa.

Selon une variante, l'unité 94 peut calculer la résistivité de la pièce 3 à partir de la mesure du courant effectuée par l'unité 92. La relation reliant résistance R et résistivité ρ est fournie ci-dessous :

[Math. 1]

$$R = \int_0^L \frac{\rho}{A(x)} dx$$

5

dans cette formule, la variable x désigne la position le long de la dimension de la pièce traversée par le courant, L désigne la dimension de la pièce traversée par le courant, et A(x) désigne la section de la pièce parcourue par le courant à la position x.

10 L'unité de traitement 9 peut être configurée pour communiquer le résultat de l'évaluation de l'endommagement sous la forme d'une indication visuelle et/ou sonore. L'unité de traitement 9 peut ainsi être munie d'un écran sur laquelle est affichée une information prédéfinie fonction du résultat de l'évaluation. Cette information prédéfinie peut être une couleur, du texte ou un ou plusieurs symboles.

15 On a représenté à la figure 4 un cas particulier de système comprenant plusieurs pinces de serrage 5 conductrices de l'électricité comprenant chacune des conducteurs électriques 52a et 52b enserrant la pièce 3. Chaque pince de serrage 5 est dans une zone d'évaluation distincte Z1 et Z2 de la pièce 3. Les pinces de serrage 5 sont chacune connectées au générateur électrique. Dans ce cas, l'unité de
20 traitement est apte à déterminer la résistance ou la résistivité de chacune des zones d'évaluation Z1 et Z2 de la pièce 3. Un tel système permet d'évaluer simultanément l'endommagement de la pièce 3 au niveau de deux zones différentes Z1 et Z2 pour détecter d'éventuelles disparités.

25 On a représenté à la figure 5 un exemple de système 10 selon le deuxième exemple. Les références de la figure 1 sont reprises pour les éléments identiques.

L'exemple de la figure 5 diffère de celui illustré à la figure 1 en ce que le générateur électrique 70 est configuré pour imposer un courant d'intensité prédéterminée entre les conducteurs électriques 52a et 52b. L'unité 90 de traitement comprend, dans cet exemple, une unité 920 de mesure de la tension (voltmètre) aux bornes de la pièce 3

ainsi qu'une unité de calcul 940. L'unité 920 transmet à l'unité 940 la mesure de la différence de potentiel aux bornes de la pièce 3. L'unité 940 de calcul permet de calculer, à partir de la mesure de tension faite par l'unité 920, la résistance ou la résistivité de la pièce 3 et de comparer la résistance ou résistivité ainsi calculée à
 5 une valeur prédéterminée afin d'évaluer l'endommagement de la pièce 3.

Dans les représentations simplifiées des figures 1 et 5, les unités de traitement 9 et 90 ont été représentées comme des éléments distincts du dispositif de serrage 5. Le dispositif de serrage et l'unité de traitement ne sont toutefois pas forcément des éléments distincts. Selon une variante, on peut modifier le dispositif de serrage de
 10 sorte à y incorporer l'unité de traitement afin de disposer d'un dispositif encore plus compact.

On a décrit des exemples dans lesquels la résistance ou la résistivité de la pièce est déterminée par calcul à partir de la mesure du courant circulant dans la pièce ou de la tension aux bornes de celle-ci. On va maintenant aborder dans la suite d'autres
 15 méthodes d'évaluation de l'endommagement de la pièce dans lesquelles il y a un équilibrage d'un pont résistif.

La figure 6 est un schéma électrique simplifié illustrant un système 100 dans lequel la pièce 3 est intégrée à un pont de Wheatstone et constitue une résistance de celui-ci. La pièce 3 est enserrée par le dispositif de serrage et intégrée au pont résistif par
 20 l'intermédiaire des conducteurs électriques 52a et 52b du dispositif de serrage. Le pont résistif est relié à un générateur électrique 7. Le pont résistif comprend deux résistances calibrées 101 et 103 et une résistance ajustable 105. L'unité de traitement 107 comprend une unité de calcul et un galvanomètre et est reliée aux deux branches du pont résistif. Dans cet exemple, lors de l'évaluation de
 25 l'endommagement de la pièce 3, l'unité de traitement 107 agit sur la résistance ajustable 105 de sorte à obtenir un courant nul au travers du galvanomètre. Lorsque le courant traversant le galvanomètre est nul, l'unité de calcul calcule alors la résistance de la pièce 3 en appliquant l'équation ci-dessous :

[Math. 2]

$$X = \frac{R_1}{R_2} \times R$$

dans la formule ci-dessus, X est la résistance la pièce 3 à déterminer, R est la valeur de la résistance de la résistance ajustable 105 permettant d'obtenir un courant nul dans le galvanomètre, R₁ est la valeur de la résistance de la résistance 101 et R₂ la valeur de la résistance de la résistance 103. Après détermination de X, l'unité de traitement 107 compare alors la valeur X déterminée à une valeur prédéterminée afin d'évaluer l'endommagement de la pièce 3.

La figure 7 est un schéma électrique simplifié illustrant un système 110 dans lequel la pièce 3 est intégrée à un pont à fil et constitue une résistance de celui-ci. La pièce 3 est enserrée par le dispositif de serrage et intégrée au pont résistif par l'intermédiaire des conducteurs électriques 52a et 52b du dispositif de serrage. Le pont résistif est relié à un générateur électrique 7. Dans cet exemple, le pont résistif comprend une résistance calibrée 111 et un fil résistant 113 s'étendant entre les points B₁ et B₂. L'unité de traitement 117 comprend une unité de calcul et un galvanomètre et est reliée aux deux branches du pont résistif. Dans cet exemple, lors de l'évaluation de l'endommagement de la pièce 3, l'unité de traitement 117 commande le déplacement d'un contact électrique C le long du fil résistif 113 de sorte à obtenir un courant nul dans le galvanomètre. La résistance du fil 113 est proportionnelle à sa longueur. L'unité de calcul calcule alors la résistance X de la pièce 3 à partir des longueurs l₁ et l₂ séparant respectivement le point B₁ et le point B₂ de la position du contact électrique C lorsqu'un courant nul est atteint dans le galvanomètre. La formule de détermination de la résistance X de la pièce 3 est fournie plus bas avec R désignant la valeur de résistance de la résistance calibrée 111.

[Math. 3]

$$X = \frac{l_1}{l_2} \times R$$

25

Après détermination de X, l'unité de traitement 117 compare alors la valeur X déterminée à une valeur prédéterminée afin d'évaluer l'endommagement de la pièce 3.

Revendications

[Revendication 1] Système (1 ; 10 ; 100 ; 110) utile pour évaluer l'endommagement d'une pièce (3) en matériau composite, comprenant au moins :

- 5 - la pièce en matériau composite qui comprend un renfort fibreux densifié par une matrice ayant au moins une phase conductrice de l'électricité,
- un dispositif de serrage (5) conducteur de l'électricité comprenant des conducteurs électriques (52a ; 52b) enserrant la pièce, le dispositif de serrage étant une pince de serrage comprenant deux branches articulées (53a, 53b) montées en sens opposé et
10 mobiles l'une par rapport à l'autre, les deux branches constituant chacune une portion de support portant un élément orientable (59a, 59b) sur lequel est monté un des conducteurs électriques, l'élément orientable étant monté sur la branche associée par l'intermédiaire d'une liaison pivot (60a, 60b),
- un générateur électrique (7) relié aux conducteurs électriques et configuré pour
15 faire circuler un courant électrique dans la pièce, et
- une unité de traitement (9) reliée aux conducteurs électriques et configurée pour déterminer la résistance ou la résistivité de la pièce et pour comparer la résistance ou résistivité déterminée à une valeur prédéterminée.

[Revendication 2] Système selon la revendication 1, dans lequel :

- 20 - le générateur électrique (7) est configuré pour imposer une différence de potentiel prédéterminée entre les conducteurs électriques (52a ; 52b), et
- l'unité de traitement (9) est configurée pour mesurer l'intensité du courant électrique circulant dans la pièce et pour calculer, à partir de cette mesure, la résistance ou la résistivité de la pièce.

[Revendication 3] Système selon la revendication 1, dans lequel :

- 25 - le générateur électrique (7) est configuré pour faire circuler un courant d'intensité prédéterminée entre les conducteurs électriques (52a ; 52b), et
- l'unité de traitement (90) est configurée pour mesurer la différence de potentiel aux bornes de la pièce et pour calculer, à partir de cette mesure, la résistance ou la
30 résistivité de la pièce.

[Revendication 4] Système selon la revendication 1, dans lequel la pièce constitue une résistance d'un pont résistif, et dans lequel l'unité de traitement est reliée audit pont résistif et est configurée pour déterminer la résistance ou la résistivité de la pièce par équilibrage dudit pont résistif.

5 [Revendication 5] Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la pièce (3) en matériau composite est un disque de frein.

[Revendication 6] Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le système comprend plusieurs dispositifs de serrage (5) conducteurs de l'électricité comprenant chacun des conducteurs électriques (52a ; 52b) enserrant la
10 pièce (3) et étant chacun présent dans une zone d'évaluation (Z1 ; Z2) distincte de la pièce, l'unité de traitement étant reliée aux conducteurs électriques et configurée pour déterminer la résistance ou la résistivité de chaque zone d'évaluation et pour comparer chaque résistance ou résistivité déterminée à une valeur prédéterminée.

[Revendication 7] Procédé d'évaluation de l'endommagement d'une pièce (3) en
15 matériau composite mettant en œuvre un système (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant au moins les étapes suivantes :

- faire circuler, à l'aide du générateur électrique (7), un courant électrique dans la pièce,
- déterminer, à l'aide de l'unité de traitement (9), la résistance ou la résistivité de la
20 pièce, et
- comparer, à l'aide de l'unité de traitement, la résistance ou la résistivité déterminée à une valeur prédéterminée afin d'évaluer l'endommagement de la pièce.

[Revendication 8] Procédé d'évaluation de l'endommagement d'une pièce (3) en
25 matériau composite mettant en œuvre un système (1) selon l'une quelconque des revendications 2 et 4 à 6 rattachées à la revendication 2, comprenant au moins les étapes suivantes :

- imposer, à l'aide du générateur électrique (7), une différence de potentiel prédéterminée entre les conducteurs électriques (52a ; 52b) enserrant la pièce,
- mesurer, à l'aide de l'unité de traitement (9), l'intensité du courant électrique
30 circulant dans la pièce,
- calculer, à l'aide de l'unité de traitement et à partir de la mesure de courant électrique effectuée, la résistance ou la résistivité de la pièce, et

- comparer, à l'aide de l'unité de traitement, la résistance ou la résistivité calculée à une valeur prédéterminée afin d'évaluer l'endommagement de la pièce.

[Revendication 9] Procédé d'évaluation de l'endommagement d'une pièce (3) en matériau composite mettant en œuvre un système (10) selon l'une quelconque des revendications 3 et 4 à 6 rattachées à la revendication 3, comprenant au moins les étapes suivantes :

- faire circuler, à l'aide du générateur électrique (7), un courant d'intensité prédéterminée entre les conducteurs électriques (52a ; 52b) enserrant la pièce,
- mesurer, à l'aide de l'unité de traitement (90), la différence de potentiel aux bornes de la pièce,

- calculer, à l'aide de l'unité de traitement et à partir de la mesure de différence de potentiel effectuée, la résistance ou la résistivité de la pièce, et

- comparer, à l'aide de l'unité de traitement, la résistance ou la résistivité calculée à une valeur prédéterminée afin d'évaluer l'endommagement de la pièce.

[Revendication 10] Procédé d'évaluation de l'endommagement d'une pièce (3) en matériau composite mettant en œuvre un système (100 ; 110) selon l'une quelconque des revendications 4 et 5 à 6 rattachées à la revendication 4, comprenant au moins les étapes suivantes :

- faire circuler, à l'aide du générateur électrique (7), un courant électrique entre les conducteurs électriques (52a ; 52b) enserrant la pièce intégrée audit pont résistif,

- équilibrer, à l'aide de l'unité de traitement, ledit pont résistif,

- déterminer, à l'aide de l'unité de traitement et suite à l'équilibrage du pont résistif, la résistance ou la résistivité de la pièce, et

- comparer, à l'aide de l'unité de traitement, la résistance ou la résistivité déterminée à une valeur prédéterminée afin d'évaluer l'endommagement de la pièce.

[Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 10, dans lequel le système comprend plusieurs dispositifs de serrage (5) conducteurs de l'électricité comprenant chacun des conducteurs électriques (52a ; 52b) enserrant la pièce (3) et étant chacun présent dans une zone d'évaluation (Z1 ; Z2) distincte de la pièce, et dans lequel l'endommagement de la pièce est évalué dans chacune de ces zones d'évaluation en mettant en œuvre le procédé de l'une quelconque des revendications 7 à 10.

[Revendication 12] Procédé selon la revendication 11, dans lequel l'endommagement de la pièce (3) est évalué dans chacune des zones d'évaluation (Z1 ; Z2) simultanément.

⋮

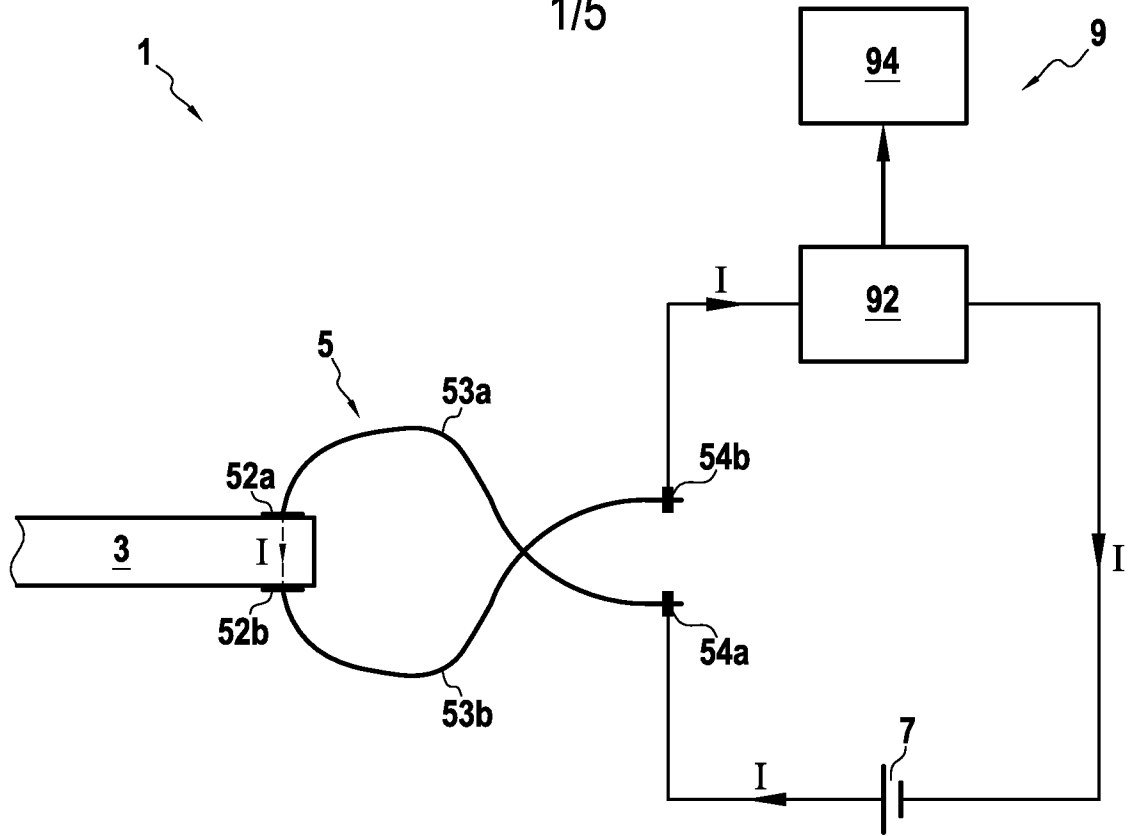


FIG.1

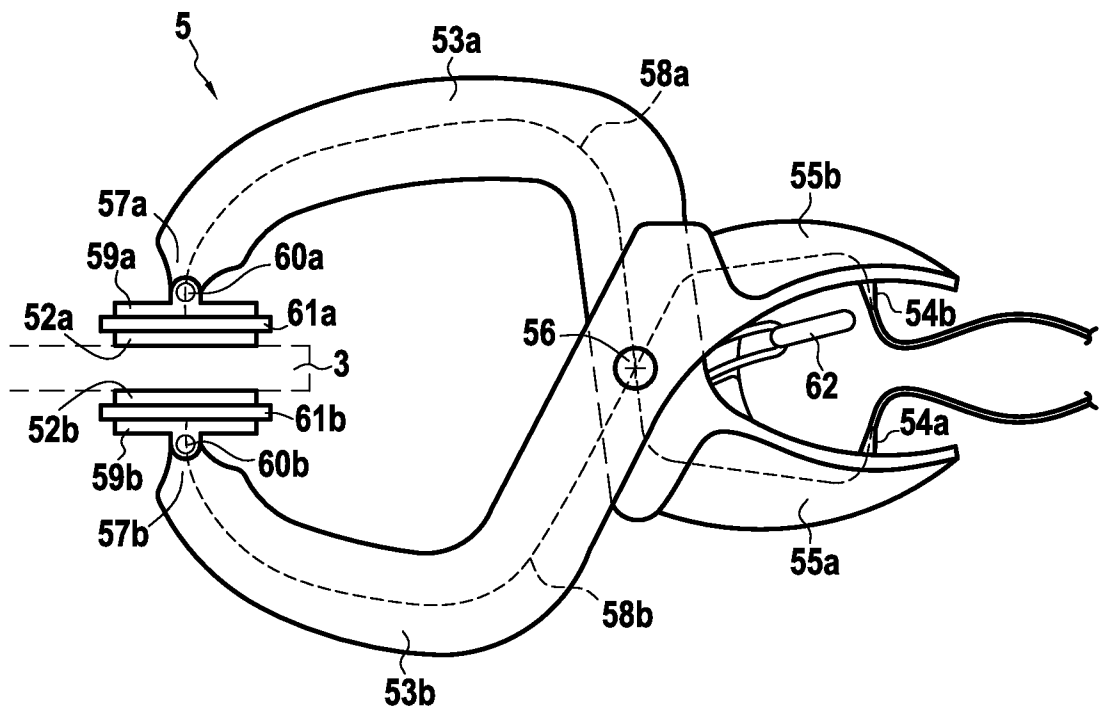


FIG.2

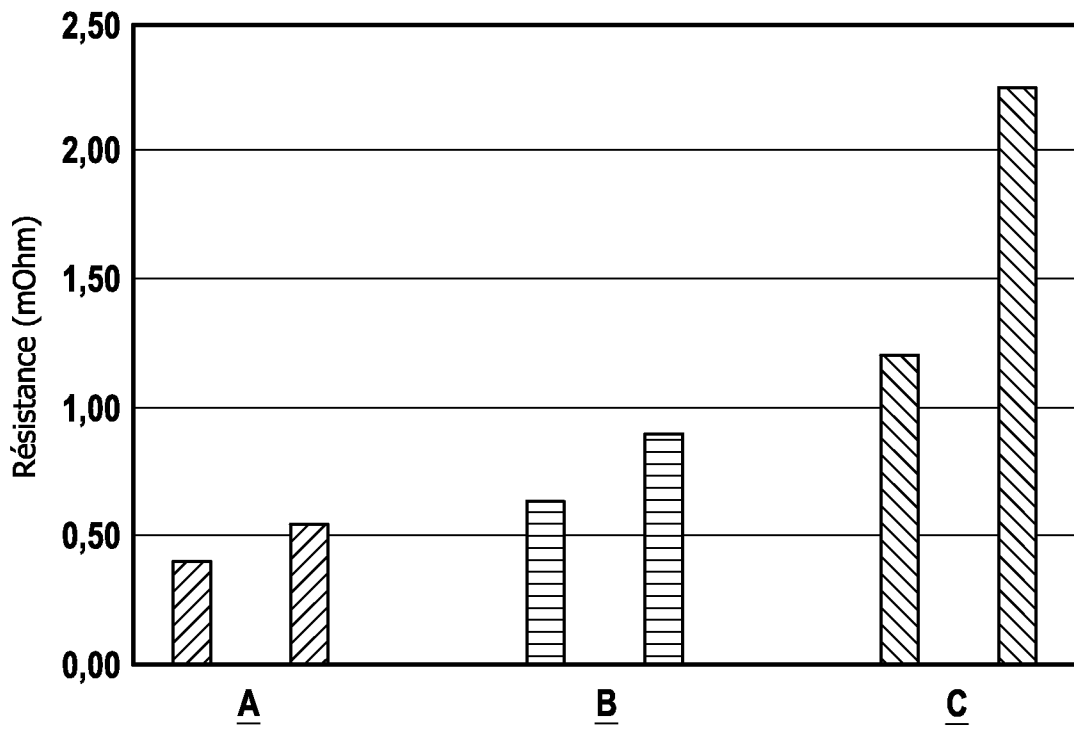


FIG.3

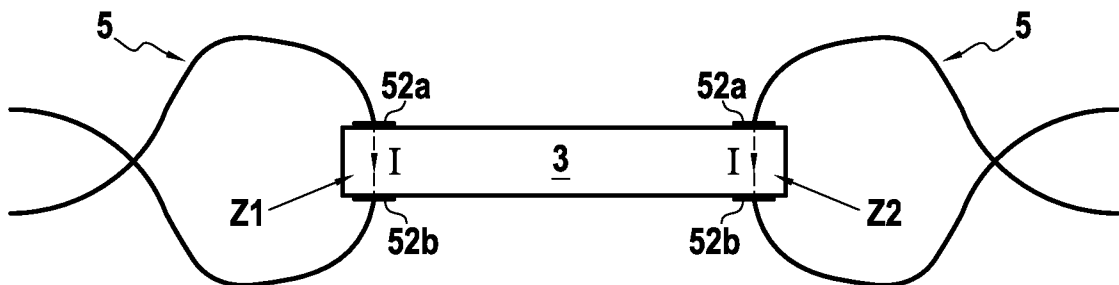


FIG.4

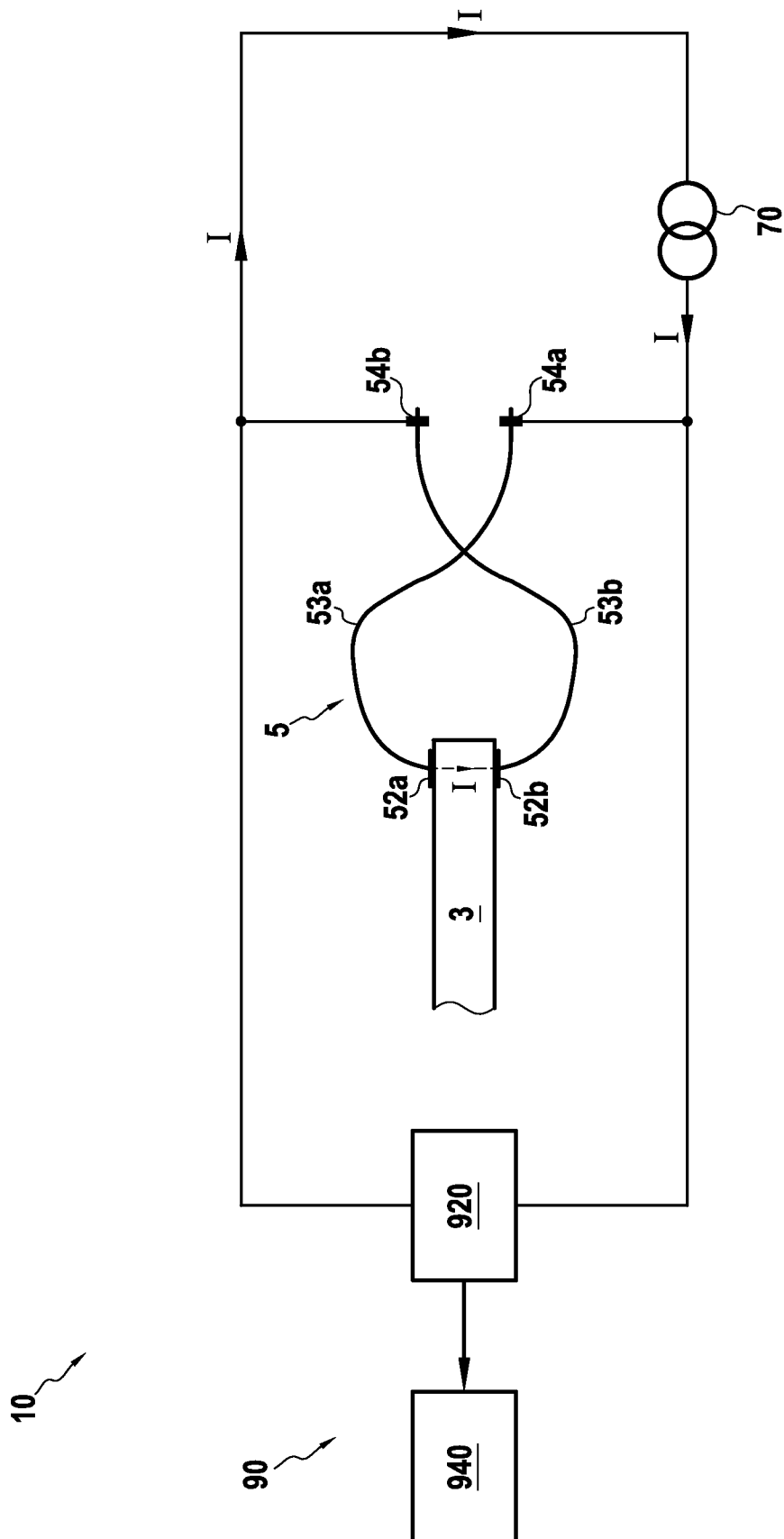


FIG.5

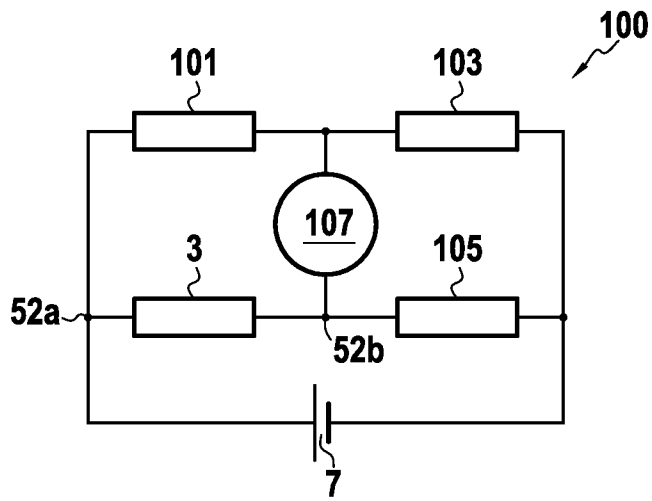


FIG.6

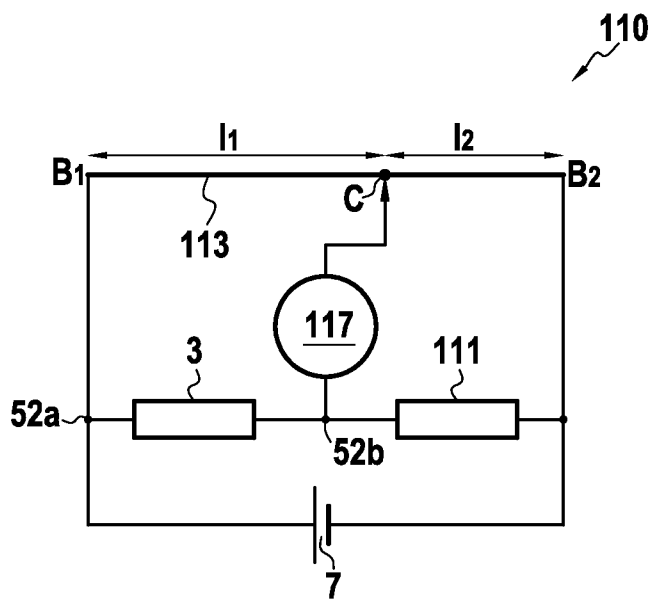


FIG.7

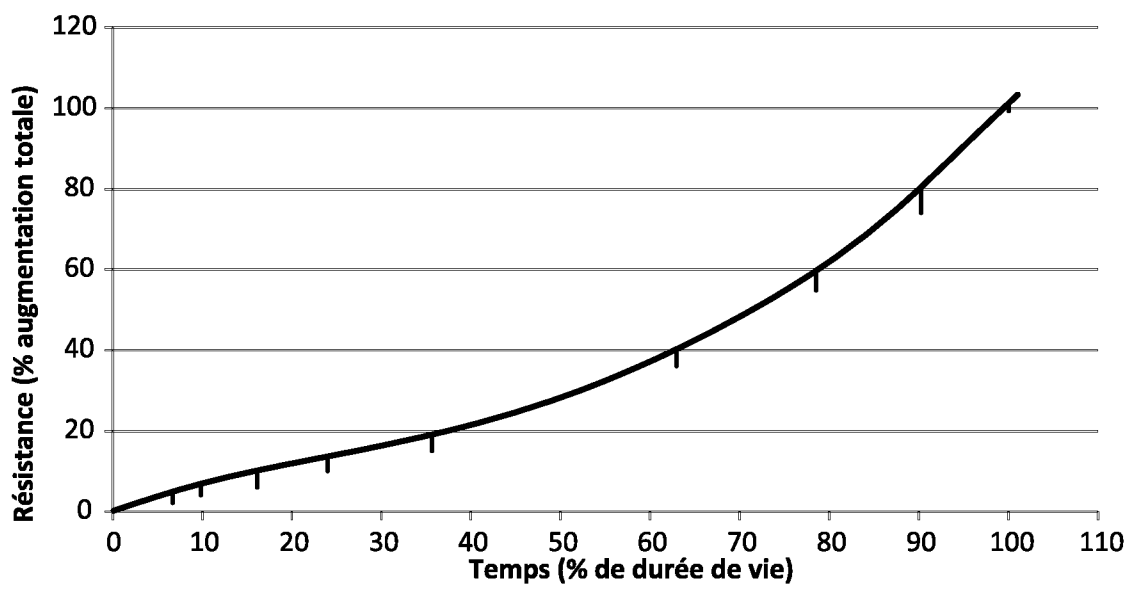


FIG.8