

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ PROCÉDE DE CONTROLE NON DESTRUCTIF DE LA QUALITE D'UNE PIECE CONSTITUEE D'UN SUPERALLIAGE BASE NICKEL.

②② Date de dépôt : 24.05.23.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SAFRAN Etablissement principal —
FR.*

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 29.11.24 Bulletin 24/48.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 18.04.25 Bulletin 25/16.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : BRUTT Cécile.

⑦③ Titulaire(s) : SAFRAN Etablissement principal.

⑦④ Mandataire(s) : LE GUEN & ASSOCIES.



Description

Titre de l'invention : PROCEDE DE CONTROLE NON DESTRUCTIF DE LA QUALITE D'UNE PIECE CONSTITUEE D'UN SUPERALLIAGE BASE NICKEL

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine du contrôle non destructif et concerne plus particulièrement un procédé de contrôle de la surface d'une pièce comportant une phase majoritaire non biréfringente implémenté dans un système optique.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

[0002] Des pièces composées d'un matériau comportant une phase majoritaire non biréfringente tel que par exemple un superalliage base nickel sont fréquemment utilisées dans le secteur de l'aéronautique pour leurs propriétés thermomécaniques. Or, de telles pièces de superalliage base nickel sont généralement fabriquées en faisant appel à des techniques de forgeage et/ou d'usinage qui peuvent générer la formation de défauts microstructuraux. De tels défauts comportent des phases indésirables, de composition chimique différente de la composition des phases majoritaires des pièces, en raison de la ségrégation chimique. Les défauts ainsi générés fragilisent la microstructure des pièces et entraînent une diminution de la durée de vie des pièces.

[0003] Il est alors nécessaire de détecter la présence de tels défauts en surface des pièces en superalliage base nickel. Une méthode couramment utilisée pour la détection de défauts est la macrographie, qui nécessite d'effectuer une étape préalable de traitement chimique de la surface par attaque chimique afin de révéler la microstructure de la pièce. Les défauts apparaissent alors comme des tâches noires ou blanches et peuvent être détectés par un opérateur. La macrographie est cependant lente et complexe du fait de la nécessité de l'étape de traitement chimique préalable et fait en outre appel à des produits chimiques nocifs.

[0004] La diffraction d'électrons rétrodiffusés ou EBSD (pour « electron backscatter diffraction » en anglais) permet d'analyser l'orientation cristallographique d'une microstructure et d'indexer différentes phases présentes dans la microstructure. Une telle méthode doit cependant faire appel à un microscope électronique à balayage, ce qui nécessite de réaliser des mesures sous vide et implique d'analyser des échantillons de quelques cm² au plus. En outre, les échantillons doivent être polis et les mesures sont particulièrement lentes puisqu'il faut plusieurs heures pour analyser une surface de l'ordre du cm². Des méthodes d'analyse chimique locale telles que la spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie ou EDS (pour « energy-dispersive X-ray spectroscopy » en anglais) présentent des inconvénients similaires. De telles méthodes ne

sont donc pas adaptées pour effectuer un contrôle de défauts à une échelle industrielle, de manière rapide et simple.

[0005] Il est alors souhaitable de pallier ces inconvénients de l'état de la technique.

[0006] Il est notamment souhaitable de fournir une solution de contrôle non destructif de la surface d'une pièce composée d'un matériau comportant une phase majoritaire non bi-réfringente tel que par exemple un superalliage base nickel afin de détecter la présence de défauts microstructuraux comportant des phases indésirables. Il est en outre souhaitable de fournir une solution de contrôle qui ne nécessite pas d'étape de traitement ou de préparation préalable. Il est enfin souhaitable de fournir une solution qui soit rapide et applicable à des surfaces de grandes dimensions.

Exposé de l'invention

[0007] Il est proposé ici un procédé de contrôle de la qualité d'une pièce à contrôler, le procédé de contrôle étant implémentable dans un système de contrôle optique configuré pour analyser des pièces présentant une phase majoritaire biréfringente. Le procédé est destiné à déterminer si le matériau de la pièce comporte au moins une phase minoritaire biréfringente représentative d'un défaut, et comporte : émettre un faisceau lumineux incident en direction d'une surface de la pièce à contrôler ; polariser linéairement le faisceau lumineux incident selon un premier axe de polarisation de sorte à transmettre un faisceau lumineux incident polarisé sur la surface de la pièce à contrôler ; polariser linéairement le faisceau lumineux réfléchi selon un deuxième axe de polarisation orienté perpendiculairement au premier axe de polarisation de sorte à transmettre un faisceau lumineux réfléchi polarisé, le faisceau lumineux réfléchi (103) étant issu de la réflexion du faisceau lumineux incident polarisé (102) par la surface (100) de la pièce (10) ; obtenir une image représentative de réflexions sur la surface de la pièce ; déterminer si au moins une zone de l'image présente une intensité lumineuse supérieure à un seuil prédéfini, ladite zone de l'image étant dite zone claire ; et détecter un défaut lorsqu'au moins une zone claire de l'image vérifie un critère géométrique prédéfini.

[0008] Ainsi, il est aisé de détecter la présence de phases minoritaires biréfringentes représentatives de défauts et ainsi de détecter la présence de défauts, de manière non destructive et sans aucune étape de traitement préalable. En outre, le contraste obtenu entre les zones de l'image représentatives de la phase majoritaire et les zones de l'image représentatives des phases minoritaires biréfringentes permet de simplifier et d'améliorer la fiabilité de la détection de défauts par observation optique. Il est ainsi aisé de détecter des défauts dans une pièce constituée d'un superalliage base nickel, sans étape de traitement chimique préalable.

[0009] Selon un mode de réalisation particulier, le critère géométrique prédéfini comprend

que la zone claire comporte au moins un étendu supérieur à une valeur prédéfinie.

[0010] Selon un mode de réalisation particulier, la valeur prédéfinie est égale à 100 μm .

[0011] Ainsi, il est aisé de détecter des défauts de type freckles dans une pièce constituée de superalliage base nickel tout en considérant des phases δ et γ' comme non représentatives de défauts.

[0012] Selon un mode de réalisation particulier, le critère géométrique prédéfini comprend que la zone claire présente une surface supérieure à une superficie prédéfinie.

[0013] Selon un mode de réalisation particulier, le procédé de contrôle comporte en outre d'enregistrer l'image de la surface de la pièce obtenue, et de transmettre ladite image de la surface à un dispositif de traitement comportant de la circuiterie électronique configurée pour implémenter les étapes de déterminer si au moins une zone de l'image présente une intensité lumineuse supérieure à un seuil prédéfini et de détecter un défaut lorsqu'au moins une zone claire de l'image vérifie un critère géométrique prédéfini.

[0014] Il est ainsi possible d'effectuer une détection automatique de défauts sur la surface de la pièce.

[0015] Il est également proposé un système de contrôle optique destiné à contrôler la qualité d'une pièce constituée d'un matériau comportant une phase majoritaire non biréfringente, le système de contrôle optique étant configuré pour analyser des pièces présentant une phase majoritaire biréfringente, le système de contrôle optique étant destiné à déterminer si le matériau comporte au moins une phase minoritaire biréfringente représentative d'un défaut. Le système de contrôle optique comporte : une source lumineuse configurée pour émettre un faisceau lumineux incident en direction d'une surface de la pièce à contrôler ; un polariseur configuré pour polariser linéairement le faisceau lumineux incident selon un premier axe de polarisation de sorte à transmettre un faisceau lumineux incident polarisé sur la surface de la pièce à contrôler ; un deuxième polariseur, dit analyseur, configuré pour polariser linéairement un faisceau lumineux réfléchi selon un deuxième axe de polarisation orienté perpendiculairement au premier axe de polarisation de sorte à transmettre un faisceau lumineux réfléchi polarisé, le faisceau lumineux réfléchi étant issu de la réflexion du faisceau lumineux incident polarisé par la surface de la pièce, ; un dispositif optique de formation d'une image représentative de réflexions sur la surface de la pièce ; des moyens pour déterminer si au moins une zone de l'image présente une intensité lumineuse supérieure à un seuil prédéfini, dite zone claire ; et des moyens pour détecter un défaut lorsqu'au moins une zone claire de l'image vérifie un critère géométrique prédéfini.

[0016] Selon un mode de réalisation particulier, le défaut est un défaut de type freckle.

[0017] Selon un mode de réalisation particulier, la phase minoritaire représentative d'un défaut est une phase η , une phase μ , une phase σ , une phase de Laves et/ou un borure.

Brève description des dessins

- [0018] Les caractéristiques de l'invention mentionnées ci-dessus, ainsi que d'autres, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'au moins un exemple de réalisation, ladite description étant faite en relation avec les dessins joints, parmi lesquels :
- [0019] [Fig.1] illustre schématiquement un système de contrôle optique dans lequel est implémenté un procédé de contrôle de la qualité d'une pièce ; et
- [0020] [Fig.2] illustre schématiquement le procédé de contrôle de la qualité de la pièce.
- [0021] EXPOSE DETAILLE DE MODES DE REALISATION
- [0022] La [Fig.1] illustre ainsi schématiquement un système de contrôle optique 1 dans lequel est implémenté un procédé de contrôle de la qualité d'une pièce 10. La pièce 10 à contrôler est constituée d'un matériau comportant une phase cristalline majoritaire qui est non biréfringente, autrement dit une phase cristalline majoritaire qui est optiquement isotrope et présente un indice de réfraction identique dans toutes les directions du cristal. Dans le matériau constituant la pièce 10, une phase cristalline se distingue d'une autre phase cristalline par sa structure cristalline et/ou par sa composition, autrement dit par les proportions d'éléments chimiques qui la composent. La phase cristalline majoritaire de la pièce 10 est une phase présente sur plus de 80% d'une surface 100 de la pièce 10.
- [0023] Préférentiellement, le matériau constituant la pièce 10 à contrôler est un superalliage base nickel qui comporte une matrice de phase γ , la phase γ étant la phase majoritaire de la pièce 10. La matrice de phase γ présente une structure cristalline appartenant au système cristallin de type cubique et est non biréfringente. Selon un exemple, le superalliage base nickel comporte en outre la phase γ' non représentative de défauts et non biréfringente et l'ensemble des phases γ et γ' est alors présent sur plus de 80% d'une surface 100 de la pièce 10 et est considéré comme la phase majoritaire de la pièce 10. Alternativement, le superalliage base nickel comporte en outre une phase δ et une phase γ'' qui sont biréfringentes et non représentatives de défauts. Dans ce cas, la phase γ est présente sur plus de 80% d'une surface 100 de la pièce 10 constituée de superalliage base nickel.
- [0024] En outre, le superalliage base nickel peut comporter des phases minoritaires biréfringentes incluant des précipités tels que des borures, une phase η , une phase μ , une phase σ et/ou une phase de Laves. Les phases biréfringentes sont optiquement anisotropes. En d'autres termes, l'indice de réfraction desdites phases biréfringentes diffère selon l'axe cristallographique du matériau. La présence desdites phases minoritaires biréfringentes sur une surface 100 de la pièce 10 est représentative de défauts sur ladite surface 100. Les défauts sont par exemple des phases indésirables dont la

présence altère les propriétés thermomécaniques de la pièce 10. Les défauts peuvent en outre être des défauts de type freckles qui sont des défauts de ségrégation apparaissant lors de la solidification de la pièce 10 et qui comportent des grains de phase η . Les défauts de type freckles peuvent présenter une forme sensiblement allongée avec une longueur de plusieurs dizaines de micromètres, par exemple de 100 micromètres.

- [0025] La pièce 10 est considérée comme ayant un défaut si une phase minoritaire présente une caractéristique géométrique prédéfinie, par exemple une taille prédéfinie et/ou une forme prédéfinie. Préférentiellement, une phase minoritaire est considérée comme représentative d'un défaut lorsque ladite phase minoritaire comprend au moins un étendu supérieur à une première valeur prédéfinie, la première valeur prédéfinie étant relative à la surface 100 de la pièce 10. La première valeur prédéfinie est par exemple égale à 100 μm . Un étendu est une mesure à une dimension telle que la longueur du plus grand côté d'une portion de la surface 100 de la pièce 10 formée par une phase minoritaire ou telle que le plus grand segment traversant ladite portion de la surface 100 de la pièce 10 formée par une phase minoritaire.
- [0026] Lorsque le superalliage base nickel comporte en outre les phases δ et γ'' , qui sont biréfringentes mais non représentatives de défauts, les phases δ et γ'' présentent cependant des étendus inférieurs à la première valeur prédéfinie, par exemple inférieurs à 100 μm .
- [0027] Le système de contrôle optique 1 est configuré pour analyser des pièces présentant une phase majoritaire biréfringente, autrement dit des pièces constituées d'un matériau dont la phase présente sur plus de 80% d'une surface est biréfringente.
- [0028] Préférentiellement, le système de contrôle optique 1 comporte une source lumineuse 11, un polariseur 12, la pièce 10, un deuxième polariseur, dit analyseur 13, et un dispositif optique de formation d'image 14.
- [0029] La source lumineuse 11 émet un faisceau lumineux incident 101 en direction d'une surface 100 à analyser de la pièce 10. Ladite surface 100 est orientée face au faisceau lumineux incident polarisé 101.
- [0030] Le polariseur 12 polarise linéairement le faisceau lumineux incident 101, selon un premier axe de polarisation, de sorte à transmettre un faisceau lumineux incident polarisé 102 sur la surface 100 de la pièce 10. Le premier axe de polarisation est perpendiculaire à la direction de propagation du faisceau lumineux incident 101 émis par la source lumineuse 11. Le polariseur 12 est placé sur le trajet optique du faisceau lumineux incident 101, entre la source lumineuse 11 et la surface 100 de la pièce 10. Le faisceau lumineux incident 101 est un faisceau lumineux non polarisé. Alternativement, le faisceau lumineux incident 101 est un faisceau polarisé qui comporte au moins une composante de polarisation linéaire non nulle dans la direction du premier axe de polarisation, de sorte que le faisceau lumineux incident polarisé 102 ait une

intensité lumineuse non nulle.

- [0031] Le faisceau lumineux incident polarisé 102 est réfléchi sur la surface 100 en un faisceau lumineux réfléchi 103. Dit autrement, la surface 100 de la pièce 10 est capable de réfléchir le faisceau lumineux incident polarisé 102 de sorte à renvoyer un faisceau lumineux réfléchi 103.
- [0032] L'analyseur 13 polarise linéairement le faisceau lumineux réfléchi 103, selon un deuxième axe de polarisation orienté perpendiculairement au premier axe de polarisation, de sorte à transmettre un faisceau lumineux réfléchi polarisé 104. Le deuxième axe de polarisation est en outre perpendiculaire à la direction de propagation du faisceau lumineux réfléchi 103. L'analyseur 13 est placé sur le trajet optique du faisceau lumineux réfléchi 103, entre la surface 100 de la pièce 10 et le dispositif optique de formation d'image 14. L'analyseur 13 permet de laisser passer au moins partiellement les composantes du faisceau lumineux réfléchi 103 qui sont réfléchies par les phases minoritaires et ne laisse pas passer les composantes du faisceau lumineux réfléchi 103 qui sont réfléchies par les phases majoritaires non biréfringentes.
- [0033] Le dispositif optique de formation d'image 14 permet d'obtenir une image représentative de réflexions sur la surface 100 de la pièce 10. Ladite image est formée à partir du faisceau lumineux réfléchi polarisé 104.
- [0034] L'image représentative de réflexions sur la surface 100 présente des zones d'intensité lumineuse nulle, dites zones sombres, qui représentent des zones de la surface 100 non biréfringentes. La polarisation linéaire du faisceau lumineux incident polarisé 102 reçu sur lesdites zones non biréfringentes n'est pas modifiée par réflexion. Les parties du faisceau lumineux réfléchi 103 qui sont réfléchies par les zones non biréfringentes de la surface 100 sont donc polarisées linéairement dans la direction du premier axe de polarisation du polariseur 12 et sont bloquées par l'analyseur 13 puisqu'elles ne comportent aucune composante de polarisation dans la direction du deuxième axe de polarisation. Aucun signal lumineux n'est donc détecté par le dispositif optique de formation d'image 14 en provenance des zones non biréfringentes. La phase majoritaire du matériau constituant la pièce 10 étant non biréfringente, les zones sombres recouvrent une portion de l'image représentant plus de 80% de la surface 100.
- [0035] Ainsi, pour une pièce 10 constituée d'un superalliage base nickel, les zones sombres de l'image représentent des zones de la surface 100 comprenant la phase cristalline majoritaire γ , et, le cas échéant la phase γ' . Les zones sombres de l'image peuvent en outre représenter des carbures qui ne sont pas représentatifs, à eux seuls, de défauts recherchés.
- [0036] L'image représentative de réflexions sur la surface 100 peut en outre présenter des zones d'intensité lumineuse supérieure à un seuil prédéfini, dites zones claires, qui re-

présentent des zones de la surface 100 présentant une biréfringence. Le seuil prédéfini est strictement supérieur à zéro, de sorte que les zones claires ont nécessairement une intensité lumineuse non nulle. Au contraire des zones non biréfringentes, les zones biréfringentes de la surface 100 modifient la direction de polarisation lors de la réflexion du faisceau lumineux incident polarisé 102. Ainsi, les parties du faisceau lumineux réfléchi 103 qui sont réfléchies par les zones biréfringentes de la surface 100 comportent une composante de polarisation non nulle orientée dans la direction du deuxième axe de polarisation et qui est transmise par l'analyseur 13. L'intensité lumineuse des parties du faisceau lumineux réfléchi 103 qui sont réfléchies par les zones biréfringentes est potentiellement atténuée par l'analyseur 13 mais pas annulée.

- [0037] La phase cristalline majoritaire du matériau étant non biréfringente, les zones claires représentent donc des phases minoritaires du matériau et recouvrent une portion de l'image représentant moins de 20% de la surface 100. Il est alors possible de détecter aisément la présence et la localisation de phases minoritaires sur la surface 100.
- [0038] La surface 100 de la pièce 10 est considérée comme comportant un défaut lorsqu'au moins une phase minoritaire présente une caractéristique géométrique prédéfinie. Un défaut est alors détecté sur la surface 100 lorsqu'au moins une zone claire vérifie un critère géométrique prédéfini, un critère de taille ou de forme par exemple. Il est ainsi aisé de détecter au moins un défaut sur la surface lorsque l'image présente au moins une zone claire vérifiant le critère géométrique prédéfini.
- [0039] Selon un mode de réalisation préférentiel, une zone claire est considérée comme représentative d'un défaut lorsque ladite zone claire est localisée et présente au moins une dimension supérieure à une deuxième dimension prédéfinie, l'étendu étant une première dimension prédéfinie, la deuxième dimension prédéfinie étant représentative de la première dimension prédéfinie sur la surface 100. Ladite deuxième dimension prédéfinie, relative à l'image, peut être calculée en fonction de la première dimension prédéfinie et d'un grossissement optique du dispositif optique de formation d'image 14. Des défauts de type freckles peuvent ainsi être aisément détectés.
- [0040] En outre, le contraste entre les zones claires de l'image, qui sont des zones d'intensité lumineuse supérieure au seuil prédéfini donc d'intensité lumineuse non nulle, et les zones sombres de l'image, qui sont des zones d'intensité lumineuse nulle, permet de simplifier et d'améliorer la fiabilité de la détection de défauts par observation optique. Selon un mode de réalisation, les zones claires peuvent être aisément distinguées des zones sombres par une méthode de traitement d'image de type binarisation par seuillage à partir d'un histogramme de l'image, telle que la méthode d'Otsu.
- [0041] La détection de défauts est ainsi effectuée de manière non destructive et ne nécessite en outre pas d'étape de traitement chimique préalable. La détection de défauts est simplifiée et accélérée par rapport à des techniques faisant appel à de telles étapes de

traitement préalable. Aucune utilisation de produits chimiques nocifs n'est en outre nécessaire.

- [0042] Pour une pièce 10 constituée d'un superalliage base nickel, les zones claires de l'image représentent des zones de la surface 100 comprenant des phases minoritaires incluant des borures, des phases η , μ , σ et/ou de Laves qui sont représentatives de défauts.
- [0043] Les zones claires de l'image représentent des zones de la surface 100 pouvant en outre comprendre des phases δ et γ'' . Toutefois, les phases δ et γ'' présentent des dimensions inférieures aux dimensions des phases minoritaires représentatives de défauts, par exemple inférieures à 100 μm . Ainsi, une zone claire présentant au moins une dimension supérieure à la deuxième dimension prédéfinie ne peut pas être représentative d'une phase δ ou γ'' .
- [0044] Selon un exemple de réalisation, le dispositif optique de formation d'image 14 est configuré de sorte que l'image représentative de réflexions sur la surface 100 obtenue est agrandie par rapport à la surface 100 de la pièce 10. Le dispositif optique de formation d'image 14 est par exemple un microscope optique. Selon un exemple de réalisation, le dispositif optique de formation d'image 14 comporte en outre une limite de résolution égale ou inférieure à 100 micromètres, préférentiellement égale ou inférieure à 10 micromètres, et plus préférentiellement égale ou inférieure à 1 micromètre. Ainsi, l'image obtenue permet d'observer des défauts microstructuraux présents sur la surface 100 présentant des dimensions minimales égales à la limite de résolution. Des défauts de type freckles présentant une longueur de 100 micromètres sont alors aisément observables. Selon un exemple de réalisation, le dispositif optique de formation d'image 14 est configuré pour obtenir une image représentant une superficie supérieure ou égale à 1 cm^2 de la surface 100 de la pièce 10. Une même image obtenue permet ainsi de détecter rapidement des défauts sur une superficie d'au moins 1 cm^2 .
- [0045] Selon un mode de réalisation particulier, le système de contrôle optique 1 comporte un séparateur de faisceaux 15 configuré pour séparer le faisceau lumineux incident polarisé 102 du faisceau lumineux réfléchi 103 de sorte que seul le faisceau lumineux réfléchi 103 est envoyé vers l'analyseur 13 puis vers le dispositif optique de formation d'image 14.
- [0046] Le système de contrôle optique 1 comporte en outre un dispositif d'acquisition 16. Le dispositif d'acquisition 16 est configuré pour recevoir l'image représentative de réflexions sur la surface 100, obtenue par le dispositif optique de formation d'image 14, et pour enregistrer ladite image. Le dispositif d'acquisition est par exemple une caméra optique.
- [0047] Le système de contrôle optique 1 comporte en outre un dispositif de traitement 17.

Le dispositif d'acquisition 16 est configuré pour transmettre au dispositif de traitement 17 l'image reçue et/ou enregistrée. Le dispositif de traitement 17 est configuré pour recevoir l'image en provenance du dispositif d'acquisition 16 et appliquer des algorithmes de traitement d'image à l'image reçue afin de détecter des défauts. Par exemple, le dispositif de traitement 17 applique par exemple une méthode de binarisation par seuillage à l'image pour distinguer les zones sombres des zones claires et déterminer si au moins une zone de l'image présente une intensité lumineuse supérieure au seuil d'intensité prédéfini.

[0048] Le dispositif de traitement 17 implémente une comparaison des zones claires détectées au critère géométrique prédéfini afin de déterminer si au moins une zone claire vérifie le critère géométrique prédéfini. De manière préférentielle, le dispositif de traitement 17 mesure la dimension la plus grande de chaque zone claire détectée puis compare ladite dimension à la deuxième dimension prédéfinie. Le dispositif de traitement 17 détecte un défaut pour chaque zone claire détectée dont la dimension la plus grande est supérieure à la deuxième dimension prédéfinie. Selon un mode de réalisation, le dispositif de traitement 17 reçoit une information représentative du grossissement du dispositif optique de formation d'image 14 et calcule la deuxième dimension prédéfinie en fonction de la première dimension prédéfinie et dudit grossissement.

[0049] Le dispositif de traitement 17 comporte un processeur capable d'exécuter des instructions chargées dans une mémoire, lesdites instructions formant un programme d'ordinateur causant l'implémentation des étapes de traitement d'image décrites ici. Tout ou partie des étapes de traitement d'image décrites ici peut ainsi être implémenté sous forme logicielle par exécution d'un ensemble d'instructions par une machine programmable, par exemple un processeur de type DSP (« Digital Signal Processor » en anglais) ou un microcontrôleur, ou être implémenté sous forme matérielle par une machine ou un composant électronique (« chip » en anglais) dédié ou un ensemble de composants électroniques (« chipset » en anglais) dédié, par exemple un composant FPGA (« Field Programmable Gate Array » en anglais) ou ASIC (« Application Specific Integrated Circuit » en anglais). D'une manière générale, le dispositif de traitement 17 comporte de la circuiterie électronique adaptée et configurée pour implémenter les étapes de traitement d'image décrites ici.

[0050] La [Fig.2] illustre schématiquement le procédé de contrôle de la qualité de la pièce 10. Le procédé est implémenté dans un système de contrôle optique 1 configuré pour analyser des pièces présentant une phase majoritaire biréfringente. Dit autrement, au moins une étape du procédé est exécutée par ledit système de contrôle optique 1.

[0051] Dans une étape 201, le système de contrôle optique 1 émet le faisceau lumineux incident 101 en direction d'une surface 100 de la pièce 10 à contrôler.

- [0052] Dans une étape 202 suivante, le système de contrôle optique 1 polarise linéairement le faisceau lumineux incident 101 selon le premier axe de polarisation, de sorte à transmettre le faisceau lumineux incident polarisé 102 sur la surface 100 de la pièce 10.
- [0053] Dans une étape 203 suivante, le système de contrôle optique 1 obtient le faisceau lumineux réfléchi 103, ledit faisceau lumineux réfléchi 103 étant issu de la réflexion du faisceau lumineux incident polarisé 102 par la surface 100 de la pièce 10.
- [0054] Dans une étape 204 suivante, le système de contrôle optique 1 polarise linéairement le faisceau lumineux réfléchi selon le deuxième axe de polarisation orienté perpendiculairement au premier axe de polarisation, de sorte à transmettre un faisceau lumineux réfléchi polarisé 104.
- [0055] Dans une étape 205 suivante, le système de contrôle optique 1 obtient une image représentative de réflexions sur la surface 100 de la pièce 10. L'image ainsi obtenue est formée à partir du faisceau lumineux réfléchi polarisé 104.
- [0056] Dans une étape 206 suivante, le procédé comporte de déterminer si au moins une zone claire est présente dans l'image, autrement dit si au moins une zone de l'image présente une intensité lumineuse supérieure au seuil prédéfini. Selon un mode de réalisation, le procédé comporte de détecter chaque zone claire présente dans l'image.
- [0057] Dans une étape 207 suivante, le procédé comporte de détecter un défaut lorsqu'au moins une zone claire de l'image vérifie le critère géométrique prédéfini. Préférentiellement, un défaut est détecté dans chaque zone claire comportant au moins une dimension supérieure à la deuxième dimension prédéfinie, autrement dit représentative d'une dimension de la surface 100 supérieure à la première dimension prédéfinie.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de contrôle de la qualité d'une pièce (10) à contrôler, le procédé étant destiné à déterminer si le matériau de la pièce comporte au moins une phase minoritaire biréfringente représentative d'un défaut, le procédé comportant :
- émettre (201) un faisceau lumineux incident en direction d'une surface de la pièce à contrôler,
 - polariser (202) linéairement le faisceau lumineux incident selon un premier axe de polarisation de sorte à transmettre un faisceau lumineux incident polarisé sur la surface de la pièce à contrôler,
 - polariser (204) linéairement le faisceau lumineux réfléchi selon un deuxième axe de polarisation orienté perpendiculairement au premier axe de polarisation de sorte à transmettre un faisceau lumineux réfléchi polarisé, le faisceau lumineux réfléchi (103) étant issu de la réflexion du faisceau lumineux incident polarisé (102) par la surface (100) de la pièce (10), et
 - obtenir (205) une image représentative de réflexions sur la surface de la pièce,
 - déterminer (206) si au moins une zone de l'image présente une intensité lumineuse supérieure à un seuil prédéfini, ladite zone de l'image étant dite zone claire,
 - détecter (207) un défaut lorsqu'au moins une zone claire de l'image vérifie un critère géométrique prédéfini.
- [Revendication 2] Procédé de contrôle selon la revendication 1, dans lequel le critère géométrique prédéfini comprend que la zone claire comporte un étendu supérieur à une valeur prédéfinie.
- [Revendication 3] Procédé de contrôle selon la revendication 2, dans lequel la valeur prédéfinie est égale à 100 μm .
- [Revendication 4] Procédé de contrôle selon la revendication 1, dans lequel le critère géométrique prédéfini comprend que la zone claire présente une surface supérieure à une superficie prédéfinie.
- [Revendication 5] Procédé de contrôle selon l'une des revendications 1 à 4, comportant en outre d'enregistrer l'image de la surface de la pièce obtenue, et de transmettre ladite image de la surface à un dispositif de traitement (17)

comportant de la circuiterie électronique configurée pour implémenter les étapes de déterminer (206) si au moins une zone de l'image présente une intensité lumineuse supérieure à un seuil prédéfini et de détecter (207) un défaut lorsqu'au moins une zone claire de l'image vérifie un critère géométrique prédéfini.

[Revendication 6]

Système de contrôle optique (1) destiné à contrôler la qualité d'une pièce (10) constituée d'un matériau comportant une phase majoritaire non biréfringente, le système de contrôle optique (1) étant configuré pour analyser des pièces présentant une phase majoritaire biréfringente, le système de contrôle optique (1) étant destiné à déterminer si le matériau comporte au moins une phase minoritaire biréfringente représentative d'un défaut, le système de contrôle optique (1) comportant :

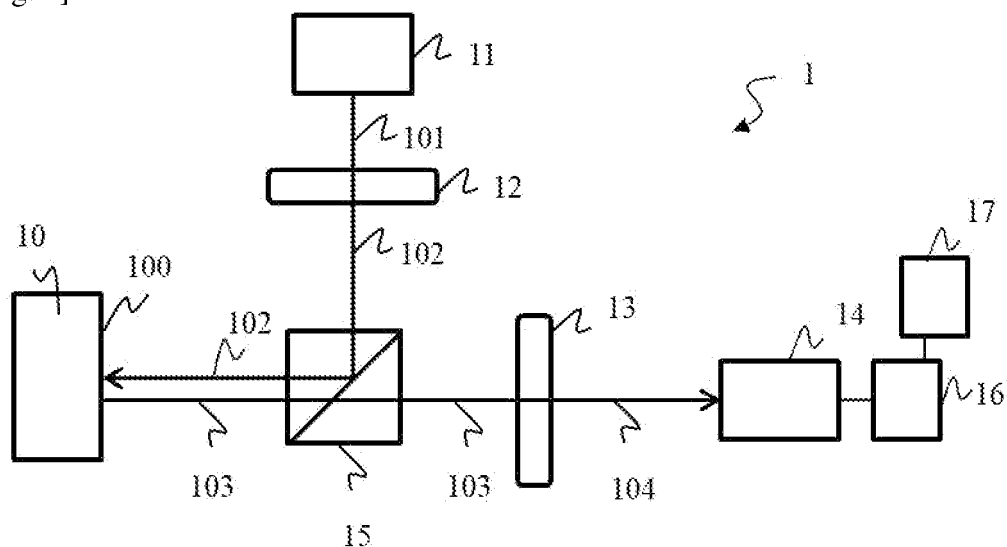
- une source lumineuse (11) configurée pour émettre un faisceau lumineux incident (101) en direction d'une surface (100) de la pièce (10) à contrôler,
- un polariseur (12) configuré pour polariser linéairement le faisceau lumineux incident (101) selon un premier axe de polarisation de sorte à transmettre un faisceau lumineux incident polarisé (102) sur la surface (100) de la pièce (10) à contrôler,
- un deuxième polariseur, dit analyseur (13), configuré pour polariser linéairement un faisceau lumineux réfléchi (103) selon un deuxième axe de polarisation orienté perpendiculairement au premier axe de polarisation de sorte à transmettre un faisceau lumineux réfléchi polarisé (104), le faisceau lumineux réfléchi (103) étant issu de la réflexion du faisceau lumineux incident polarisé (102) par la surface (100) de la pièce (10),
- un dispositif optique (14) de formation d'une image représentative de réflexions sur la surface (100) de la pièce (10),
- des moyens (17) pour déterminer si au moins une zone de l'image présente une intensité lumineuse supérieure à un seuil prédéfini, dite zone claire, et
- des moyens (17) pour détecter un défaut lorsqu'au moins une zone claire de l'image vérifie un critère géométrique prédéfini.

[Revendication 7]

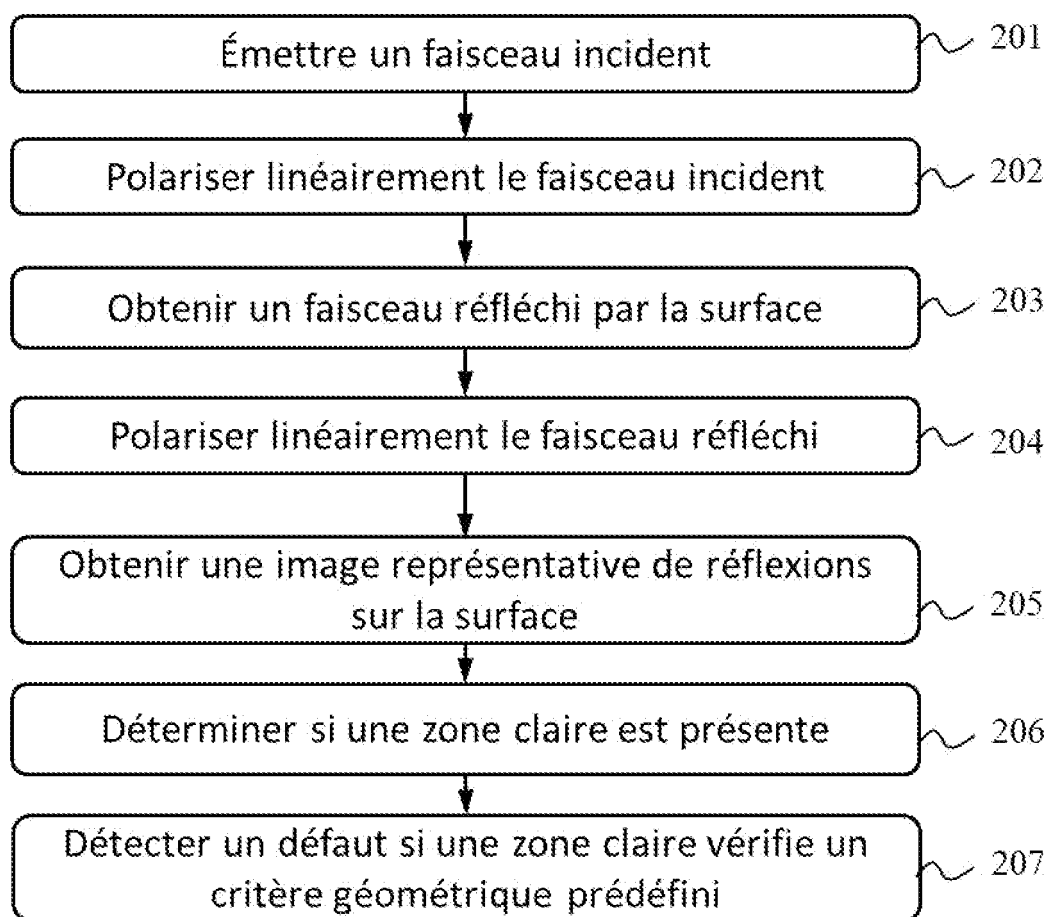
Système de contrôle optique selon la revendication 6, dans lequel le défaut est un défaut de type freckle.

[Revendication 8] Système de contrôle optique selon l'une des revendications 6 et 7, dans lequel la phase minoritaire représentative d'un défaut est une phase η , une phase μ , une phase σ , une phase de Laves et/ou un borure.

[Fig. 1]



[Fig. 2]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

US 2004/263832 A1 (JONES HOWARD B [US] ET
AL) 30 décembre 2004 (2004-12-30)

US 2017/045449 A1 (PATTERSON JAMES E [US]
ET AL) 16 février 2017 (2017-02-16)

EP 3 779 407 A1 (ROLLS ROYCE PLC [GB])
17 février 2021 (2021-02-17)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT