

(12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 58227 B1**
- (43) Date de publication : **30.08.2024**
- (51) Cl. internationale : **B29C 64/00; B29C 64/30;
B29C 64/343; B29C 64/386;
B29C 64/393; B33Y 50/02;
B33Y 50/00; B33Y 30/00**
-
- (21) N° Dépôt : **58227**
- (22) Date de Dépôt : **28.10.2022**
- (71) Demandeur(s) : **DONAA LIMITED, 3 The Quadrant, Warwick Road, Coventry, England, CV1 2DY Coventry (UK)**
- (72) Inventeur(s) : **Anas Achouri**
- (74) Mandataire : **Jomana Abouzaid**
-
- (54) Titre : **Un système qui permet de détecter les défauts et erreurs en temps réel pendant l'impression 3D (additive manufacturing), à l'aide d'une caméra.**
- (57) Abrégé : L'invention permet de détecter des défauts en temps réel pendant la fabrication additive. L'invention comprend un système de vision, un logiciel, et la combinaison de ces deux éléments. Le système de vision comprend une caméra connectée à un ordinateur sur lequel fonctionne le logiciel. Des mesures expérimentales sont effectuées sur les pièces fabriquées lorsque la fabrication additive est terminée, puis sont utilisées comme données d'entrée dans le logiciel pour améliorer continuellement la précision de la détection des défauts par la solution. Le système n'implique pas de modification matérielle sur la machine de fabrication additive. Le logiciel comprend un code permettant de prévoir les contraintes résiduelles dans la zone de fabrication en temps réel pendant la fabrication additive. La détection des défauts se fait en prenant en compte les informations sur la contrainte résiduelle en temps réel sur la pièce pendant la fabrication additive. La contrainte résiduelle est un facteur clé de défaillance sur les pièces fabriquées par fabrication additive, et cela inclut à la fois les défauts géométriques et ceux liés à la résistance. Cette solution est holistique puisque la cause profonde des défauts pendant la fabrication additive est suivie et détectée.

Abrégé résumant le contenu technique de l'invention

L'invention permet de détecter des défauts en temps réel pendant la fabrication additive.

L'invention comprend un système de vision, un logiciel, et la combinaison de ces deux éléments.

Le système de vision comprend une caméra connectée à un ordinateur sur lequel fonctionne le logiciel. Des mesures expérimentales sont effectuées sur les pièces fabriquées lorsque la fabrication additive est terminée, puis sont utilisées comme données d'entrée dans le logiciel pour améliorer continuellement la précision de la détection des défauts par la solution. Le système n'implique pas de modification matérielle sur la machine de fabrication additive.

Le logiciel comprend un code permettant de prévoir les contraintes résiduelles dans la zone de fabrication en temps réel pendant la fabrication additive. La détection des défauts se fait en prenant en compte les informations sur la contrainte résiduelle en temps réel sur la pièce pendant la fabrication additive. La contrainte résiduelle est un facteur clé de défaillance sur les pièces fabriquées par fabrication additive, et cela inclut à la fois les défauts géométriques et ceux liés à la résistance. Cette solution est holistique puisque la cause profonde des défauts pendant la fabrication additive est suivie et détectée.

Description de l'invention:

Titre de l'invention : Système de Détection de défauts en temps réel dans la Fabrication additive

Domaine

Le caractère imprévisible de la fabrication additive à haute valeur ajoutée et le coût qui en résulte constituent un obstacle majeur à son adoption par les fabricants. Notre solution permet de détecter les défauts plus tôt dans le processus, ce qui raccourcit les itérations de production. Les fabricants peuvent ainsi raccourcir le temps de production et réduire l'utilisation des ressources, notamment l'énergie, les matériaux et la charge de travail liée aux inspections. En conséquence, le coût de production peut être moins élevé.

En outre, la solution permet d'atteindre le zéro net et de réduire l'impact environnemental grâce à des solutions de fabrication, de chaînes d'approvisionnement et d'économie circulaire axées sur l'environnement. La détection des défauts au début du processus permet d'économiser de l'énergie et des matériaux. L'empreinte carbone s'en trouve réduite et davantage de matériaux peuvent être recyclés.

L'intelligence artificielle et plus particulièrement les algorithmes de vision par ordinateur et d'apprentissage automatique sont utilisés pour suivre la cause profonde des défauts pendant la fabrication additive à haute valeur ajoutée et détecter les anomalies au fur et à mesure qu'elles se produisent.

L'état de la technique antérieure

Actuellement, trois méthodes principales sont utilisées :

- 1. L'expérience de l'utilisateur est mise à profit pour choisir les paramètres d'impression et décider d'interrompre ou non le processus d'impression.**

La solution proposée analyse la cause profonde des défaillances pour fournir une détection des anomalies en temps réel basée sur les données.

- 2. Les outils de simulation nécessitent des experts, sont encombrants et il peut y avoir des différences considérables entre la modélisation et les données en temps réel.**

La solution proposée automatise la modélisation en utilisant des données en temps réel.

- 3. L'inspection après impression entraîne un énorme gaspillage de matériel et de temps. La proposition permet d'éviter les défaillances avant la fin de l'impression.**

La solution proposée permet d'économiser du temps et des milliards de dollars rien qu'en coûts de fabrication.

Description du problème technique et de la solution apportée par DONAA

Les structures d'ingénierie sont de plus en plus complexes. L'impression 3D à haute valeur ajoutée permet de surmonter les limites des autres procédés de fabrication traditionnels, mais le processus est très imprévisible. En outre, plus de 25 % du temps de production est consacré au contrôle de la qualité.

Il en résulte une énorme perte de temps et de matériaux, et certaines conceptions complexes ne peuvent être fabriquées ou imprimées en 3D.

Les entreprises et institutions aérospatiales de premier plan sont souvent à la limite de ce qu'il est possible de fabriquer. Elles s'appuient donc sur l'impression 3D pour fabriquer des pièces complexes telles que les aubes de moteur, malgré le faible taux de réussite.

La solution est un système qui suit et surveille la cause profonde des défaillances afin d'identifier les anomalies dès qu'elles se produisent. Les anomalies survenant pendant l'impression 3D seront traitées et corrigées avant la fin de l'impression. Pour ce faire, on utilise l'analyse vidéo d'une caméra. L'approche unique de la solution ne nécessite aucune modification matérielle sur la machine ni aucun changement dans le flux de travail des utilisateurs.

Le suivi de la zone du bassin de fusion (melt pool area) permet d'extraire des informations pour surveiller la contrainte résiduelle pendant le processus d'impression. La contrainte résiduelle est un facteur clé des défaillances des pièces imprimées, notamment une faible résistance et des distorsions géométriques. Le logiciel identifie ensuite les anomalies en temps réel. Cela permet de réduire les coûts, le temps et le gaspillage de matériaux.

Revendications modifiées

1) Système de détection de défauts en temps réel lors de la fabrication additive, comprenant:

- Une caméra pour surveiller la zone de fabrication pendant le processus de fabrication additive;
- Un ordinateur connecté à la caméra pour exécuter un logiciel de détection de défauts;
- Un module de traitement automatisé intégré au logiciel, configuré pour détecter les défauts en temps réel pendant la fabrication additive et envoyer une notification à l'utilisateur lorsque des défauts sont détectés;

caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- Un module de prévision de contrainte résiduelle en temps réel, utilisant une méthode de modélisation par éléments finis et une combinaison d'algorithmes d'apprentissage automatique avancés spécifiquement optimisés pour prédire les champs de contrainte résiduelle dans la zone de fabrication pendant la fabrication additive avec une précision supérieure et une réduction des coûts de fabrication, en exploitant des données de capteurs de force et de température en temps réel;
- Un module de traitement de données expérimentales, configuré pour recevoir et traiter les données de mesures expérimentales effectuées sur la pièce après la fabrication additive, et utiliser ces données pour améliorer continuellement les performances du logiciel en termes de précision et d'efficacité de prédiction des contraintes résiduelles.

2) Procédé de prédiction de contrainte résiduelle en temps réel lors de la fabrication additive, mis en œuvre par un système selon la revendication 1, comprenant les étapes de :

- Suivi de la zone du bain de fusion pendant la fabrication additive des métaux à l'aide d'un code de vision par ordinateur;
- Utilisation d'un code de modélisation par éléments finis combiné avec des algorithmes d'apprentissage automatique avancés spécifiquement optimisés pour définir les champs de déplacement et de contrainte résiduelle avec une précision supérieure;

caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes de :

- Entraînement d'un algorithme d'apprentissage automatique avec les données de sortie du code de modélisation par éléments finis ainsi que des données de capteurs de force et de température en temps réel;
- Utilisation de l'algorithme d'apprentissage automatique entraîné pour prédire avec une précision supérieure les champs de contraintes résiduelles sur la zone de fabrication en temps réel pendant la fabrication additive;
- Détection des défauts en temps réel à l'aide d'un code de détection des défauts qui utilise les prédictions de l'algorithme d'apprentissage automatique;
- Envoi d'une notification à l'utilisateur lorsqu'un défaut est détecté pendant la fabrication additive;
- Réalisation d'une mesure expérimentale de la contrainte résiduelle sur la pièce construite, et utilisation des résultats de ces mesures pour améliorer continuellement la précision et l'efficacité de prédiction de contraintes résiduelles du module de prévision de contrainte résiduelle en temps réel.

3) Système selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend également un module d'optimisation de paramètres de fabrication additive, configuré pour recevoir les données de prédiction de contraintes résiduelles du module de prévision de contrainte résiduelle en temps réel et ajuster dynamiquement les paramètres du processus de fabrication additive afin de minimiser les défauts détectés et les contraintes résiduelles.

4) Système selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un module de retour d'information, configuré pour communiquer avec un équipement de fabrication additive et ajuster en temps réel les paramètres de la machine sur la base des recommandations du module d'optimisation de paramètres de fabrication additive.

5) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend également des étapes d'optimisation des paramètres de fabrication additive en fonction des prédictions de contraintes résiduelles et de rétroaction en temps réel pour ajuster les paramètres de la machine de fabrication additive afin de minimiser les défauts et les contraintes résiduelles.

Schémas expliquant l'invention

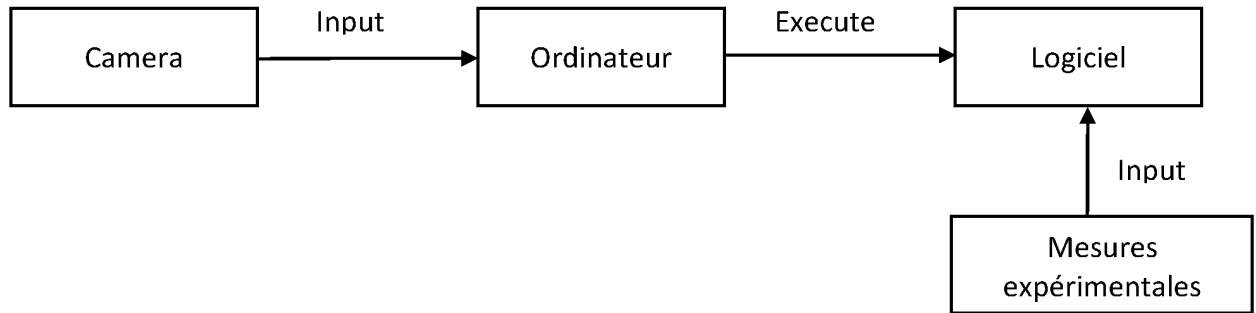


Figure 1: Schéma du système

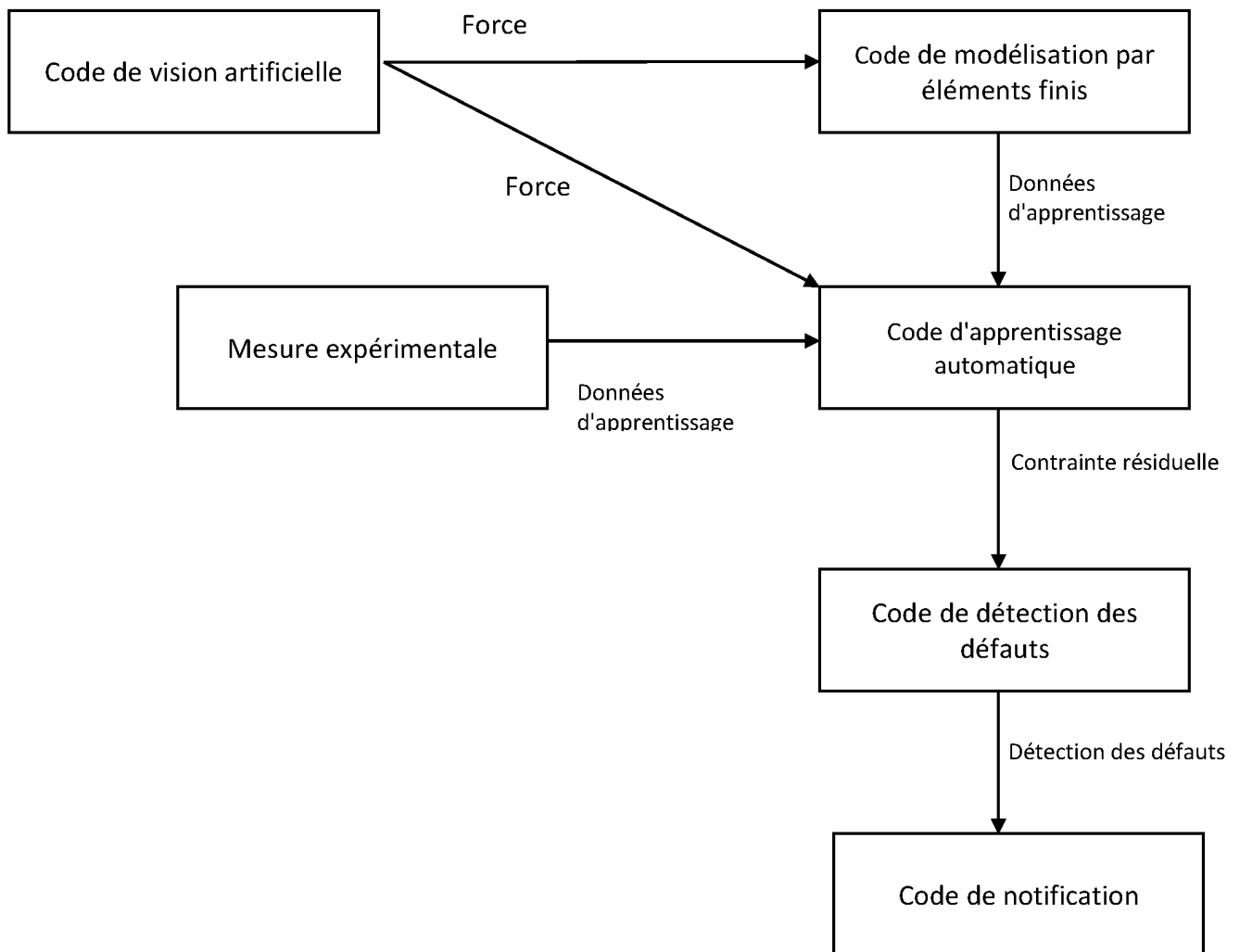
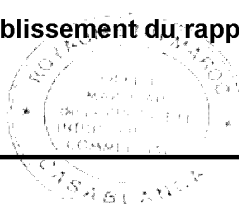


Figure 2: Diagramme logiciel

**RAPPORT DE RECHERCHE DEFINITIF AVEC OPINION SUR
LA BREVETABILITE**

Établi conformément à l'article 43.2 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13

Renseignements relatifs à la demande	
N° de la demande : 58227	Date de dépôt : 28/10/2022 ;
Déposant : DONAA LIMITED	
Intitulé de l'invention : Un système qui permet de détecter les défauts et erreurs en temps réel pendant l'impression 3D (additive manufacturing), à l'aide d'une caméra.	
Classement de l'objet de la demande : CIB : B29C 64/00 ; B29C 64/30 ; B29C 64/343 ; B29C 64/386 ; B29C 64/393 ; B33Y 30/00 ; B33Y 50/00 ; B33Y 50/02 CPC : B33Y 30/00 ; B33Y 50/00 ; B33Y 50/02	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport <input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité	
Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité	
<input type="checkbox"/> Cadre 3 : Remarques de clarté <input type="checkbox"/> Cadre 4 : Observations à propos de revendications modifiées qui s'étendent au-delà du contenu de la demande telle qu'initialement déposée <input type="checkbox"/> Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications exclues de la brevetabilité <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle	
Examineur: NGOTE Narjisse	Date d'établissement du rapport : 15/08/2024
Téléphone: (+212) 5 22 58 64 14	

Partie 1 : Considérations générales**Cadre 1 : base du présent rapport**

Les pièces suivantes servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Demande telle qu'initialement déposée
- Demande modifiée suite à la notification du rapport de recherche préliminaire :
- Description/ Description limitée
2 Pages
 - Revendications
5
 - Planches de dessin
2 Pages
- Observations à l'appui des revendications maintenues
- Observations des tiers suite à la publication de la demande
- Réponses du déposant aux observations des tiers
- Nouveaux documents constituant des antériorités :
- Suite à la recherche complémentaire (Couvrant les documents de l'état de la technique qui n'étaient pas disponibles à la date de la recherche préliminaire)

D** : Référence document ; Déposant ; Date
 - Suite à la recherche additionnelle (couvrant les éléments n'ayant pas fait l'objet de la recherche préliminaire)

D** : Référence document ; Déposant ; Date
- Observations à l'encontre de la décision de rejet

Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité**Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle**

Nouveauté	Revendications 1-5 Revendications aucun	Oui Non
Activité inventive	Revendications 1-5 Revendications aucun	Oui Non
Application Industrielle	Revendications 1-5 Revendications aucun	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants :

D1 : CN115087538A

1. Nouveauté

Aucun des documents cités ci-dessus ne divulgue l'ensemble des caractéristiques techniques de la revendication indépendante 1. D'où l'objet de ladite revendication est nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13. Par conséquent, les revendications dépendantes 2-5 sont aussi nouvelles.

2. Activité inventive

2.1. Le document D1 (les références entre parenthèses s'appliquant à ce document), qui est considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication 1, divulgue un système de détection de défauts en temps réel lors de la fabrication additive, comprenant :

- Une caméra pour surveiller la zone de fabrication pendant le processus de fabrication additive ;
- Un ordinateur connecté à la caméra pour exécuter un logiciel de détection de défauts ;
- Un module de traitement automatisé intégré au logiciel, configuré pour détecter les défauts en temps réel pendant la fabrication additive et envoyer une notification à l'utilisateur lorsque des défauts sont détectés ;

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère de D1 en ce qu'il comprend aussi :

- Un module de prévision de contrainte résiduelle en temps réel, utilisant une méthode de modélisation par éléments finis et une combinaison d'algorithmes d'apprentissage automatique avancés spécifiquement optimisés pour prédire les champs de contrainte résiduelle dans la zone de fabrication pendant la fabrication additive avec une précision supérieure et une réduction des coûts de fabrication, en exploitant des données de capteurs de force et de température en temps réel ;
- Un module de traitement de données expérimentales, configuré pour recevoir et traiter les données de mesures expérimentales effectuées sur la pièce après la fabrication additive, et utiliser ces données pour améliorer continuellement les performances du logiciel en termes de précision et d'efficacité de prédiction des contraintes résiduelles.

L'effet technique apporté par ces différences réside dans le fait que la prévision en temps réel de la contrainte résiduelle permet une détection en temps réel des défaillances et des faibles résistances et distorsions géométriques des pièces imprimées et que le traitement des données expérimentales permet de garantir une amélioration continue des performances du module de prévision de la contrainte résiduelle.

Le problème que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme étant comment fournir un système de détection de défauts en temps réel lors de la fabrication additive précis et moins coûteux en matières de temps et de coûts de fabrication.

Aucun des documents de l'état de la technique trouvés, seul ou combiné, ne décrit ni ne suggère un système de détection de défauts en temps réel lors de la fabrication additive tel que spécifié dans la présente demande, et l'homme du métier n'a aucune incitation directe à modifier le système de D1 afin d'arriver au même résultat.

Ainsi, la solution proposée dans la revendication 1 de la présente demande peut être considérée comme impliquant une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

2.2. Les revendications dépendantes 2-5 satisfont également aux exigences de l'activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

3. Application industrielle

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.