

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 147 060

②1 N° d'enregistrement national : 23 02749

⑤1 Int Cl⁸ : H 02 K 15/02 (2023.01), H 02 K 17/16, 15/14

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 23.03.23.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 27.09.24 Bulletin 24/39.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : SAFRAN VENTILATION SYSTEMS
SAS — FR et SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE
ACTUATION SAS — FR.

⑦2 Inventeur(s) : LONGERE, Xavier et RIBA SAN-
MARTI, Sergi.

⑦3 Titulaire(s) : SAFRAN VENTILATION SYSTEMS
SAS, SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE ACTUA-
TION SAS.

⑦4 Mandataire(s) : GEVERS & ORES.

⑤4 PROCÉDE DE FABRICATION D'UN ROTOR A CAGE D'ECUREUIL POUR UNE MACHINE ELECTRIQUE.

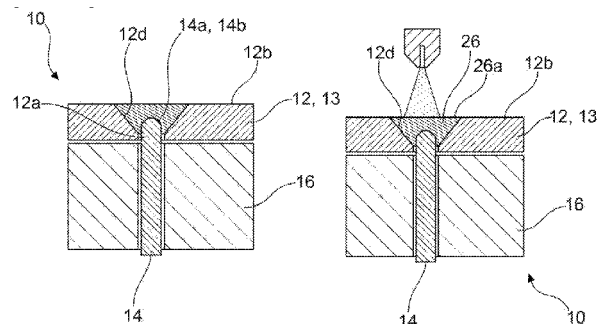
⑤7 Procédé de fabrication d'un rotor à cage d'écuréuil
pour une machine électrique, ce rotor comportant :

- une cage d'écuréuil (10) comportant deux anneaux de
court-circuit (12, 13) qui s'étendent autour d'un même axe
(A) et sont à distance l'un de l'autre, et des barres conduc-
trices (14) qui s'étendent entre les anneaux (12, 13) et qui
ont des extrémités longitudinales (14a) reliées à ces an-
neaux, et

- des tôles magnétiques (16) intercalées entre les an-
neaux (12, 13) et empilées le long de leur axe (A),

caractérisé en ce qu'il comprend la réalisation d'au
moins une partie de la cage d'écuréuil (10) par fabrication
additive, voire également la réalisation des tôles magné-
tiques (16) par fabrication additive.

Figure pour l'abrégié : Figures 3a-3b



FR 3 147 060 - A1



Description

Titre de l'invention : PROCEDE DE FABRICATION D'UN ROTOR A CAGE D'ECUREUIL POUR UNE MACHINE ELECTRIQUE

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un rotor à cage d'écureuil pour une machine électrique.

Arrière-plan technique

[0002] Une machine électrique, tel qu'un moteur asynchrone, peut comporter un rotor à cage d'écureuil.

[0003] Un rotor de ce type est illustré à la figure 1a et comprend :

[0004] - une cage d'écureuil 10 comportant deux anneaux de court-circuit 12, 13 qui s'étendent autour d'un même axe A et sont à distance l'un de l'autre, et des barres conductrices 14 qui sont disposées autour de l'axe A et s'étendent entre les anneaux 12, 13, ces barres 14 ayant des extrémités longitudinales 14a, 14b reliées à ces anneaux 12, 13, et

[0005] - des tôles magnétiques 16 intercalées entre les anneaux 12, 13 et empilées le long de l'axe A.

[0006] Dans l'exemple de la figure 1a, le rotor comprend en outre un arbre 18 qui s'étend le long de l'axe A et à l'intérieur de la cage d'écureuil 10, ainsi que des paliers de guidage 20 montés sur l'arbre 18, de part et d'autre de la cage 10. La cage 10 est fixée à l'arbre 18 et est donc solidaire en rotation de l'arbre 18.

[0007] La figure 1b montre la cage d'écureuil 10 du rotor de la figure 1a. On distingue clairement les anneaux 12, 13 et les barres 14 dont les extrémités longitudinales 14a sont reliées aux anneaux 12, 13. Les barres 14 peuvent être parallèles à l'axe A ou inclinées par rapport à cet axe A, comme dans l'exemple représenté.

[0008] La fabrication d'un rotor de ce type comprend une étape de fabrication de la cage 10. Dans la technique actuelle, il existe deux technologies de fabrication d'une cage d'écureuil 10.

[0009] La première technologie consiste à assembler les anneaux 12, 13 et les barres 14 puis à les solidariser ensemble par brasage. Cette technologie est illustrée aux figures 2a à 2d.

[0010] Les tôles 16 sont empilées et traversées par les barres 14 dont les extrémités longitudinales 14a, 14b sont engagées dans des orifices 12a des anneaux 12, 13. Du côté opposé aux tôles 16, chacun des anneaux 12, 13 comprend une surface 12b sur laquelle sont formés des évidements 12c qui communiquent avec les orifices 12a. Les ex-

trémities longitudinales 14a, 14b des barres 14 sont en saillie au fond de ces évidements 12c (figure 2a).

- [0011] Un matériau brasage 22 est déposé sur les extrémités longitudinales 14a des barres 14 et au fond des évidements 12c. Les pièces sont maintenues par un outillage spécifique et le matériau de brasage 22 est chauffé par induction pour le fondre. Le matériau fondu remplit les espaces entre les barres 14 et forme en refroidissant un joint de brasure 24 qui permet de solidariser les barres 14 à l'anneau 12, 13 (figures 2b et 2c). La surface 12b de l'anneau 12, 13 est ensuite usinée pour la planifier et mettre l'anneau 12, 13 aux côtes souhaitées.
- [0012] Le matériau de brasage 22 est déposé à l'état liquide et a une température de fusion inférieure à celle du matériau de la cage 10 qui ne participe donc pas à la constitution du joint de brasure 24.
- [0013] Cette technologie de fabrication de la cage 10 demande une vigilance particulière et est susceptible de générer certains défauts qui peuvent affecter les performances du rotor.
- [0014] Parmi les défauts sensibles, il y a les coulures de brasure qui peuvent pénétrer dans l'empilage des tôles 16 générant des courts-circuits entre barres 14 et affectant directement les performances de la machine (temps et courant de démarrage, vitesse en charge, etc.).
- [0015] D'autres défauts sont les manques de matière dans la zone de brasure qui affectent la tenue mécanique et la résistivité de la cage 10. Cela peut entraîner de évolutions du point de fonctionnement de la machine (vitesse en charge) et peut aussi affecter sa durée de vie (faiblesse mécanique et points chauds dans les liaisons).
- [0016] Le joint de brasure 24 obtenu est hétérogène et contient systématiquement des porosités ou des bulles d'air. Ces inclusions sont très variables et très difficiles à contrôler par des méthodes non destructives et entraînent une incertitude de la qualité résultante des pièces produites.
- [0017] Une autre technologie consiste à réaliser la cage 10 d'une seule pièce de fonderie.
- [0018] Cependant, cette solution entraîne aussi des problèmes de qualité au même titre que ceux rencontrés par les cages brasées, à savoir des manques de matière, la faible répétabilité, les coulures de matière entre les tôles 16, etc. Cette technologie est de plus peu adaptée aux petites séries au vue des investissements requis pour les outillages.
- [0019] Dès lors, un procédé plus fiable et répétable serait un atout pour l'amélioration de la qualité des rotors (meilleure répétabilité du procédé), et pourrait permettre d'étendre le domaine de fonctionnement des machines (augmentation des températures et des courants admissibles dans la cage), mais aussi la fiabilité des produits (durée de vie des roulements) et la réduction de bruit.
- [0020] La présente invention a pour but d'apporter une solution à ce besoin, qui est simple,

efficace et économique.

Résumé de l'invention

- [0021] L'invention concerne un procédé de fabrication d'un rotor à cage d'écureuil pour une machine électrique, ce rotor comportant :
- [0022] - une cage d'écureuil comportant deux anneaux de court-circuit qui s'étendent autour d'un même axe et sont à distance l'un de l'autre, et des barres conductrices qui s'étendent entre les anneaux et qui ont des extrémités longitudinales reliées à ces anneaux, et
- [0023] - des tôles magnétiques intercalées entre les anneaux et empilées le long de leur axe,
- [0024] caractérisé en ce qu'il comprend la réalisation d'au moins une partie de la cage d'écureuil par fabrication additive.
- [0025] La présente invention propose ainsi d'utiliser la fabrication additive pour réaliser tout ou partie de la cage d'écureuil. Plusieurs variantes de réalisation sont envisageables, la fabrication additive pouvant servir à réaliser une pièce, à réaliser en partie une pièce, ou à solidariser des pièces entre elles, ces dernières n'étant pas forcément réalisées par fabrication additive.
- [0026] L'avantage de la fabrication additive est que le matériau d'apport utilisé par cette technologie peut être le même que celui de la pièce à réaliser ou à solidariser.
- [0027] Le procédé selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques ou étapes suivantes, prises seules ou en combinaison les unes avec les autres :
- [0028] + le procédé comprend :
- [0029] - une première étape lors de laquelle un premier des anneaux et les barres conductrices sont réalisés par fabrication additive au moyen d'un premier matériau, ces barres conductrices ayant des premières extrémités longitudinales reliées au premier anneau et s'étendant depuis ce premier anneau à l'issue de cette première étape,
- [0030] - une deuxième étape lors de laquelle les tôles magnétiques sont positionnées sur le premier anneau, des secondes extrémités longitudinales libres des barres, situées du côté opposé au premier anneau, étant en saillie sur une surface des tôles magnétiques, et
- [0031] - une troisième étape lors de laquelle le second anneau est réalisé par fabrication additive directement sur les tôles magnétiques au moyen du premier matériau, en déposant ce premier matériau sur ladite surface pour solidariser le second anneau aux secondes extrémités longitudinales des barres ;
- [0032] + le procédé comprend :
- [0033] - une première étape d'assemblage des tôles magnétiques avec les barres conductrices, et
- [0034] - une deuxième étape lors de laquelle au moins l'un des anneaux est réalisé au moins

en partie par fabrication additive, ou est fixé aux barres conductrices par fabrication additive ;

- [0035] + lors de la première étape, les tôles magnétiques et les barres conductrices sont assemblées ensemble et avec un premier des anneaux qui comprend des orifices de passage de premières extrémités longitudinales des barres, ces orifices comportant chacun un évasement du côté opposé aux tôles magnétiques, les extrémités longitudinales des barres étant en saillie au fond de ces évasements à l'issue de la première étape, et dans lequel, lors de la deuxième étape, l'évasement de chacun de ces orifices est comblé par fabrication additive pour solidariser les extrémités longitudinales des barres à l'anneau ;
- [0036] + lors de la première étape, les tôles magnétiques et les barres conductrices sont assemblées ensemble et avec une préforme d'un premier des anneaux qui comprend des orifices de passage de premières extrémités longitudinales des barres, les extrémités longitudinales des barres étant en saillie sur une surface annulaire de la préforme opposée aux tôles magnétiques à l'issue de la première étape, et dans lequel, lors de la deuxième étape, l'anneau est complété par fabrication additive et les extrémités longitudinales des barres sont solidarisées à l'anneau en déposant un matériau par fabrication additive sur ladite surface de la préforme ;
- [0037] + lors de la première étape, les tôles magnétiques et les barres conductrices sont assemblées ensemble, des premières extrémités longitudinales des barres dépassant des tôles magnétiques et étant en saillie sur une première surface de ces tôles à l'issue de la première étape, et dans lequel, lors de la deuxième étape, un premier anneau est réalisé par fabrication additive et les extrémités longitudinales des barres sont solidarisées à cet anneau en déposant un matériau par fabrication additive sur ladite surface des tôles ;
- [0038] + les deux anneaux sont réalisés au moins en partie par fabrication additive, ou sont solidarisés aux extrémités longitudinales des barres de la même façon ;
- [0039] + la fabrication additive est réalisée par une technique appelée cold spray ou projection à froid (aussi appelée CSAM, acronyme de *Cold Spray Additive Manufacturing*) ; en variante, d'autres types de fabrication additives seraient envisageables ;
- [0040] + les anneaux et les barres sont réalisées dans un même matériau ;
- [0041] + les anneaux et les barres sont réalisées dans un matériau choisi parmi de l'aluminium pur, un alliage à base d'aluminium, du cuivre pur, et un alliage à base de cuivre ;
- [0042] -- les évasements présentent chacun un chanfrein ;
- [0043] -- les extrémités longitudinales libres des barres sont chanfreinées ;
- [0044] -- la préforme d'un anneau se présente sous la forme d'un disque ;
- [0045] -- les orifices ont une forme quelconque, et/ou les barres ont chacune une section

quelconque, cette forme ou section étant par exemple ronde, elliptique, polygonale, etc.

Brève description des figures

- [0046] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaitront au cours de la lecture de la description détaillée qui va suivre pour la compréhension de laquelle on se reportera aux dessins annexés dans lesquels :
- [0047] [Fig.1a-1b] les figures 1a et 1b sont des vues schématiques en perspective respectivement d'un rotor et d'une cage d'écureuil de ce rotor ;
- [0048] [Fig.2a-2d] les figures 2a à 2d sont des vues très schématiques partielles en coupe d'un rotor à cage d'écureuil, et montrent des étapes d'un procédé de fabrication du rotor par brasage de la cage ;
- [0049] [Fig.3a-3b] les figures 3a et 3b sont des vues très schématiques partielles en coupe d'un rotor à cage d'écureuil, et montrent des étapes d'un premier mode de réalisation d'un procédé de fabrication d'un rotor selon l'invention ;
- [0050] [Fig.4a-4c] les figures 4a à 4c sont des vues très schématiques partielles en coupe d'un rotor à cage d'écureuil, et montrent des étapes d'un deuxième mode de réalisation d'un procédé de fabrication d'un rotor selon l'invention ;
- [0051] [Fig.5a-5b] les figures 5a et 5b sont des vues très schématiques partielles en coupe d'un rotor à cage d'écureuil, et montrent des étapes d'un troisième mode de réalisation d'un procédé de fabrication d'un rotor selon l'invention ;
- [0052] [Fig.6a-6c] les figures 6a à 6c sont des vues très schématiques partielles en coupe d'un rotor à cage d'écureuil, et montrent des étapes d'un premier mode de réalisation d'un procédé de fabrication d'un rotor selon l'invention.

Description détaillée de l'invention

- [0053] Les figures 1a-1b et 2a-2d ont été décrites dans ce qui précède.
- [0054] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un rotor à cage d'écureuil pour une machine électrique, ce rotor étant tel qu'illustré à la figure 1a et comportant :
- [0055] - une cage d'écureuil 10 comportant deux anneaux de court-circuit 12 qui s'étendent autour d'un même axe A et sont à distance l'un de l'autre, et des barres conductrices 14 qui s'étendent entre les anneaux 12, 13 et qui ont des extrémités longitudinales 14a, 14b reliées à ces anneaux 12, 13, et
- [0056] - des tôles magnétiques 16 intercalées entre les anneaux 12, 13 et empilées le long de l'axe A.
- [0057] Le rotor peut comprendre en outre un arbre 18 qui s'étend le long de l'axe A et à l'intérieur de la cage d'écureuil 10, ainsi que des paliers de guidage 20 montés sur l'arbre 18, de part et d'autre de la cage 10. La cage 10 est fixée à l'arbre 18 et est donc solidaire en rotation de l'arbre 18.

- [0058] Les barres 14 peuvent être parallèles à l'axe A ou inclinées par rapport à cet axe A, comme dans l'exemple représenté. Elles sont disposées autour de l'axe et sont identiques. Elles ont en section transversale une forme quelconque et par exemple carrée, rectangulaire, ronde, polygonale, elliptique, etc.
- [0059] La particularité du procédé selon l'invention est qu'au moins une partie de la cage d'écureuil 10 est réalisée ou assemblée par fabrication additive.
- [0060] Plusieurs modes de réalisations sont envisageables et décrits dans ce qui suit en référence aux figures 3a et suivantes.
- [0061] Un premier mode de réalisation est illustré aux figures 3a et 3b.
- [0062] Le procédé de fabrication du rotor comprend :
- [0063] - une première étape d'assemblage des tôles magnétiques 16 avec les barres conductrices 14, et avec au moins un premier des anneaux 12, 13, et
- [0064] - une deuxième étape lors de laquelle au moins l'un des anneaux 12, 13 est fixé aux barres conductrices 14 par fabrication additive.
- [0065] On comprend donc que les tôles 16, les barres 14 et le ou les anneaux 12, sont fabriqués au préalable, pas forcément par fabrication additive.
- [0066] Un premier des anneaux 12 comprend des orifices 12a de passage de premières extrémités longitudinales 14a des barres 14. Ces orifices 12a ont n'importe quelle forme et comportent chacun un évasement 12d du côté opposé aux tôles magnétiques 16. Les extrémités longitudinales 14a des barres 14 sont en saillie au fond de ces évasements 12d à l'issue de la première étape illustrée à la figure 3a.
- [0067] Les évasements 12d peuvent avoir une forme quelconque et présenter par exemple un chanfrein pour faciliter le dépôt du matériau d'apport. Les extrémités 14a des barres 14 peuvent aussi présenter des chanfreins pour faciliter ce dépôt.
- [0068] Lors de la deuxième étape illustrée à la figure 3b, l'évasement 12d de chacun de ces orifices 12a est comblé par fabrication additive pour solidariser les extrémités longitudinales 14a des barres 14 au premier anneau 12.
- [0069] Une quantité nécessaire et suffisante de matériau d'apport 26 peut être déposée dans l'évasement 12d par fabrication additive de façon à obtenir une surface externe 26a du matériau d'apport 26, qui soit alignée avec la surface 12b de l'anneau 12. Il n'est ainsi pas nécessairement utile d'usiner cette surface 12b pour l'aplanir. Le matériau d'apport 26 peut se solidifier immédiatement après dépôt évitant ainsi tout type de coulure ni de manque de matière et assurant un joint homogène entre les pièces. Le matériau d'apport 26 par fabrication additive est avantageusement identique à celui de l'anneau 12 et des barres 14.
- [0070] Le second anneau 13 peut être solidarisé de la même façon aux extrémités longitudinales 14b opposées des barres 14. On comprend alors que le second anneau 13 comprend des orifices 12a de passage des secondes extrémités longitudinales 14b des

barres 14, ces orifices 12a comportant chacun un évasement 12d du côté opposé aux tôles magnétiques 16. Les extrémités longitudinales 14b des barres 14 sont en saillie au fond de ces évasements 12d et ces évasements 12d sont comblés par fabrication additive pour solidariser les extrémités longitudinales 14b des barres 14 au second anneau 13.

- [0071] Bien que les figures 3a et 3b montrent un seul des anneaux de la cage, on peut considérer que les anneaux sont similaires et donc que les figures 3a et 3b servent à illustrer chacun des anneaux de la cage.
- [0072] Un deuxième mode de réalisation est illustré aux figures 4a à 4c.
- [0073] Le procédé de fabrication du rotor comprend :
- [0074] - une première étape d'assemblage des tôles magnétiques 16 avec les barres conductrices 14, et avec au moins une préforme 12' d'au moins un premier des anneaux 12, 13, et
- [0075] - une deuxième étape lors de laquelle la préforme 12' de l'anneau ou de chaque anneau 12, 13 est complétée et fixée aux barres conductrices 14 par fabrication additive.
- [0076] On comprend donc que les tôles 16, les barres 14 et la ou les préformes 12', sont fabriquées au préalable, pas forcément par fabrication additive.
- [0077] Dans l'exemple représenté, la ou chaque préforme 12' se présente sous la forme d'un disque et a donc une forme annulaire autour de l'axe A.
- [0078] La préforme 12' d'un premier des anneaux 12 comprend des orifices 12'a de passage de premières extrémités longitudinales 14a des barres 14. Les orifices 12'a ont n'importe quelle forme. Les extrémités longitudinales 14a des barres 14 étant en saillie sur une surface annulaire 12'b de la préforme 12' opposée aux tôles magnétiques 16 à l'issue de la première étape (figure 4a).
- [0079] Lors de la deuxième étape, l'anneau 12 est complété par fabrication additive et les extrémités longitudinales 14a des barres 14 sont solidarisées à l'anneau 12 en déposant un matériau d'apport 26 par fabrication additive sur la surface 12'b de la préforme 12' (figures 4b et 4c).
- [0080] Une quantité nécessaire et suffisante de matériau 26 peut être déposée sur la surface 12'b par fabrication additive en fonction des côtes finales souhaitées pour l'anneau 12. Le matériau d'apport 26 peut se solidifier immédiatement après dépôt évitant ainsi tout type de coulure ni de manque de matière et assurant un joint homogène entre les pièces. Le matériau d'apport 26 par fabrication additive est avantageusement identique à celui de l'anneau 12 et des barres 14.
- [0081] Le second anneau 13 peut être réalisé de la même façon aux extrémités longitudinales 14b opposées des barres 14, à partir d'une autre préforme 12'. On comprend alors que cette autre préforme 12' comprend des orifices 12a' de passage de secondes

extrémités longitudinales 14b des barres 14, qui sont en saillie sur une surface annulaire 12'b de la préforme 12' opposée aux tôles magnétiques 16. L'anneau 13 est complété par fabrication additive et les extrémités longitudinales 14b des barres 14 sont solidarisées à l'anneau 13 en déposant un matériau par fabrication additive sur la surface 12'b de la préforme 12'.

- [0082] Bien que les figures 4a à 4c montrent un seul des anneaux de la cage, on peut considérer que les anneaux sont similaires et donc que les figures 4a à 4c servent à illustrer chacun des anneaux de la cage.
- [0083] Un troisième mode de réalisation est illustré aux figures 5a et 5b.
- [0084] Le procédé de fabrication du rotor comprend :
- [0085] - une première étape d'assemblage des tôles magnétiques 16 avec les barres conductrices 14, et
- [0086] - une deuxième étape lors de laquelle au moins un des anneaux 12, 13 est réalisé par fabrication additive et solidarisé aux barres conductrices 16 par fabrication additive.
- [0087] On comprend donc que les tôles 16 et les barres 14 sont fabriqués au préalable, pas forcément par fabrication additive.
- [0088] Des premières extrémités longitudinales 14a des barres 14 dépassent des tôles magnétiques 16 et sont en saillie sur une première surface 16a de ces tôles 16 à l'issue de la première étape (figure 5a).
- [0089] Lors de la deuxième étape, un premier anneau 12 est réalisé par fabrication additive et les extrémités longitudinales 14a des barres 14 sont solidarisées à cet anneau 12 en déposant un matériau d'apport 26 par fabrication additive sur ladite surface 16a des tôles (figure 5b).
- [0090] Une quantité nécessaire et suffisante de matériau 26 peut être déposée sur la surface 16a par fabrication additive en fonction des côtes finales souhaitées pour l'anneau 12. Le matériau d'apport 26 peut se solidifier immédiatement après dépôt évitant ainsi tout type de coulure ni de manque de matière et assurant un joint homogène entre les pièces. Le matériau d'apport 26 par fabrication additive est avantageusement identique à celui de l'anneau 12 et des barres 14.
- [0091] Le second anneau 13 peut être réalisé de la même façon aux extrémités longitudinales 14b opposées des barres 14. On comprend alors que des secondes extrémités longitudinales 14b des barres 14 dépassent des tôles magnétiques 16 et sont en saillie sur une seconde surface 16a de ces tôles 16. Le second anneau 13 est réalisé par fabrication additive et les extrémités longitudinales 14b des barres 14 sont solidarisées à cet anneau 13 en déposant un matériau 26 par fabrication additive sur la seconde surface 16a des tôles 16.
- [0092] Bien que les figures 5a et 5b montrent un seul des anneaux de la cage, on peut considérer que les anneaux sont similaires et donc que les figures 5a et 5b servent à

illustrer chacun des anneaux de la cage.

- [0093] Un quatrième mode de réalisation est illustré aux figures 6a à 6c.
- [0094] Dans cette variante, le procédé comprend :
- [0095] - une première étape lors de laquelle un premier des anneaux 12, 13 et les barres conductrices 14 sont réalisés par fabrication additive au moyen d'un premier matériau d'apport 26, ces barres conductrices 14 ayant des premières extrémités longitudinales 16a reliées au premier anneau 12 et s'étendant depuis ce premier anneau 12 à l'issue de cette première étape (figure 6a),
- [0096] - une deuxième étape lors de laquelle les tôles magnétiques 16 sont positionnées sur le premier anneau 12, des secondes extrémités longitudinales 16b libres des barres 14, situées du côté opposé au premier anneau 12, étant en saillie sur une surface 16a des tôles magnétiques 16 (figure 6b), et
- [0097] - une troisième étape lors de laquelle le second anneau 13 est réalisé par fabrication additive directement sur les tôles magnétiques 16 au moyen du premier matériau 26, en déposant ce premier matériau sur ladite surface 16a pour solidariser le second anneau 13 aux secondes extrémités longitudinales 14b des barres 14 (figure 6c).
- [0098] Les matériaux d'apport 26, 28 par fabrication additive sont différents, mais le même matériau d'apport 26 peut être utilisé pour la fabrication des anneaux 12, 13 et des barres 14. Ces matériaux d'apport 26, 28 peuvent se solidifier immédiatement après dépôt évitant ainsi tout type de coulure ni de manque de matière et assurant des joints homogènes entre les pièces.
- [0099] La fabrication additive ou chaque étape de fabrication additive est de préférence réalisée par une technique appelée cold spray. L'avantage de cette technique est qu'elle ne produit pas de matière à l'état liquide qui puisse couler comme dans le cas du brasage. Les particules projetées par cette technique sont adhérentes directement sur le point de contact de la pièce ou des pièces. Avec cette technique, il devient donc possible d'éviter les défauts présents dans le procédé classique du brasage : coulures et porosités.
- [0100] D'autres types de fabrication additive sont envisageables.
- [0101] Les anneaux et les barres de la cage d'écureuil sont avantageusement réalisées dans un même matériau. Ce matériau est par exemple choisi parmi de l'aluminium pur, un alliage à base d'aluminium, du cuivre pur, et un alliage à base de cuivre.
- [0102] L'invention est applicable sur toute machine asynchrone avec rotor en cage d'écureuil.
- [0103] L'invention apporte plusieurs avantages parmi lesquels :
- [0104] - améliorer les performances des machines et des moteurs,
- [0105] - réduction de la dispersion des performances,
- [0106] - homogénéité de la résistance rotorique (réduction de l'ondulation de couple,

réduction des vibrations, réduction du bruit, etc.),

[0107] - meilleure conductivité électrique des cages,

[0108] - possibilité de réaliser des barres de forme quelconque (pas forcément ronde ou rectangulaire),

[0109] - meilleure tenue mécanique et en température de la cage et du rotor,

[0110] - automatisation possible du procédé de fabrication,

[0111] - pas de manipulation de pièces à haute température contrairement à la brasure,

[0112] - etc.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'un rotor à cage d'écureuil pour une machine électrique, ce rotor comportant :
- une cage d'écureuil (10) comportant deux anneaux de court-circuit (12, 13) qui s'étendent autour d'un même axe (A) et sont à distance l'un de l'autre, et des barres conductrices (14) qui s'étendent entre les anneaux (12, 13) et qui ont des extrémités longitudinales (14a) reliées à ces anneaux, et
 - des tôles magnétiques (16) intercalées entre les anneaux (12, 13) et empilées le long de leur axe (A),
- caractérisé en ce qu'il comprend la réalisation d'au moins une partie de la cage d'écureuil (10) par fabrication additive.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, comprenant :
- une première étape lors de laquelle un premier des anneaux (12) et les barres conductrices (14) sont réalisés par fabrication additive au moyen d'un premier matériau, ces barres conductrices (14) ayant des premières extrémités longitudinales (14a) reliées au premier anneau (12) et s'étendant depuis ce premier anneau (12) à l'issue de cette première étape,
 - une deuxième étape lors de laquelle les tôles magnétiques (16) sont positionnées sur le premier anneau (12), des secondes extrémités longitudinales libres (14b) des barres (14), situées du côté opposé au premier anneau (12), étant en saillie sur une surface (16a) des tôles magnétiques (16), et
 - une troisième étape lors de laquelle le second anneau (13) est réalisé par fabrication additive directement sur les tôles magnétiques (16) au moyen du premier matériau, en déposant ce premier matériau sur ladite surface (16a) pour solidariser le second anneau (13) aux secondes extrémités longitudinales (14b) des barres (14).
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1, comprenant :
- une première étape d'assemblage des tôles magnétiques (16) avec les barres conductrices (14), et
 - une deuxième étape lors de laquelle au moins l'un des anneaux (12, 13) est réalisé au moins en partie par fabrication additive, ou est fixé aux barres conductrices (14) par fabrication additive.
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 3, dans lequel, lors de la première étape, les tôles magnétiques (16) et les barres conductrices (14) sont as-

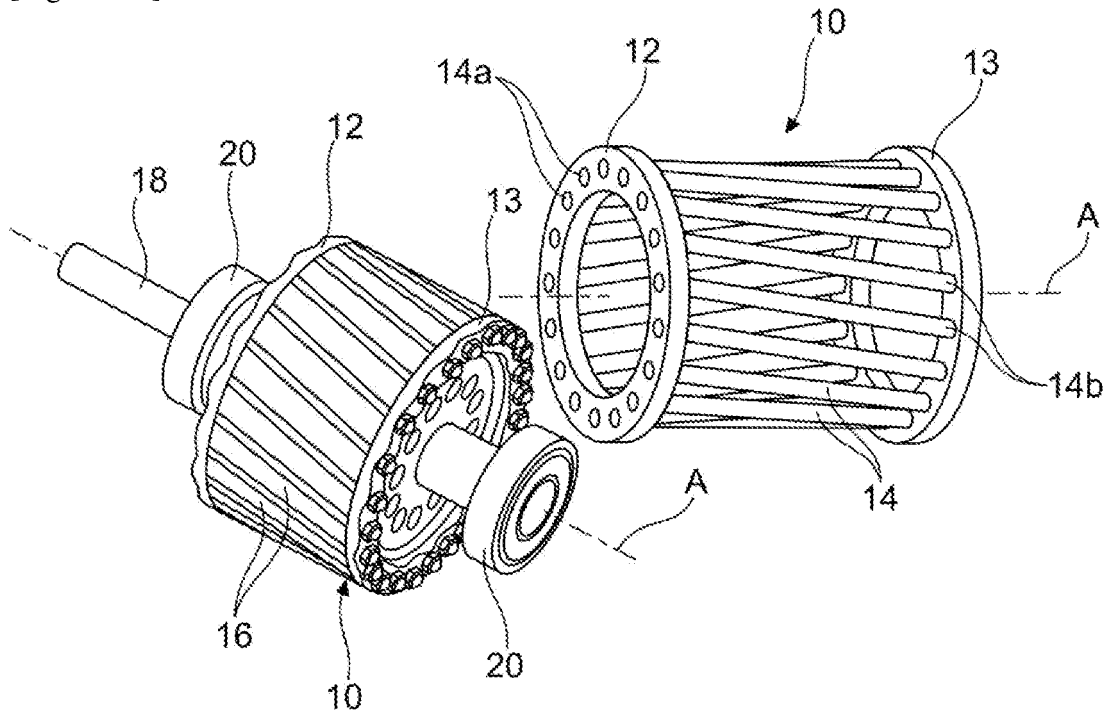
semblées ensemble et avec un premier des anneaux (12) qui comprend des orifices (12a) de passage de premières extrémités longitudinales (14a) des barres (14), ces orifices (12a) comportant chacun un évasement (12c) du côté opposé aux tôles magnétiques (16), les extrémités longitudinales (14a) des barres (14) étant en saillie au fond de ces évasements (12c) à l'issue de la première étape, et dans lequel, lors de la deuxième étape, l'évasement (12c) de chacun de ces orifices (12a) est comblé par fabrication additive pour solidariser les extrémités longitudinales (14a) des barres (14) à l'anneau (12).

- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 3, dans lequel, lors de la première étape, les tôles magnétiques (16) et les barres conductrices (14) sont assemblées ensemble et avec une préforme (12') d'un premier des anneaux (12) qui comprend des orifices (12a) de passage de premières extrémités longitudinales (14a) des barres (14), les extrémités longitudinales (14a) des barres (14) étant en saillie sur une surface annulaire (12'a) de la préforme (12') opposée aux tôles magnétiques (16) à l'issue de la première étape, et dans lequel, lors de la deuxième étape, l'anneau (12) est complété par fabrication additive et les extrémités longitudinales (14a) des barres (14) sont solidarisées à l'anneau (12) en déposant un matériau par fabrication additive sur ladite surface (12'a) de la préforme (12').
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication 3, dans lequel, lors de la première étape, les tôles magnétiques (16) et les barres conductrices (14) sont assemblées ensemble, des premières extrémités longitudinales (14a) des barres (14) dépassant des tôles magnétiques (16) et étant en saillie sur une première surface (16a) de ces tôles (16) à l'issue de la première étape, et dans lequel, lors de la deuxième étape, un premier anneau (12) est réalisé par fabrication additive et les extrémités longitudinales (14a) des barres (14) sont solidarisées à cet anneau (12) en déposant un matériau par fabrication additive sur ladite surface (16a) des tôles (16).
- [Revendication 7] Procédé selon l'une des revendications 4 à 6, dans lequel les deux anneaux (12, 13) sont réalisés au moins en partie par fabrication additive, ou sont solidarisés aux extrémités longitudinales (14a, 14b) des barres (14) de la même façon.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la fabrication additive est réalisée par une technique appelée cold spray.
- [Revendication 9] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les anneaux (12, 13) et les barres (14) sont réalisées dans un même

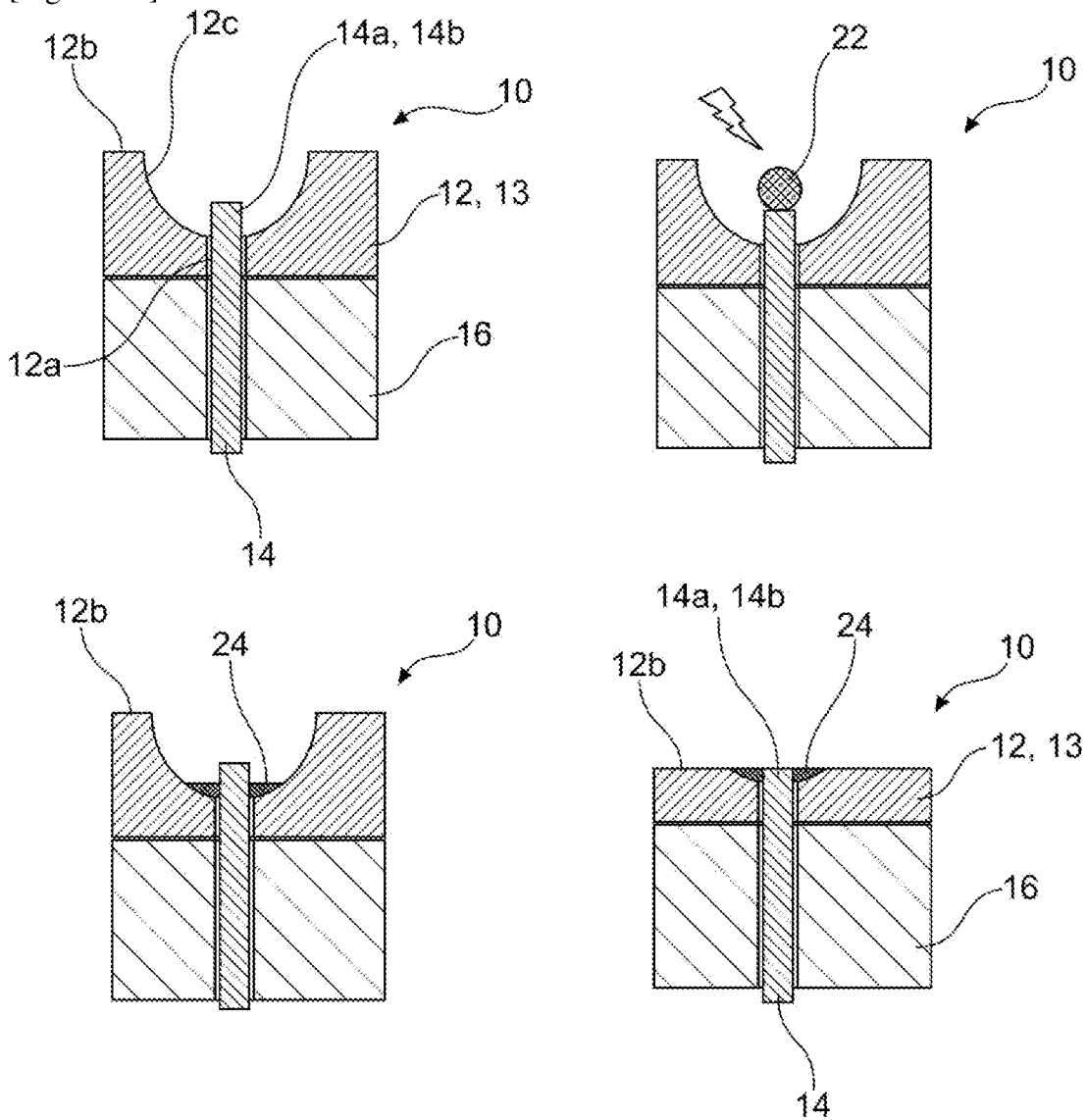
matériau.

[Revendication 10] Procédé selon la revendication précédente, dans lequel les anneaux (12, 13) et les barres (14) sont réalisées dans un matériau choisi parmi de l'aluminium pur, un alliage à base d'aluminium, du cuivre pur, et un alliage à base de cuivre.

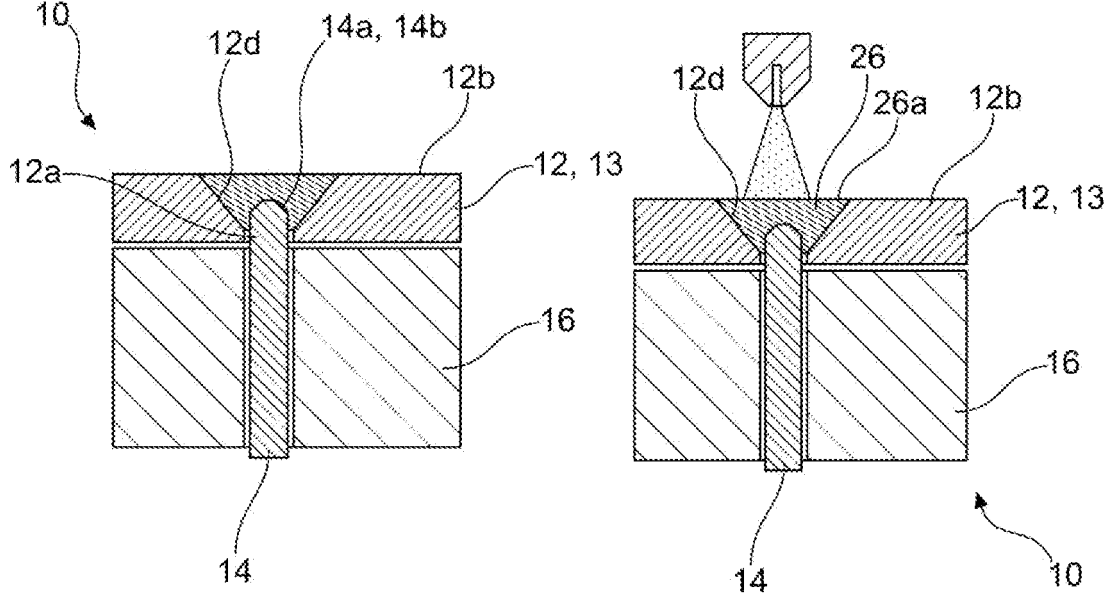
[Fig. 1a-1b]



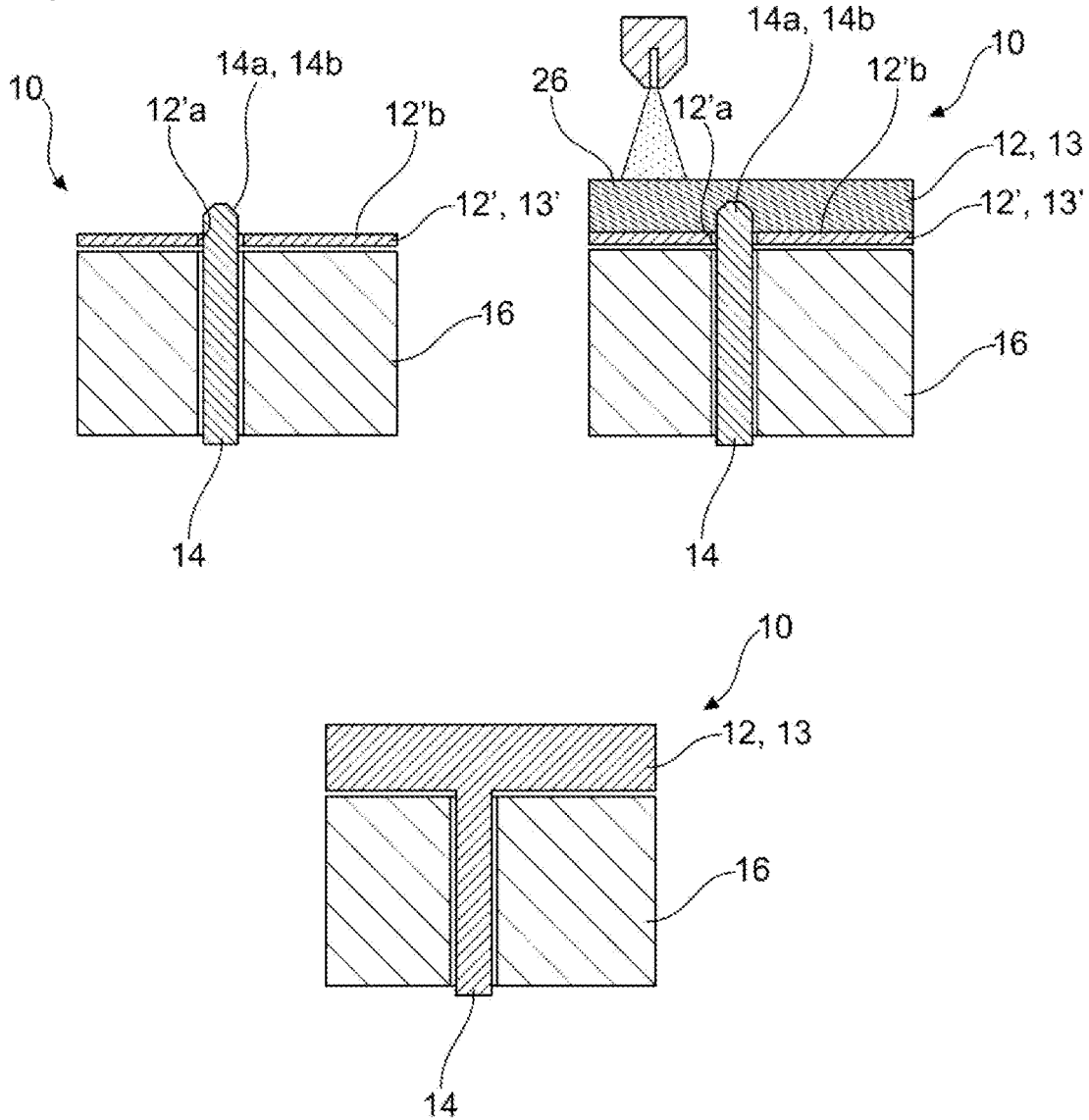
[Fig. 2a-2d]



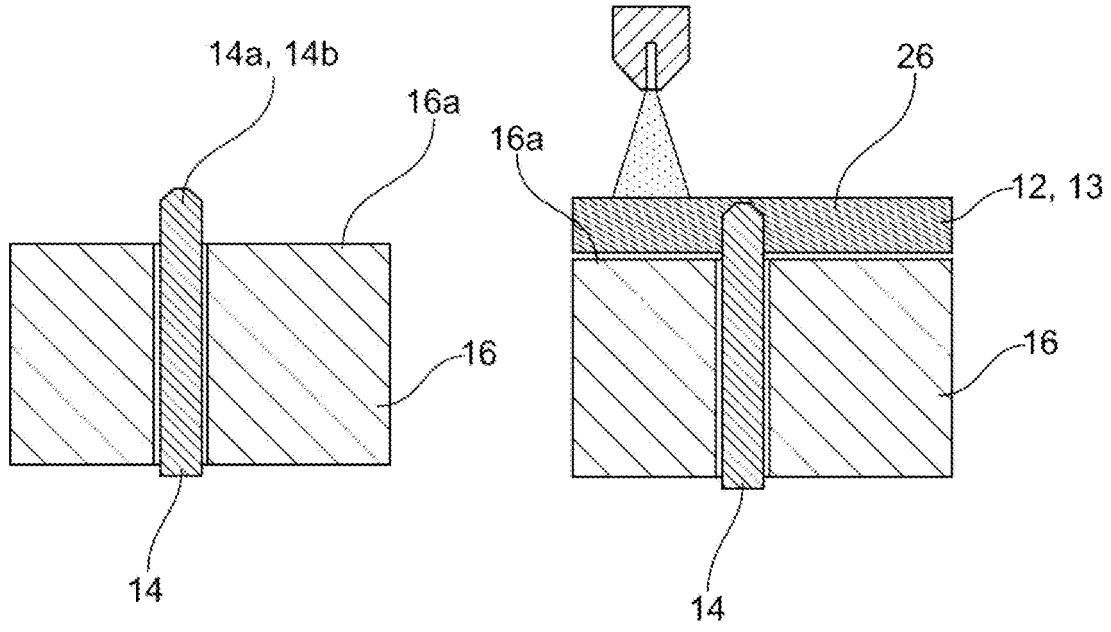
[Fig. 3a-3b]



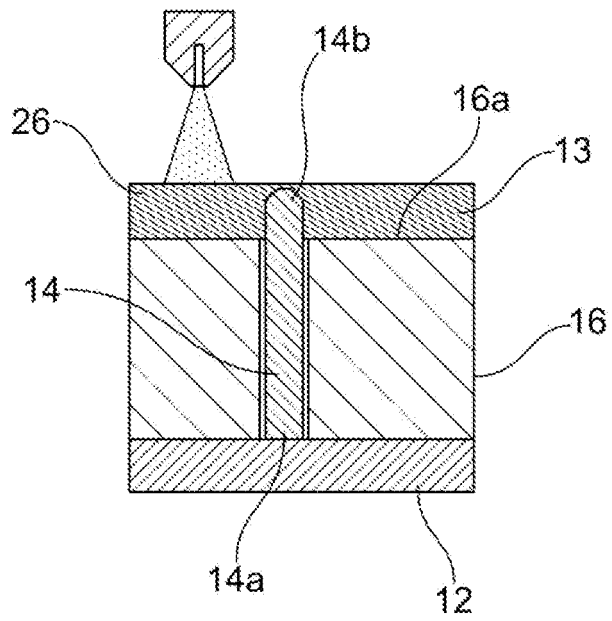
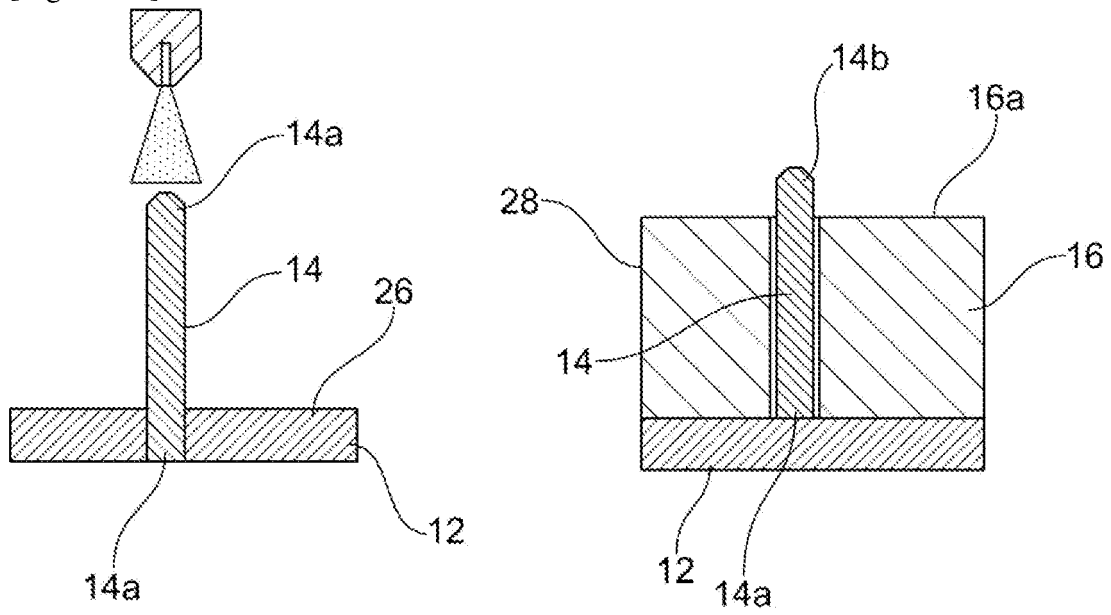
[Fig. 4a-4c]



[Fig. 5a-5b]



[Fig. 6a-6c]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 918447
FR 2302749

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2021/028675 A1 (KOERNER OLAF [DE] ET AL) 28 janvier 2021 (2021-01-28) * alinéas [0001], [0014], [0030], [0031], [0052] - [0056]; figures 1-11 * -----	1,3-5, 7-10	H02K 15/02 H02K 15/14 H02K 17/16
X	JP 5 745703 B1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 8 juillet 2015 (2015-07-08) * alinéas [0019], [0037] - [0045]; figures 8-12 * -----	1,3,5, 7-10	
X	US 2017/141661 A1 (FISCHER RALF [DE] ET AL) 18 mai 2017 (2017-05-18) * alinéas [0017], [0047], [0049]; revendication 9; figures 1,3 * -----	1-3,7,9, 10	
X	US 2013/106233 A1 (HANAMACHI TOSHIHIKO [JP]) 2 mai 2013 (2013-05-02) * alinéas [0028] - [0030], [0035]; figures 1-9 * -----	1,3,6-10	
X	US 9 071 112 B2 (MAEDA HISASHI [JP]; FUKUDA MASAMOTO [JP] ET AL.) 30 juin 2015 (2015-06-30) * revendications 1,5; figures 3,7,8 * -----	1,3,6-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B33Y H02K
X	JP 2007 202235 A (YASKAWA ELECTRIC CORP) 9 août 2007 (2007-08-09) * figures 1,2 * -----	1,3,4,7, 9,10	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
26 octobre 2023		Kovacsovics, Martin	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2302749 FA 918447**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **26-10-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2021028675 A1	28-01-2021	CN 111869061 A	30-10-2020
		EP 3540923 A1	18-09-2019
		EP 3741031 A1	25-11-2020
		US 2021028675 A1	28-01-2021
		WO 2019174816 A1	19-09-2019

JP 5745703 B1	08-07-2015	JP 5745703 B1	08-07-2015
		JP WO2015151244 A1	13-04-2017
		WO 2015151244 A1	08-10-2015

US 2017141661 A1	18-05-2017	EP 3168969 A1	17-05-2017
		ES 2666425 T3	04-05-2018
		US 2017141661 A1	18-05-2017

US 2013106233 A1	02-05-2013	EP 2592730 A1	15-05-2013
		JP 5693884 B2	01-04-2015
		JP 2012019634 A	26-01-2012
		US 2013106233 A1	02-05-2013
		WO 2012005304 A1	12-01-2012

US 9071112 B2	30-06-2015	CN 102738988 A	17-10-2012
		DE 102012006248 A1	04-10-2012
		JP 5155423 B2	06-03-2013
		JP 2012222863 A	12-11-2012
		US 2012248901 A1	04-10-2012

JP 2007202235 A	09-08-2007	JP 4868122 B2	01-02-2012
		JP 2007202235 A	09-08-2007
