

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 149 656**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **23 05802**

⑤① Int Cl⁸ : *F 16 C 19/36 (2023.01), F 16 C 33/30*

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Palier à roulement.

②② Date de dépôt : 08.06.23.

③① Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 13.12.24 Bulletin 24/50.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 20.06.25 Bulletin 25/25.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : NTN Europe SA — FR.

⑦② Inventeur(s) : DUBOIS Pierre Emmanuel, NICOT
Christophe et THOMA Romain.

⑦③ Titulaire(s) : NTN Europe SA.

⑦④ Mandataire(s) : STRATO-IP.

FR 3 149 656 - B1



Description

Titre de l'invention : Palier à roulement

- [0001] L'invention concerne un palier à roulement comprenant un organe extérieur et un organe intérieur pourvus chacun d'au moins une piste annulaire de roulement formant entre lesdits organes un espace de roulement, au moins une rangée de corps roulants étant disposée dans l'espace de roulement pour permettre la rotation relative des organes. L'invention concerne également une machine électrique comprenant un rotor qui est monté en rotation par rapport à un stator au moyen d'un tel palier à roulement.
- [0002] Dans cette application, des passages de courants électriques peuvent exister entre le rotor et le stator qui, dans la mesure où les composants d'un palier sont classiquement en acier à roulement, se propagent entre les organes par l'intermédiaire des corps roulants.
- [0003] Ces passages de courants au travers des paliers à roulement étant néfastes à leur durée de vie, il a été proposé des paliers à roulement dont au moins certains composants assurent une isolation électrique.
- [0004] Pour ce faire, au moins un organe peut être réalisé au moins partiellement en matériau isolant électriquement, sans que cette solution ne donne satisfaction en termes de coûts et/ou de fiabilité du palier à roulement.
- [0005] On connaît également des paliers dits hybrides dans lesquels les organes sont en acier à roulement conventionnel et les corps roulants sont formés à base d'un matériau dont la résistivité électrique est suffisante pour garantir l'isolation électrique entre les organes au travers de l'espace de roulement. En particulier, l'utilisation de matériau céramique à base de Si_3N_4 a été proposée pour résoudre ce problème électrique.
- [0006] Toutefois, notamment dans des applications à haute vitesse de rotation du rotor, les matériaux électriquement isolants utilisés ne présentent pas des propriétés physiques, notamment des propriétés thermiques et/ou mécaniques, qui sont pertinentes, notamment en relation avec celles des aciers à roulement, pour garantir la fiabilité du guidage conféré par le palier à roulement.
- [0007] L'invention vise à perfectionner l'art antérieur en proposant notamment un palier à roulement dans lequel les corps roulants sont formés à base d'un matériau assurant l'isolation électrique entre les organes en acier à roulement, tout en assurant une homogénéité des propriétés physiques entre ledit matériau et ledit acier à roulement pour fiabiliser le fonctionnement du palier à roulement.
- [0008] A cet effet, selon un premier aspect, l'invention propose un palier à roulement comprenant un organe extérieur et un organe intérieur formés chacun en acier à roulement en étant pourvu d'au moins une piste annulaire de roulement formant entre lesdits organes un espace de roulement, au moins une rangée de corps roulants étant

disposée dans ledit espace pour permettre la rotation relative desdits organes, les corps roulants étant formés à base d'un matériau céramique comprenant du dioxyde de zirconium dont la résistivité électrique est suffisante pour garantir l'isolation électrique entre les organes au travers de l'espace de roulement.

- [0009] Selon un deuxième aspect, l'invention propose une machine électrique comprenant un rotor qui est monté en rotation par rapport à un stator au moyen d'un tel palier à roulement, ledit palier étant soumis à des passages de courants électriques entre ledit rotor et ledit stator.
- [0010] D'autres objets et avantages de l'invention apparaîtront dans la description qui suit, faite en référence à la [Fig.1] jointe,
- [0011] [Fig.1] qui représente en perspective coupée partiellement un palier à roulement selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0012] En relation avec cette figure, on décrit ci-dessous un palier à roulement comprenant un organe extérieur 1 et un organe intérieur 2 pourvus chacun d'au moins une piste annulaire 1a, 2a de roulement formant entre lesdits organes un espace de roulement 3.
- [0013] Pour permettre la rotation relative des organes 1, 2, au moins une rangée 4 de corps roulants 4a est disposée dans l'espace de roulement 3, notamment en étant maintenus espacés par une cage 5.
- [0014] En particulier, un lubrifiant est disposé dans l'espace de roulement 3 afin de diminuer les frottements des corps roulants 4a lors de la rotation. Selon l'application considérée, la lubrification peut être obtenue au moyen d'une huile et/ou d'une graisse introduite dans l'espace de roulement 3. Selon une réalisation, une matrice polymère poreuse peut être disposée dans l'espace de roulement 3, notamment en étant en contact avec les corps roulants 4b, ladite matrice emprisonnant un lubrifiant comprenant une huile et/ou une graisse.
- [0015] Sur la figure, les organes 1, 2 sont formés chacun d'une bague entre lesquelles est disposée une rangée 4 de corps roulants 4a de géométrie cylindrique. Toutefois, l'invention n'est pas limitée à une géométrie particulière des organes 1, 2 et/ou des corps roulants 4a.
- [0016] Les organes 1, 2 sont formés chacun en acier à roulement, notamment en acier riche en carbone pour résister à des charges importantes, tant statiques que dynamiques.
- [0017] En particulier, pour réaliser les organes 1, 2 d'un palier à roulement, on utilise classiquement un acier dénommé 100Cr6 dont la composition en pourcentage pondéral est dans les plages données ci-dessous, notamment en fonction de l'application visée :

C :	0,95 – 1,05	Si :	0,17 – 0,37
Mn :	0,2 – 0,4	P :	0 – 0,027
S :	0 – 0,02	Cr :	1,3 – 1,65

Mo :	0 – 0,15	Ni :	0 – 0,3
V :	0 – 0,1	Al :	0 – 0,1
Cu :	0 – 0,25	W :	0 – 0,1
Ti :	0 – 0,05	Co :	0 – 0,1
Pb :	0 – 0,15	Fe :	le reste

- [0018] En variante, les organes 1, 2 peuvent être réalisés en acier à haut carbone au chrome, notamment selon la dénomination SUJ2 ou AMS52100.
- [0019] Selon une réalisation, les organes 1, 2 peuvent être réalisés en acier à haut carbone tel que précédemment évoqué avec l'ajout supplémentaire de silicium et/ou de manganèse, notamment selon la dénomination 100CrMnSi6-4 ou SUJ3.
- [0020] Les corps roulants 4a sont formés à base d'un matériau céramique dont la résistivité électrique est suffisante pour garantir l'isolation électrique entre les organes 1, 2 au travers de l'espace de roulement 3.
- [0021] Ainsi, le palier peut être avantageusement utilisé dans une machine électrique pour monter en rotation un rotor par rapport à un stator, dans laquelle ledit palier est soumis à des passages de courants électriques entre ledit rotor et ledit stator.
- [0022] En effet, l'isolation électrique conférée par les corps roulants 4a permet d'éviter les passages de courants au travers du palier à roulement, et donc les détériorations induites dudit palier.
- [0023] Le matériau céramique des corps roulants 4a comprend du dioxyde de zirconium (ZrO_2 ou Zircone) dont le choix spécifique permet de combiner une bonne isolation électrique avec des propriétés physiques permettant, en relation avec celles de l'acier à roulement des organes 1, 2, de fiabiliser le fonctionnement du palier.
- [0024] En particulier, la résistivité électrique du matériau des corps roulants 4a peut être supérieure à $10^{15} \Omega \cdot mm^2/m$, celle de l'acier à roulement étant classiquement comprise entre 0,1 et $1 \Omega \cdot mm^2/m$.
- [0025] En particulier, les corps roulants 4a peuvent être fabriqués par frittage du matériau céramique comprenant du dioxyde de zirconium, avec notamment la possibilité de moduler les performances de réalisation (qualité du frittage) ou d'utilisation des corps roulants 4a à base de ZrO_2 (ténacité) via la composition de la céramique, notamment le taux Yttrium.
- [0026] De façon avantageuse, le matériau céramique des corps roulants 4a présente des performances thermiques qui garantissent la stabilité et la précision dimensionnelle du palier en température, notamment la stabilité d'interférence dimensionnelle entre les organes 1, 2 et les corps roulants 4a.
- [0027] En particulier, dans des applications à haute vitesse, la rotation d'un rotor d'une machine électrique engendre des variations de température significatives dans le temps

et différentielles entre les organes 1, 2, avec des écarts pouvant atteindre 40°C, ce qui peut dégrader significativement les jeux optimisés entre les composants du palier à roulement, notamment de façon amplifiée par la faible conductivité thermique des matériaux céramiques.

- [0028] Pour résoudre ce problème, le matériau céramique des corps roulants 4a peut présenter un coefficient de dilatation thermique dont la valeur est inférieure à 130% du coefficient de dilatation thermique de l'acier à roulement des organes 1, 2.
- [0029] Ainsi, en utilisant un matériau céramique dont les propriétés thermiques sont proches de celle de l'acier à roulement, on assure une certaine homogénéité dimensionnelle des composants du palier à roulement en fonction de la température.
- [0030] Dans un exemple de relation, le coefficient de dilution thermique (CTE) du matériau à base de dioxyde de zirconium est de l'ordre de $10 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, celui de l'acier à roulement étant classiquement de l'ordre de $12 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$.
- [0031] Selon une réalisation, la stabilité thermique en service des organes 1, 2 peut être améliorée du point de vue de la stabilité dimensionnelle et/ou de la dureté par une solution combinée nuance et/ou traitements, par exemple :
- nuance : Base 100Cr6 avec variantes avec ajouts de silicium et manganèse (0,4 à 1,5% Si / 0,8 à 1,2% Mn) ;
 - traitement thermique et/ou thermochimiques (nitruration, carbonitruration, froid, revenus).
- [0032] De façon avantageuse, le matériau céramique des corps roulants 4a présente des performances mécaniques qui garantissent, notamment pour des applications à haute vitesse et forte rigidité, la fiabilité de fonctionnement du palier, en particulier en relation avec la résistance à l'initiation de fissuration/propagation d'écaillage dues au milieu pollué par des particules dures et à la résistance aux chocs.
- [0033] Selon une réalisation, le matériau céramique des corps roulants 4a présente un module d'élasticité d'Young E dont l'écart avec le module d'élasticité d'Young E de l'acier à roulement des organes 1, 2 est inférieur à 10%.
- [0034] Dans un exemple de réalisation, le module d'élasticité d'Young E du matériau céramique est de l'ordre de 210 GPa, celui de l'acier à roulement étant classiquement également de l'ordre de 210 GPa, de sorte à obtenir une homogénéité entre les matériaux qui est propice au meilleur fonctionnement du palier à roulement.
- [0035] En particulier, le matériau céramique des corps roulants 4a, malgré sa dureté élevée, permet de moins impacter les organes 1, 2 en acier grâce à un module d'élasticité d'Young E plus faible que les céramiques traditionnelles, conduisant à moins de contraintes de cisaillement dans lesdits organes qu'avec des corps roulants 4a par

exemple à base de Si_3N_4 , et ce sans que la diminution de la rigidité n'affecte le fonctionnement du palier à roulement.

- [0036] Selon une réalisation avantageuse, le matériau céramique des corps roulants 4a présente un coefficient de Poisson dont l'écart avec le coefficient de Poisson de l'acier à roulement des organes 1, 2 est inférieur à 10%.
- [0037] Dans un exemple de réalisation, le coefficient de Poisson du matériau céramique est de l'ordre de 0,3, celui de l'acier à roulement étant classiquement également de l'ordre de 0,3, de sorte à obtenir une homogénéité entre les matériaux qui est propice au fonctionnement stable et prédictif du palier à roulement.
- [0038] Selon une réalisation avantageuse, l'acier à roulement des organes 1, 2 présente, au moins au niveau d'au moins l'une des pistes de roulement 1a, 2a, une dureté HV qui est supérieure à 60% de la dureté HV du matériau céramique des corps roulants 4a.
- [0039] Pour ce faire, l'acier à roulement des organes 1, 2 peut avoir subi un traitement spécifique de durcissement d'au moins l'une des pistes de roulement 1a, 2a pour présenter une dureté HV supérieure à 750, notamment en étant d'au moins 850. Selon une réalisation, au moins les pistes de roulement 1a, 2a et notamment les organes 1, 2 peuvent présenter les duretés HV définies ci-dessus.
- [0040] En particulier, les organes 1, 2 peuvent avoir subi un traitement thermique dans la masse, superficiel et/ou par enrichissement superficiel de durcissement en surface, par exemple de type cémentation, carbonitruration, nitruration, induction.
- [0041] Ainsi, notamment en relation avec une dureté HV du matériau céramique des corps roulants 4a qui est inférieure à 1500, l'écart de dureté est réduit afin de fiabiliser le fonctionnement du palier à roulement.
- [0042] De façon avantageuse, un palier à roulement suivant l'invention peut présenter :
- un renforcement mécanique par :
 - un faible écart de module d'élasticité d'Young E entre l'acier à roulement et le matériau céramique des corps roulants 4a, notamment pour diminuer les contraintes dans les organes 1, 2 ;
 - un renforcement de la résistance mécanique en milieu pollué des organes 1, 2, notamment par carbonitruration de l'acier à roulement ;
 - une bonne tenue en température, notamment en utilisant des nuances d'acier à roulement au Si/Mn avec traitement masse et/ou thermochimique pour les organes 1, 2 ;
 - un renforcement dimensionnel par :
 - des CTE proches entre ledit matériau céramique et l'acier à roulement ;
 - utilisation de nuances d'acier à roulement avec Mn/Si et traitements thermiques adaptés des organes 1, 2.

Revendications

- [Revendication 1] Machine électrique comprenant un rotor qui est monté en rotation par rapport à un stator au moyen d'un palier à roulement qui est soumis à des passages de courants électriques entre ledit rotor et ledit stator, ledit palier à roulement comprenant un organe extérieur (1) et un organe intérieur (2) formés chacun en acier à roulement en étant pourvu d'au moins une piste annulaire de roulement (1a, 2a) formant entre lesdits organes un espace de roulement (3), au moins une rangée (4) de corps roulants (4a) étant disposée dans ledit espace pour permettre la rotation relative desdits organes, ladite machine étant caractérisée en ce que les corps roulants (4a) sont formés à base d'un matériau céramique comprenant du dioxyde de zirconium dont la résistivité électrique est suffisante pour garantir l'isolation électrique entre les organes (1, 2) au travers de l'espace de roulement (3).
- [Revendication 2] Machine électrique selon la revendication 1, caractérisée en ce que le matériau céramique des corps roulants (4a) présente un coefficient de dilatation thermique dont la valeur est inférieure à 130% du coefficient de dilatation thermique de l'acier à roulement des organes (1, 2).
- [Revendication 3] Machine électrique selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que le matériau céramique des corps roulants (4a) présente un module d'élasticité d'Young E dont l'écart avec le module d'élasticité d'Young E de l'acier à roulement des organes (1, 2) est inférieur à 10%.
- [Revendication 4] Machine électrique selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que le matériau céramique des corps roulants (4a) présente un coefficient de Poisson dont l'écart avec le coefficient de Poisson de l'acier à roulement des organes (1, 2) est inférieur à 10%.
- [Revendication 5] Machine électrique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que l'acier à roulement des organes (1, 2) présente, au moins au niveau d'au moins l'une des pistes de roulement (1a, 2a), une dureté HV qui est supérieure à 60% de la dureté HV du matériau céramique des corps roulants (4a).
- [Revendication 6] Machine électrique selon la revendication 5, caractérisée en ce que l'acier à roulement des organes (1, 2) a subi un traitement spécifique

de durcissement d'au moins l'une des pistes de roulement (1a, 2a) pour présenter une dureté HV supérieure à 750.

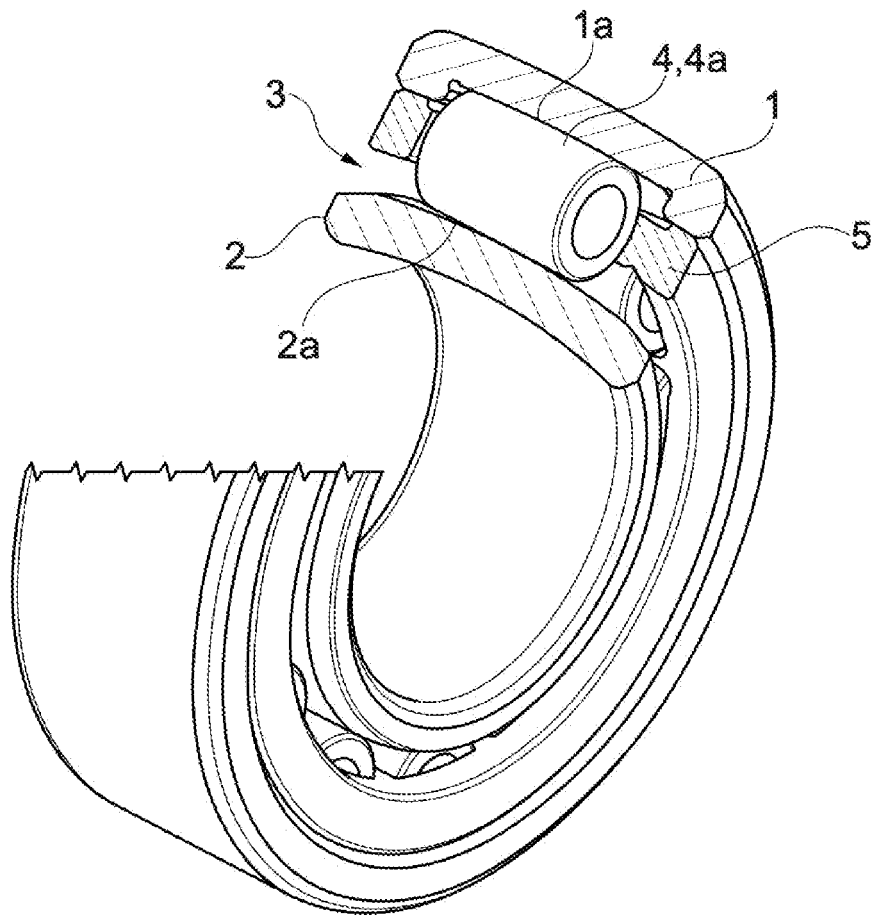
[Revendication 7]

Machine électrique selon la revendication 6, caractérisée en ce que la dureté HV d'au moins l'une des pistes de roulement (1a, 2a) est d'au moins 850.

[Revendication 8]

Machine électrique selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisée en ce que la dureté HV du matériau céramique des corps roulants (4a) est inférieure à 1500.

[Fig. 1]



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**

US 2018/087579 A1 (ZIKA THOMAS [DE] ET AL)
29 mars 2018 (2018-03-29)

EP 0 807 761 B1 (SKF ENG & RES CENTRE BV
[NL]) 24 octobre 2001 (2001-10-24)

US 2002/191878 A1 (UEDA KOJI [JP] ET AL)
19 décembre 2002 (2002-12-19)

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

NEANT

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

NEANT