

ROULEMENTS

# Les causes de détérioration des roulements d'éoliennes

Les symptômes de détérioration des roulements appelés « écaillage en phase blanche », qui se produisent dans les éoliennes et dans d'autres systèmes d'entraînement, sont en général perceptibles très tôt, bien avant la fin de la durée de vie escomptée du roulement. Les causes en sont longtemps demeurées inconnues. **NSK fait notamment état du développement d'un nouveau matériau de roulement** offrant d'importants avantages en termes de longévité des éoliennes.

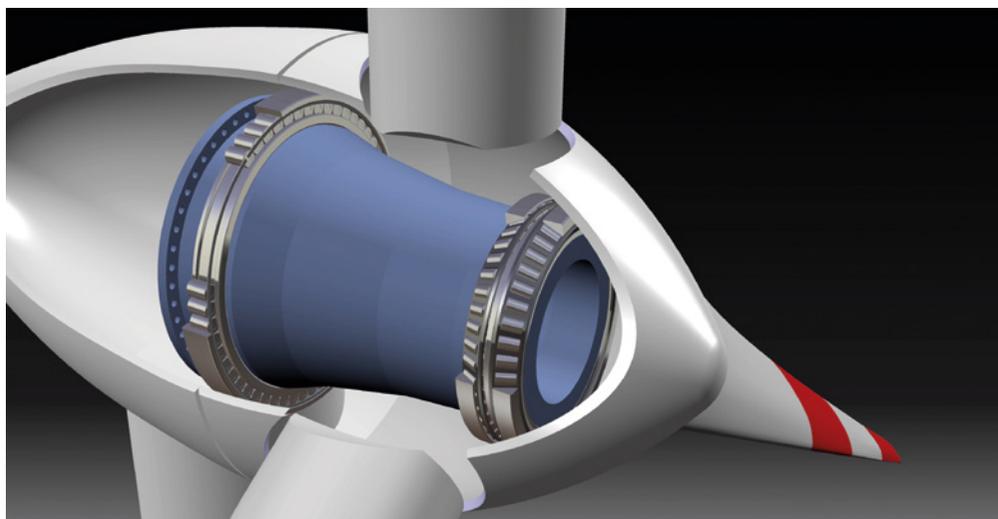
« **L**es éléments d'entraînement des éoliennes doivent satisfaire à des exigences strictes, et de plus en plus sévères, en termes de durabilité et de résistance. Les éoliennes onshore exigent traditionnellement des roulements conçus pour une durée de vie de 175 000 heures, correspondant à 20 ans. Cependant, dans le marché en forte croissance des fermes éoliennes offshore, où de lourds investissements et la difficulté d'accès au site sont la règle, une durée de vie de 25 ans est requise.

## Charges dynamiques accrues

Cette exigence constitue un sérieux défi en raison des charges dynamiques extrêmes s'exerçant sur l'entraînement de l'éolienne. Dans les éoliennes onshore, les roulements principaux subissent des charges d'environ 1 MN. Mais en mer, du fait des grandes vitesses du vent, des charges statiques et dynamiques encore plus fortes affectent le rotor et, par voie de conséquence, l'ensemble de la transmission. Dans le même temps, les dimensions et les performances des applications, aussi bien onshore qu'offshore, ne cessent de croître. NSK fabrique actuellement des roulements pour des éoliennes de 9,5 MW qui entreront prochainement en production à grande échelle. L'entreprise procède également au développement de roulements pour des éoliennes offshore d'une puissance nominale encore plus élevée.

## Surveillance d'état

Les performances accrues et la part de marché croissante des éoliennes constituent les principaux facteurs sous-tendant les demandes de longévité supérieure des



Les roulements d'éoliennes offshore doivent offrir une longévité de 25 ans en supportant de fortes charges dynamiques.

roulements. La technologie des éoliennes est par conséquent un domaine d'application idéal pour les systèmes de surveillance d'état en ligne, qui mesurent et analysent en permanence les vibrations auxquelles est soumis le système d'entraînement. En cas de détérioration des roulements, les composants défaillants (bague interne ou externe, rouleaux ou cage) peuvent être détectés à un stade précoce à partir de l'analyse du profil de mesure.

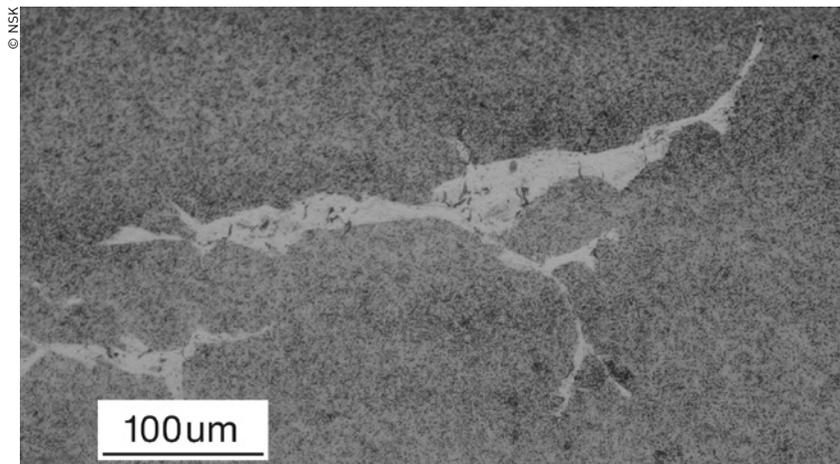
Le système de surveillance d'état (SSE) développé par NSK a récemment été installé dans une ferme éolienne offshore au Japon. Ce système a pour but de détecter les anomalies suffisamment tôt afin de faciliter les stratégies de maintenance prédictive. NSK entrevoit un vaste potentiel de marché pour les solutions de ce type.

## Développement de matériaux

Quelle que soit l'utilité de la surveillance d'état, l'objectif premier, lors du développement de

roulements pour éoliennes, reste la garantie d'un haut niveau de fiabilité. A cet égard, les fabricants ont d'ores et déjà fait des avancées considérables. Le développement de nouveaux matériaux et procédés de traitement thermique, tels que l'acier spécial Super Tough (STF) breveté NSK, a constitué un facteur de progrès non négligeable. Les roulements réalisés dans ce matériau ont une durée de vie multipliée par deux par rapport aux modèles fabriqués dans un acier conventionnel. L'augmentation de la capacité de charge en découlant a été confirmée et certifiée en décembre 2017 par DNV GL.

Les caractéristiques de durabilité du STF ont été obtenues grâce à une composition chimique et un procédé de traitement thermique spéciaux. Les symptômes de détérioration typiques, comme les fissures dans les chemins de roulement provoquées par des inclusions non métalliques dans l'acier du roulement, sont pratiquement éliminés dans les roulements fabriqués à l'aide de STF.



Symptômes de détérioration d'une bague de roulement causée par des fissures de phase blanche.



NSK propose depuis plus de 20 ans une gamme étendue de roulements pour éoliennes.

### Écaillage en phase blanche

Un des problèmes affectant ce domaine concerne l'écaillage en phase blanche (WSF) ou fissures de phase blanche (WEC). En cas de double mode de défaillance, certaines zones du matériau sous le chemin de roulement présentent une fragilisation locale.

La structure fragilisée n'est pas en mesure de supporter la charge et constitue ainsi le noyau des fissures qui finissent par s'étendre au chemin de roulement et au bout du compte, le roulement lâche. Ce type de dommage apparaît habituellement relativement tôt, parfois même peu après la mise en service du système. A la suite d'une attaque chimique à l'acide picrique (picral), ces entités présentent un aspect blanc et sont donc appelées structures blanches. Les essais approfondis réalisés par le département de Recherche & Développement de NSK ont permis de reproduire les dommages et d'avancer une hypothèse quant à leur origine. Les différents essais de fatigue ont montré que les structures blanches surviennent à cause d'une pénétration d'hydrogène, vraisemblablement causée par différents facteurs et l'association de ceux-ci, notamment le décalage axial ou circonférentiel entre les rouleaux et les chemins de roulement, l'électricité et certains types de lubrification. L'hydrogène pénètre ensuite dans le chemin de roulement et provoque les structures typiques de phase blanche conduisant à la formation de fissures donnant finalement lieu à un écaillage. Ces fissures peuvent atteindre une longueur de plusieurs millimètres et se propager de l'intérieur à la surface. De fait, des essais destructifs de roulements usés ne présentant aucun signe visible de détérioration en surface ont montré que les zones d'écaillage en phase blanche peuvent être présentes à cet endroit. En examinant les dommages plus en détail, on constate que, sous l'influence de l'hydrogène,

la microstructure martensitique initiale se dégrade en une ferrite fragile à grains très fins. Ce mécanisme trouve son explication dans la théorie de la plasticité localisée améliorée par l'hydrogène (HELP) dont l'une des caractéristiques réside dans le fait que la plasticité se produit uniquement localement et que l'usure globale du roulement est faible. On n'a, par conséquent, pas affaire à l'un des types classiques de dommages par fatigue apparaissant soit en dessous du chemin de roulement (en raison de l'inclusion de particules non-métalliques), soit dans le chemin de roulement (en raison d'une grave contamination).



Avec l'AWS-TF, NSK a développé un nouveau matériau spécifiquement destiné aux roulements d'éoliennes.

### Roulements neufs et usés

D'où vient l'hydrogène? En comparant un roulement neuf avec un roulement usé, l'équipe de recherche NSK a conclu que l'hydrogène ne se formait que lorsque les roulements étaient en fonctionnement. Il est probable (c'est du moins l'hypothèse initiale) que l'hydrogène provient des chaînes hydrocarbonées des lubrifiants et de leurs additifs. Cette théorie a été corroborée après que les symptômes de dommages typiques ont pu être reproduits en laboratoire avec certains types d'huiles et de graisses. Des dommages similaires ont été signalés par l'industrie automobile dans les

années 1990, confortant ainsi cette théorie. En l'espèce, les roulements des prétensionneurs de ceintures et des alternateurs défailaient prématurément, mais le remplacement de la graisse et du matériau de ceinture avait résolu le problème. Cependant, l'incidence de l'électricité (circulation du courant) sur ce mode de défaillance reste à établir.

### Alliage et traitement thermique

NSK a développé de nouveaux alliages qui donnent de meilleurs résultats lors des essais de fatigue due au contact de roulement. Dans les essais avec charge d'hydrogène, la composition chimique optimisée s'est traduite par une résistance au WSF multipliée par cinq par rapport aux aciers de roulement conventionnels. Une amélioration significative a également été obtenue grâce à un traitement thermique optimisé. Les contraintes résiduelles sous les chemins de roulement peuvent être accrues par carbonitruration au lieu de durcissement par trempe. Même si cette mesure n'empêche pas la formation des structures blanches, on enregistre une diminution importante du développement de fissures à partir de ces structures et un ralentissement de leur propagation en surface.

En se fondant sur ces constats, NSK a introduit un nouveau matériau de roulement appelé AWS-TF (AWS étant l'acronyme d'Anti-White Structure - Structure anti-blanche), qui allie une composition chimique spéciale à un traitement thermique optimisé. Les essais ont montré que même si les roulements blancs réalisés en AWS-TF n'éliminent pas complètement le risque de WEC, le laps de temps avant l'apparition des dommages était cinq à sept fois plus élevé qu'avec les aciers de roulement conventionnels. Les premiers essais sur le terrain dans des sites d'installation critiques sont en cours et semblent confirmer les résultats des tests. » ■