

Analyse des détériorations et des défaillances de roulements

SKF®



Contenu

SKF – the knowledge engineering company	5
Introduction	7
1 Durée de service et défaillances de roulements	8
Facteurs déterminants pour la durée de service des roulements	8
Quand remplacer un roulement ?	9
2 Inspection et résolution de problèmes	10
Inspection en fonctionnement	10
Surveillance du bruit et des vibrations	11
Surveillance de la température	11
Surveillance des conditions de lubrification	11
Inspection pendant un arrêt-machine	11
Inspection des roulements	11
Inspection des surfaces d'appui des joints	12
Résolution de problèmes	12
Symptômes courants de problèmes liés aux roulements	12
Anomalies et solutions	15
3 Traces de fonctionnement	32
Traces de fonctionnement normales	34
Roulements radiaux - charge radiale unidirectionnelle et constante	34
Roulements radiaux - charge radiale tournante en phase et constante	35
Roulements radiaux - charge axiale unidirectionnelle et constante	36
Roulements radiaux - combinaison de charges axiale et radiale unidirectionnelles et constantes	37
Butées - charge axiale unidirectionnelle et constante	37
Traces de fonctionnement sur les pistes associées à des conditions de fonctionnement anormales	38
Roulements radiaux - charge radiale unidirectionnelle et constante	38
Butées - charge axiale unidirectionnelle et constante	40
4 Classification des modes de défaillance ISO	42
Groupe de travail ISO - Classification des modes de défaillance	42
Modes de défaillance	44
Fatigue de contact de roulement	44
Usure	48
Corrosion	52
Électroérosion	55
Déformation plastique	58
Fissuration et rupture	61

5 Détériorations et mesures correctives	64
Fatigue initiée en sous-couche	65
Fatigue initiée en surface	66
Usure par abrasion	68
Usure par adhésion	70
Corrosion due à l'humidité	71
Corrosion de contact	73
Faux effet Brinell	75
Érosion due à une surtension	76
Érosion due à une fuite de courant	77
Déformation due à une surcharge	79
Indentations par des corps étrangers	81
Rupture forcée	83
Rupture par fatigue	84
Fissuration thermique	85
6 Autres investigations	86
7 Études de cas	88
Déraillement d'un train	88
Problème de moteur électrique à variateur de vitesse	90
Problème rencontré par une briqueterie	92
Problème sur un concasseur à mâchoires	94
8 Annexes	96
Annexe A : Classification SKF adaptée à partir de la norme ISO 15243:2017	96
Annexe B : Facteurs déterminants pour la sélection du roulement	97
Annexe C : Détérioration et défaillances de roulements - modes et causes	99
Annexe D : Collecte des informations	100
Annexe E : Glossaire	101

SKF – the knowledge engineering company

Tout a commencé en 1907. Un groupe d'ingénieurs mit au point une solution simple mais astucieuse à un problème de désalignement dans une usine de textile suédoise. C'était la

naissance de SKF, qui depuis n'a cessé de croître pour devenir un leader mondial du savoir-faire industriel. Au fil des années, nous avons développé notre expertise en matière de roulements et l'avons étendue aux solutions d'étanchéité, à la mécatronique, aux services et aux systèmes de lubrification. Notre réseau de compétences regroupe 46 000 collaborateurs, 15 000 partenaires distributeurs, des agences dans plus de 130 pays et l'implantation de sites SKF Solution Factory partout dans le monde.

Recherche et développement

Nous disposons d'une large expérience dans plus d'une quarantaine d'industries différentes. L'expertise de nos collaborateurs repose sur les connaissances acquises dans des applications concrètes. Nous disposons, par ailleurs, d'une équipe d'experts, consti-



tuée de partenaires universitaires reconnus mondialement, précurseurs en recherche et développement théoriques dans des domaines tels que la tribologie, la maintenance préventive, la gestion des équipements et la théorie sur la durée de vie des roulements. Notre engagement continu dans la recherche et le développement nous permet d'aider nos clients à rester à la pointe de leurs secteurs industriels.

Répondre aux défis technologiques

Notre savoir-faire et notre expérience, combinés à nos différentes plates-formes technologiques, nous permettent de répondre aux défis les plus ambitieux en proposant des solutions innovantes. Nous travaillons en étroite collaboration avec nos clients tout au long du cycle de vie des équipements et

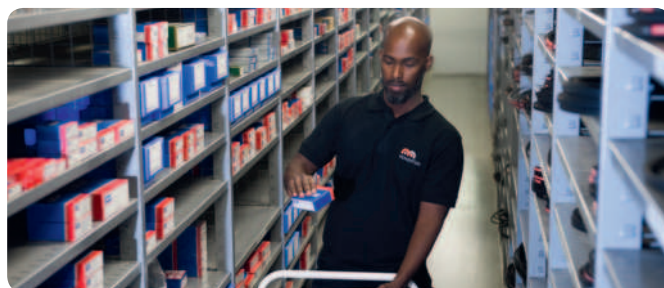
les aidons ainsi à faire croître leurs activités de manière rentable et responsable.

Le développement durable au cœur de nos préoccupations

Depuis 2005, SKF s'efforce de réduire l'impact sur l'environnement de ses propres activités et de celles de ses fournisseurs. Notre développement technologique permanent a permis de lancer le portefeuille de produits et de services SKF BeyondZero. L'objectif est d'améliorer l'efficacité, de réduire les pertes énergétiques et de favoriser le développement de nouvelles technologies exploitant l'énergie éolienne, solaire et maritime. Cette approche globale contribue à réduire l'empreinte environnementale de nos activités et celle de nos clients.

Les sites SKF Solution Factory donnent accès, à l'échelle locale, à toute l'expertise SKF en matière de solutions et de services spécifiques à vos besoins.

En travaillant avec les systèmes informatiques et logistiques SKF, ainsi qu'avec ses experts en applications, les Distributeurs Agréés SKF, présents dans le monde entier, apportent à leurs clients un support précieux en termes de connaissances produits et applications.



Notre expertise au service de votre réussite

La gestion du cycle de vie SKF, c'est la combinaison de nos plates-formes de compétences et de nos services de pointe, appliquée à chaque étape du cycle de vie des équipements. Notre objectif est d'aider nos clients à augmenter leur rentabilité et à réduire leur impact environnemental.



Une collaboration étroite

Notre objectif est d'aider nos clients à augmenter leur productivité, à minimiser leurs besoins en maintenance, à améliorer leur rendement énergétique et leur utilisation des ressources, tout en optimisant les conceptions des machines pour une durée de service et une fiabilité maximales.



Roulements et ensembles roulements

SKF est leader mondial dans la conception, le développement et la fabrication de roulements, de rotules, d'ensembles-roulements et de paliers haute performance.

Des solutions innovantes

Les ingénieurs SKF peuvent vous aider, à chaque étape du cycle de vie de vos équipements, à améliorer les performances de vos machines. Cette approche n'est pas uniquement centrée sur les composants tels que les roulements ou les dispositifs d'étanchéité. En effet, l'application est considérée dans son intégralité afin de voir comment les composants interagissent entre eux.



Maintenance d'équipements

Les technologies et les services de maintenance préventive SKF permettent de minimiser les arrêts imprévus des machines, d'améliorer l'efficacité opérationnelle et de réduire les coûts de maintenance.



Solutions d'étanchéité

SKF propose des joints standard et des solutions d'étanchéité sur mesure pour augmenter la disponibilité et améliorer la fiabilité des machines, réduire le frottement et les pertes de puissance et prolonger la durée de vie du lubrifiant.



Mécatronique

Les systèmes SKF Fly-by-Wire avionique et Drive-by-Wire pour véhicules tout-terrain, engins agricoles et chariots élévateurs viennent remplacer les systèmes mécaniques et hydrauliques lourds, gros consommateurs de lubrifiants et d'énergie.

Optimisation et vérification de la conception

SKF peut vous aider à optimiser vos conceptions actuelles ou à venir, à l'aide d'un logiciel exclusif de modélisation 3D. Ce dernier peut également servir de banc d'essai virtuel pour confirmer la validité de la conception.



Solutions de lubrification

Des lubrifiants spécialisés aux systèmes de lubrification de pointe en passant par les services de gestion de la lubrification, les solutions de lubrification SKF vous aident à réduire les arrêts machines liés à la lubrification ainsi que la consommation de lubrifiant.

Introduction

Les roulements font partie des composants les plus importants dans la plupart des machines. Ils doivent répondre à des exigences précises relatives à la capacité de charge, l'exactitude de rotation, le niveau sonore, le frottement et l'échauffement, la durée de service et la fiabilité. Il n'est pas étonnant dès lors qu'ils aient acquis une telle importance et qu'au fil des ans de nombreuses recherches et efforts d'améliorations continues leur aient été consacrés.

La technologie des roulements est devenue un domaine de recherche scientifique à part entière. SKF a toujours été à l'avant-garde et parmi les leaders dans ce domaine. Ces efforts de recherche ont notamment permis d'atteindre une qualité de fabrication des roulements maximale et une précision extrême dans le calcul de leur durée de vie théorique, d'acquérir une connaissance pointue des applications et, au bout du compte, d'allonger la durée de service des roulements dans les machines.

Malgré une conception et une fabrication soignée et des tests approfondis sur les roulements au sein de l'application, il peut arriver parfois que les roulements n'atteignent pas leur durée de service théorique. Ces défaillances sont à l'origine de pertes financières, du fait des pertes de production, des détériorations causées aux pièces adjacentes et des coûts de réparations.

Des défaillances de roulements prématurées peuvent avoir différentes causes. Chaque défaillance laisse une empreinte spécifique sur le roulement.

Dans la plupart des cas, un simple examen du roulement détérioré ou défaillant, permet ainsi de déterminer la cause de la défaillance et de définir des actions correctives pour éviter qu'elle ne se reproduise. Cette publication présente dans les grandes lignes les défaillances de roulements et leur analyse.

Les connaissances dispensées par le biais de cette publication permettent d'évaluer des situations de défaillances simples et de mettre en œuvre une analyse correcte. Cependant, elles ne suffisent pas pour une analyse des défaillances approfondie et ne peuvent remplacer l'expérience dans ce domaine.

À propos de cette publication

Elle se compose de différents chapitres :

1 Durée de service et défaillances de roulements

La majorité des roulements durent plus longtemps que la machine dans laquelle ils sont montés. Les défaillances concernent uniquement un petit nombre.

2 Inspection et résolution de problèmes

Lorsqu'un problème survient, une inspection en fonctionnement ou à l'arrêt et une intervention immédiate peuvent aider à mieux comprendre ce qui se passe. Le thème central de la maintenance conditionnelle (identifier les détériorations de façon précoce) n'est pas abordé ici. Vous trouverez de plus amples informations à ce sujet dans le *Manuel de maintenance des roulements SKF* ou d'autres publications spécialisées.

3 Traces de fonctionnement

Une fois la détérioration détectée, un examen et une analyse du roulement sont nécessaires. L'analyse requiert de solides connaissances concernant les traces de fonctionnement.

4 Classification des modes de défaillance ISO

La terminologie et le système de classification ISO facilitent la communication relative au type de détérioration et à ses causes possibles.

5 Détériorations et mesures correctives

Un certain nombre de cas sont décrits ici avec les mesures correctives correspondantes. Toutefois, ce chapitre traite uniquement des analyses non-destructives.

6 Autres investigations

Dans des cas complexes, plusieurs méthodes destructives et plus poussées d'analyse des défaillances peuvent être mises en œuvre au sein des laboratoires SKF. Ce chapitre en offre un aperçu.

7 Études de cas

L'analyse des détériorations de roulements peut se révéler assez complexe comme nous le verrons à travers plusieurs études de cas.

8 Annexes

Les annexes A à E sous forme de tableaux fournissent des synthèses, des astuces pour la collecte d'informations sur les détériorations de roulements, ainsi qu'un glossaire qui facilite la lecture du document.

1 Durée de service et défaillances de roulements

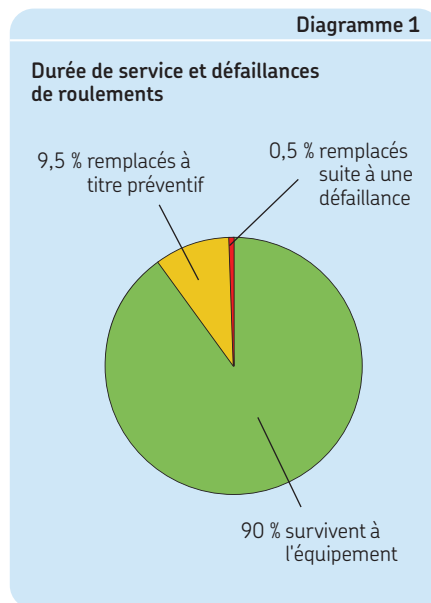
Chaque année, environ 10 milliards de roulements sont produits dans le monde. Seule une petite partie de tous les roulements utilisés présentent des défaillances (→ **diagramme 1**). Ils survivent pour la plupart (environ 90 %) à l'équipement au sein duquel ils sont installés. Une partie (9,5 %) des roulements sont remplacés avant la survenue d'une défaillance pour des raisons de sécurité (préventive). Environ 0,5 % sont remplacés suite à une défaillance ou une détérioration. Autrement dit, 50 000 000 de roulements sont remplacés chaque année en raison d'une défaillance ou d'une détérioration.

Les causes de détériorations ou de défaillance de roulements sont multiples. En règle générale :

- 1/3 des défaillances sont dues à la fatigue
- 1/3, à des problèmes de lubrification (lubrifiant et/ou quantité et/ou intervalle de relubrification inadaptés)
- 1/6, à la contamination (étanchéités inefficaces)
- 1/6, à d'autres raisons (manipulation et montage incorrects, charge supérieure ou différente par rapport à celle prévue, ajustements inappropriés)

Ces chiffres varient selon le secteur ou l'application. Dans l'industrie des pâtes et papiers, par exemple, la contamination et une lubrification inappropriée sont les principales causes de défaillance, mais pas la fatigue.

Chacune de ces causes laisse une empreinte spécifique sur le roulement ou trace (trace de fonctionnement lorsque l'élément détérioré est la piste, → *Traces de fonctionnement*, **page 32**). Par conséquent, un examen attentif du roulement détérioré permet, dans la plupart des cas, d'identifier



la cause de cette détérioration. Il est ensuite possible de mettre en œuvre des mesures correctives pour éviter que le problème se reproduise.

Prenons l'exemple d'une application avec des solutions d'étanchéité inefficaces. Si des particules de contamination pénètrent à l'intérieur du roulement malgré les joints, elles sont alors comprimées contre les pistes au passage des éléments roulants et produisent une indentation (→ **fig. 1**). Des particules dures, en particulier, peuvent laisser des empreintes aux arêtes vives. Ensuite, lorsque la zone autour d'une empreinte est soumise aux contraintes cycliques générées par le passage des éléments roulants, une fatigue en surface apparaît et des fragments métalliques se détachent de la piste. On parle alors d'écaillage. Une fois l'écaillage initié, la détérioration du roulement progresse jusqu'à ce qu'il devienne inutilisable.

Facteurs déterminants pour la durée de service des roulements

De manière générale, la durée nominale d'un roulement au sein d'une application peut être calculée à partir de la formule de durée nominale SKF, à savoir :

$$L_{nm} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

où

L_{nm} = durée nominale SKF (à 100 – n¹) % de fiabilité) [en millions de tours]

a_1 = facteur de correction de la durée relatif à la fiabilité

a_{SKF} = facteur de correction de durée SKF

C = charge dynamique de base [kN]

P = charge dynamique équivalente [kN]

p = exposant de la formule de durée

¹) Le facteur n représente la probabilité de défaillance, c'est à dire la différence entre la fiabilité requise et 100%.

Cette méthode tient non seulement compte des charges mais aussi d'autres facteurs importants comme la fiabilité, les conditions de lubrification, la contamination et la limite de fatigue.

Le fait que le roulement atteigne ou non, voire dépasse, sa durée de service théorique dépend d'un certain nombre de facteurs :

- **La qualité des roulements**

Seuls des roulements fabriqués conformément aux normes de qualité les plus strictes peuvent offrir une longue durée de service.

- **Stockage**

Un stockage correct des roulements est un aspect déterminant. Évitez de les stocker trop longtemps. Appliquez le principe du « premier arrivé, premier sorti » pour faire en sorte de toujours disposer de roulements « frais ». C'est particulièrement important pour les roulements munis de joints ou de flasques car ils sont graissés en usine, or la durée de conservation de la graisse est limitée. Gardez en outre à l'esprit que les roulements actuels offrent une durée de service nettement plus longue par rapport à ceux fabriqués il y a 10 ou 15 ans du fait des évolutions technologiques récentes.

- **Application**

Il est important d'utiliser des roulements adaptés à l'application.

- **Montage**

Les roulements ne peuvent fonctionner correctement que s'ils sont correctement montés (→ *Manuel de maintenance des roulements SKF*). Des techniques de montage inappropriées peuvent facilement détériorer des roulements et conduire à une défaillance précoce.

- **Lubrification**

Des conditions de service différentes nécessitent des lubrifiants différents appliqués à des intervalles différents. Il est par conséquent important non seulement de choisir le bon lubrifiant, mais aussi d'appliquer la bonne quantité, au bon moment et selon la bonne méthode.

- **Solution d'étanchéité**

Un joint a pour fonction de retenir le lubrifiant à l'intérieur du roulement et de faire barrage aux impuretés. Une mauvaise étanchéité de l'application peut entraîner une défaillance précoce du roulement.

Quand remplacer un roulement ?

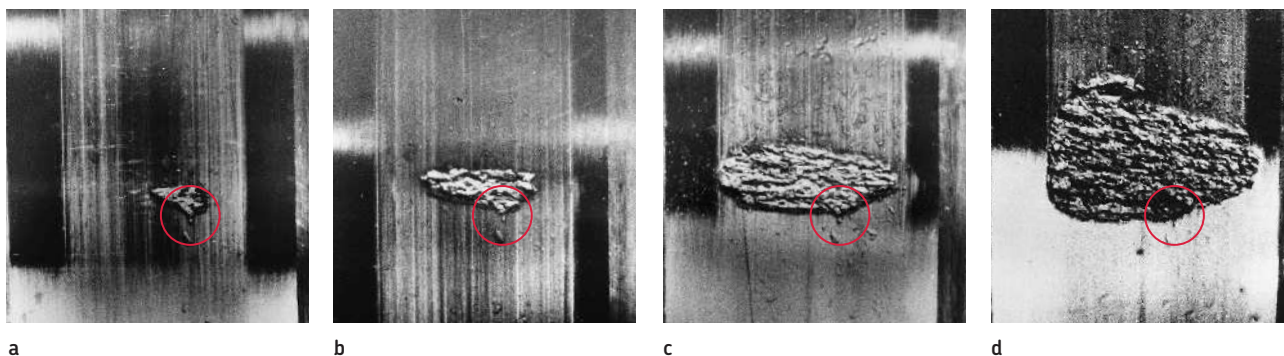
La durée entre l'apparition des premières détériorations (initiales) et le moment où le roulement est devenu inutilisable varie considérablement, d'une poignée de secondes à plusieurs mois selon la vitesse de rotation de la machine. Pour savoir quand remplacer le roulement, le mieux est de recourir à la maintenance conditionnelle (→ *Inspection et résolution de problèmes, page 10*).

L'absence de diagnostic et de remplacement d'un roulement détérioré avant la survenue d'une défaillance catastrophique peut causer des détériorations secondaires à la machine et à ses autres pièces. De plus, après une défaillance catastrophique, il est souvent difficile, voire impossible, d'en déterminer la cause racine.

Progression de la détérioration

Le passage des éléments roulants sur un contaminant dur a créé une empreinte dans la piste de la bague intérieure d'un roulement à rouleaux cylindriques (a). La fatigue initiée en surface entraîne un écaillage qui commence juste derrière l'empreinte. Au fil du temps, l'écaillage devient de plus en plus accentué (b, c). Si la machine n'avait pas été arrêtée à temps, d'autres pièces auraient probablement subi des détériorations. L'empreinte initiale n'est plus identifiable (d).

Fig. 1



2 Inspection et résolution de problèmes

Inspection en fonctionnement

La détection précoce de détériorations permet à l'utilisateur de remplacer les roulements concernés lors des interventions de maintenance planifiées et leur évite ainsi de coûteux arrêts-machines imprévus consécutifs à une défaillance de roulement. Le bruit, la température et les vibrations figurent parmi les paramètres importants pour la maintenance conditionnelle.

Les roulements usés ou détériorés présentent généralement des symptômes identifiables. Les causes possibles à rechercher sont nombreuses (→ *Résolution de problèmes*, page 12).

Cependant, pour des raisons pratiques, il n'est pas envisageable de surveiller avec des instruments sophistiqués toutes les fonctions de toutes les machines. Dans ce cas, les problèmes peuvent être détectés par le biais d'un examen visuel ou par l'écoute de la machine. Le recours aux sens humains a cependant ses limites. Parfois, lorsque la détérioration devient décelable, elle en est

Diagramme 1

Avantages offerts par une maintenance conditionnelle avancée

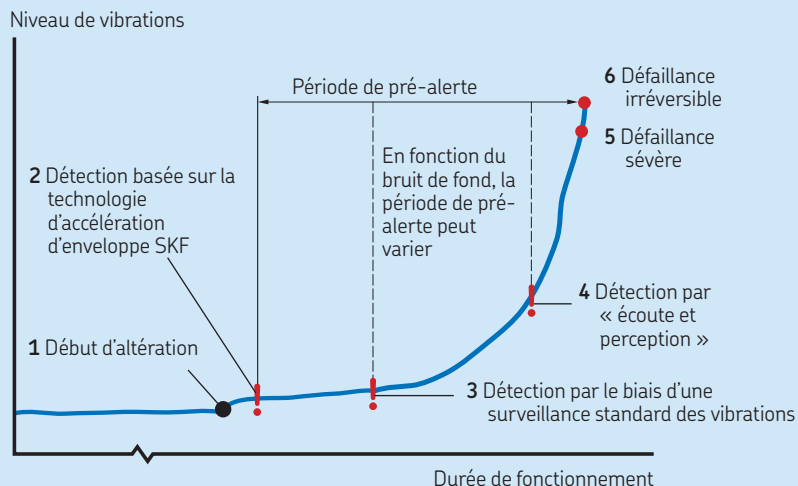


Fig. 1



déjà à un stade avancé. Avec des technologies objectives, comme l'analyse vibratoire avancée, les détériorations peuvent être détectées à un stade précoce, avant qu'elles ne deviennent problématiques (→ **diagramme 1**). Des instruments de maintenance conditionnelle professionnels combinés à la technologie SKF d'accélération d'enveloppe permettent d'allonger la période de pré-alerte.

La **Fig. 1** montre la progression de la détérioration illustrée par le **diagramme 1** :

- 1 Le roulement présente un début d'usure par abrasion.
- 2 Écaillage initial détecté grâce à la technologie SKF d'accélération d'enveloppe.
- 3 L'écaillage a atteint le stade auquel il peut être détecté dans le cadre d'une surveillance des vibrations standard.
- 4 L'écaillage avancé se traduit par des niveaux vibratoire et sonore élevés et une augmentation de la température de fonctionnement.
- 5 Le roulement est sévèrement détérioré : rupture par fatigue de la bague intérieure.
- 6 Une défaillance catastrophique se produit entraînant des détériorations secondaires causées à d'autres pièces.

Surveillance du bruit et des vibrations

Une méthode couramment employée pour identifier une détérioration ou des dommages dans un roulement repose sur l'écoute. Les roulements en bon état émettent un bruit de « ronronnement » régulier. Des bruits de broyage, de grincement et des sons irréguliers indiquent généralement un mauvais état des roulements ou une anomalie.

La surveillance des vibrations est motivée par trois constats fondamentaux :

- Toutes les machines vibrent.
- L'apparition d'une anomalie mécanique s'accompagne généralement d'une augmentation des niveaux de vibration.
- La nature du défaut peut être identifiée à partir des caractéristiques de la vibration.

Surveillance de la température

Il est important de surveiller la température de fonctionnement aux positions des roulements. En l'absence de modification des conditions de fonctionnement, une modification de la température indique souvent une défaillance imminente d'un roulement. Gardez cependant à l'esprit qu'une augmentation de la température, pendant un à deux jours, est tout à fait naturelle immédiatement après la première mise en route de la machine, ainsi qu'après chaque intervention de relubrification avec de la graisse.

Surveillance des conditions de lubrification

Les roulements ne peuvent atteindre des niveaux de performances optimaux que s'ils sont lubrifiés de façon adéquate. Les conditions de lubrification d'un roulement doivent par conséquent être étroitement surveillées. L'état du lubrifiant lui-même doit également être évalué périodiquement, par le biais d'analyses d'échantillons de préférence.

En ce qui concerne les activités d'inspection relatives à la lubrification, les recommandations générales de SKF sont les suivantes :

- Vérifiez l'absence de fuite autour des positions des roulements.
- Assurez-vous que les collerettes d'étanchéité et les joints à chicane sont garnis de graisse pour une protection maximale.
- Vérifiez que les systèmes de lubrification fonctionnent correctement et délivrent une quantité de lubrifiant adéquate aux roulements.
- Vérifiez le niveau de lubrifiant dans les carters et réservoirs et effectuez des appoints lorsque nécessaire.
- Dans le cadre d'une lubrification à la graisse, respectez le calendrier de relubrification.
- Dans le cadre d'une lubrification à l'huile, changez l'huile conformément au calendrier.
- Veillez à toujours utiliser le lubrifiant spécifié.

Inspection pendant un arrêt-machine

Lorsqu'une machine est à l'arrêt, profitez-en pour évaluer l'état des roulements, des joints, des surfaces d'appui des joints, des paliers et du lubrifiant. Une fois le couvercle ou le chapeau du palier retiré, il est souvent possible de réaliser une inspection générale. S'il s'avère qu'un roulement est détérioré, il doit être démonté et inspecté minutieusement.

L'alignement de l'arbre et de la courroie, ainsi qu'une inspection approfondie des fondations et de l'extérieur de la machine peuvent également être entrepris pendant un arrêt.

Toute anomalie, qu'il s'agisse d'une cale manquante ou de la dégradation des fondations, peut avoir un impact négatif sur les performances de la machine. Plus le problème est détecté tôt, plus l'action corrective pourra être mise en œuvre tôt. Il est beaucoup moins coûteux de remplacer des roulements et composants associés pendant un arrêt planifié que lors d'un arrêt-machine imprévu motivé par les circonstances.

Inspection des roulements

Les roulements ne sont pas toujours faciles d'accès. Toutefois, lorsque des roulements sont partiellement exposés, des contrôles visuels peuvent être effectués. Le plus pratique pour inspecter des roulements consiste à profiter des interventions de maintenance de routine.

Les recommandations générales de SKF relatives à l'inspection d'un roulement monté sont les suivantes :

Préparation

- Nettoyez la surface extérieure de la machine.
- Retirez le couvercle ou le chapeau du palier pour exposer le roulement.
- Prélevez des échantillons de lubrifiant pour les analyser.
Dans le cas d'une lubrification à l'huile, prélevez des échantillons dans le carter d'huile/réservoir. Dans le cas de roulements ouverts lubrifiés à la graisse, prélevez des échantillons en différents points à l'intérieur du roulement. Contrôlez visuellement l'état du lubrifiant. Bien souvent, il est possible de détecter des impuretés en étalant une fine feuille de papier, puis en l'examinant à la lumière.

- Nettoyez les surfaces extérieures exposées du roulement avec un chiffon non-pelucheux.

Inspection

- Vérifiez l'absence de corrosion de contact sur les surfaces extérieures exposées du roulement. Vérifiez l'absence de fissures sur les bagues du roulement.
- Dans le cas de roulements étanches, vérifiez l'absence d'usure ou de détérioration des joints.
- Si possible, faites tourner l'arbre très doucement et essayez de ressentir une éventuelle résistance irrégulière dans le roulement. Un roulement exempt de toute détérioration tourne de façon régulière.

Les roulements ouverts lubrifiés à la graisse et logés dans des paliers spécifiques, comme des paliers à semelle à joint diamétral, peuvent être soumis à une inspection sur site plus approfondie comme suit :

- Nettoyez la graisse éventuellement présente autour du roulement.
- Retirez la graisse du roulement, autant que possible, à l'aide d'un racloir non métallique.
- Nettoyez le roulement avec un solvant à base de pétrole en le pulvérisant à l'intérieur du roulement. Pendant l'opération, faites tourner très lentement l'arbre et continuez à pulvériser le solvant jusqu'à élimination de la saleté et de la graisse. Concernant les roulements de grandes dimensions dans lesquels du lubrifiant sévèrement oxydé s'est accumulé, nettoyez-les avec une solution fortement alcaline contenant jusqu'à 10% de soude caustique et 1% d'agent de mouillage.

- Séchez ensuite le roulement avec un chiffon non-pelucheux ou à l'aide d'air comprimé filtré et sec (veillez à ne pas faire tourner le roulement pendant l'opération).
- Inspectez les pistes, la(les) cage(s) et les éléments roulants à la recherche d'un écaillage, de marques, rayures, stries, zones décolorées ou polies. Si nécessaire, mesurez le jeu radial interne du roulement et vérifiez qu'il est conforme aux spécifications (pour détecter une éventuelle usure).
- Si l'état du roulement est satisfaisant, appliquez immédiatement la graisse adaptée au roulement et fermez le palier. S'il apparaît que le roulement est détérioré, démontez-le et appliquez un produit anticorrosion. Effectuez ensuite une analyse complète.

Recommandations générales

- Prenez des photos tout au long du processus d'inspection pour pouvoir documenter l'état du roulement, du lubrifiant et de la machine en général.
- Vérifiez l'état de la graisse en différents points par comparaison avec de la graisse fraîche (→ fig. 2). Conservez un échantillon représentatif de la graisse en vue d'analyses ultérieures.
- Certains roulements de moyennes et grandes dimensions peuvent tout à fait être réparés. Pour de plus amples informations, consultez le *Manuel de maintenance des roulements SKF* et la brochure *Services de réparation SKF*.

Inspection des surfaces d'appui des joints

Pour fonctionner efficacement, la lèvre d'étanchéité doit être en contact avec une surface d'appui lisse. Si la surface d'appui est usée ou détériorée, la lèvre d'étanchéité ne fonctionnera pas correctement.

Lors de l'inspection de la surface d'appui du joint, vérifiez également l'absence de corrosion. Si la corrosion est avérée mais reste légère ou modérée, utilisez du papier abrasif pour ponçage humide/sec à grain fin pour l'éliminer.

ATTENTION : Lors de la manipulation de solvants ou de solutions alcalines, respectez les règles de sécurité applicables et utilisez des équipements de sécurité.

Résolution de problèmes

Les roulements défectueux présentent généralement des symptômes identifiables. La meilleure manière d'identifier ces symptômes et de mettre en place des mesures correctives à un stade précoce consiste à établir un plan de maintenance conditionnelle à l'échelle de l'usine. En l'absence d'équipements de maintenance conditionnelle disponibles ou pratiques, les mesures décrites dans la section suivante peuvent être mises en œuvre pour identifier les symptômes les plus fréquents, leurs causes et, chaque fois que possible, des solutions pratiques pour y remédier. Selon le degré de détérioration du roulement, certains symptômes peuvent être trompeurs et, dans de nombreux cas, résultent de détériorations secondaires. Pour remédier efficacement à des problèmes de roulements, l'analyse doit porter sur les premiers symptômes observés au sein de l'application. La *Classification des modes de défaillance ISO*, **page 42** fournit des repères pour ce faire.

Symptômes courants de problèmes liés aux roulements

Les symptômes présentés par des roulements défectueux se résument généralement aux quelques catégories suivantes. Chaque symptôme est relié à plusieurs catégories de conditions qui peuvent en être à l'origine (→ **tableau 1**). À chaque condition est attribué un code numérique qui se réfère aux solutions pratiques à mettre en œuvre pour y remédier (→ **tableau 2, page 16**).

Les informations de résolution de problèmes présentées dans cette section sont données à titre uniquement informatif.



Table 1

Symptômes courants de problèmes liés aux roulements

- A Échauffement excessif → **tableau 1a**
- B Niveaux sonores excessifs → **tableau 1b**
- C Niveaux vibratoires excessifs → **tableau 1c, page 14**
- D Déplacement excessif de l'arbre → **tableau 1d, page 14**
- E Couple de frottement excessif lors de la rotation de l'arbre → **tableau 1e, page 15**

Tableau 1a

Symptôme A : Échauffement excessif

Cause possible	Code solution
Problème de lubrification	
• Quantité de lubrifiant insuffisante - trop peu de graisse ou niveau d'huile trop bas	1
• Quantité de lubrifiant excessive - trop de graisse sans possibilité d'évacuation ou niveau d'huile trop élevé	2
• Type de lubrifiant inadapté - consistance, viscosité ou additifs inappropriés	3
• Système de lubrification inadapté	4
États des joints	
• Les joints du palier sont trop serrés ou d'autres pièces entrent en contact avec les joints	5
• Multiples joints dans un montage de roulements (paliers)	6
• Défaut d'alignement des joints (paliers) externes	7
• Vitesse de fonctionnement trop élevée pour les joints frottants dans un roulement	8
• Lubrification incorrecte des joints	9
• Joints orientés dans la mauvaise direction	10
Jeu insuffisant en fonctionnement	
• Mauvais choix du jeu interne initial du roulement	11
• La dilatation du matériau de l'arbre est supérieure à celle de l'acier du roulement (acier inoxydable par ex.)	12
• Écart de température important entre l'arbre et le palier (palier nettement plus froid que l'arbre)	13
• Enfoncement excessif sur une portée conique	14
• Faux-rond de rotation de l'arbre ou du palier excessif - roulement pincé dans un palier ovale	15
• Ajustement trop serré sur l'arbre ou diamètre de la portée sur l'arbre excessif	16
• Ajustement trop serré dans le palier ou diamètre de la portée dans le palier trop petit	17
Charge du roulement inappropriée	
• Charge excessive exercée sur le roulement suite à la modification des paramètres de l'application	18
• Défaut d'alignement axial de deux unités	19
• Défaut d'alignement angulaire de deux unités	20
• Roulement installé à l'envers	21
• Déséquilibre	22
• Roulement inapproprié en position fixe	23
• Charges axiales induites excessives	24
• Charge insuffisante	25
• Précharge excessive	26

Tableau 1b

Symptôme B : Niveaux sonores excessifs

Cause possible	Code solution
Contact métal contre métal	
• Manque de lubrifiant	1
• Film d'huile trop mince pour les conditions de service	3
• Glissement (patinage) des éléments roulants	25
Contamination	
• Empreintes dans les pistes et/ou sur les éléments roulants causées par des contaminants solides qui après avoir pénétré dans le roulement ont été comprimés par les éléments roulants	27
• Particules dures laissées dans le palier à l'issue de la fabrication ou suite à des défaillances antérieures du roulement	28
• Diminution de la viscosité du lubrifiant due à des contaminants liquides	29
Ajustements trop libres	
• Roulage de la bague intérieure sur l'arbre	30
• Roulage de la bague extérieure dans le palier	31
• Desserrement de l'écrou de serrage sur l'arbre ou sur le manchon	32
• Le roulement n'est pas solidement serré contre les éléments d'ajustement	33
• Jeu radial/axial excessif à l'intérieur du roulement	34
Altération de la surface	
• Usure par abrasion due à une lubrification inefficace	1, 2, 3, 4
• Détérioration par micro-grippage due au glissement des éléments roulants	25
• Empreintes dans les pistes et/ou sur les éléments roulants causées par des contaminants solides	27
• Empreintes dans les pistes et/ou sur les éléments roulants causées par des impacts ou charges avec chocs	35
• Marques de faux effet Brinell dans les pistes et/ou sur les éléments roulants causées par des vibrations statiques	36
• Écaillage des pistes et/ou des éléments roulants dû à la fatigue du matériau	37
• Écaillage des pistes et/ou des éléments roulants dû à la fatigue initiée en surface	38
• Attaque statique sur les pistes et/ou éléments roulants par des contaminants chimiques/liquides	39
• (Micro)-écaillage des pistes et/ou éléments roulants dû à l'humidité ou à des courants électriques dommageables	40
• Cannelures dans les pistes et/ou sur les éléments roulants dues au passage d'un courant électrique dommageable	41
Frottement	
• Mauvaise installation des joints de palier	7
• Montage incorrect du manchon de serrage ou de démontage	32
• Serrage incorrect des bagues-entretoises	33
• Languettes de la rondelle-frein recourbées	42

Tableau 1c

Symptôme C : Niveaux de vibration excessifs

Cause possible	Code solution
Contact métal contre métal	
• Glissement (patinage) des éléments roulants	25
Contamination	
• Empreintes dans les pistes et/ou sur les éléments roulants causées par des contaminants solides qui après avoir pénétré dans le roulement ont été comprimés par les éléments roulants	27
• Particules dures laissées dans le palier à l'issue de la fabrication ou suite à des défaillances antérieures du roulement	28
Ajustements trop libres	
• Roulage de la bague intérieure sur l'arbre	30
• Roulage de la bague extérieure dans le palier	31
Altération de la surface	
• Usure due à une lubrification inefficace	1, 2, 3, 4
• Détérioration par micro-grippage due au glissement des éléments roulants	25
• Empreintes dans les pistes et/ou sur les éléments roulants causées par des contaminants solides	27
• Empreintes dans les pistes et/ou sur les éléments roulants causées par des impacts ou charges avec chocs	35
• Marques de faux effet Brinell dans les pistes et/ou sur les éléments roulants causées par des vibrations statiques	36
• Écaillage des pistes et/ou des éléments roulants dû à la fatigue du matériau	37
• Écaillage des pistes et/ou des éléments roulants dû à la fatigue initiée en surface	38
• Attaque statique sur les pistes et/ou éléments roulants par des contaminants chimiques/liquides	39
• (Micro)-écaillage des pistes et/ou éléments roulants dû à l'humidité ou à des courants électriques dommageables	40
• Cannelures dans les pistes et/ou sur les éléments roulants dues au passage d'un courant électrique dommageable	41

Tableau 1d

Symptôme D : Déplacement excessif de l'arbre

Cause possible	Code solution
Desserrement	
• Serrage insuffisant de la bague intérieure sur l'arbre	30
• Serrage très insuffisant de la bague extérieure dans le palier	31
• Serrage incorrect du roulement sur l'arbre ou dans le palier	32
Altération de la surface	
• Usure due à une lubrification inefficace	1, 2, 3, 4
• Écaillage des pistes et/ou des éléments roulants dû à la fatigue	37
• Écaillage des pistes et/ou des éléments roulants dû à la fatigue initiée en surface	38
Jeu interne incorrect du roulement	
• Le jeu du roulement installé n'est pas approprié	11
• Serrage incorrect du roulement sur l'arbre ou dans le palier, jeu axial excessif	33

Tableau 1e

Symptôme E : Couple de frottement excessif lors de la rotation de l'arbre

Cause possible	Code solution
Roulement préchargé	
• Mauvais choix du jeu pour le roulement de remplacement	11
• Dilatation du matériau de l'arbre supérieure à celle de l'acier du roulement (acier inoxydable par ex.)	12
• Écart de température important entre l'arbre et le palier	13
• Enfoncement excessif sur une portée conique	14
• Faux-rond de rotation de l'arbre ou du palier excessif – roulement pincé	15
• Ajustements trop serrés sur l'arbre et/ou dans le palier	16, 17
• Précharge excessive – montage (précharge) incorrect	26
Résistance au roulement du joint	
• Les joints du palier sont trop serrés ou d'autres pièces entrent en contact avec les joints	5
• Multiples joints dans un montage de roulements (paliers)	6
• Défaut d'alignement des joints externes (palier)	7
• Lubrification incorrecte des joints	9
Altération de la surface	
• Écaillage des pistes et/ou des éléments roulants dû à la fatigue	37
• Écaillage des pistes et/ou des éléments roulants dû à la fatigue initiée en surface	38
• Cannelures dans les pistes et/ou sur les éléments roulants dues au passage d'un courant électrique dommageable	41
Modèle	
• Défaut de perpendicularité des épaulements de l'arbre et/ou du palier par rapport à la portée du roulement	43
• Contact entre l'épaulement de l'arbre, trop grand, et les joints/flasques	44

Anomalies et solutions

Le **tableau 2, page 16**, indique des solutions pratiques aux symptômes courants des problèmes de roulements.

ATTENTION !

Pour réduire les risques de blessures graves, appliquez les procédures de verrouillage/étiquetage requises avant toute intervention.

ATTENTION : Le contact direct avec des produits dérivés du pétrole peut entraîner des réactions allergiques !

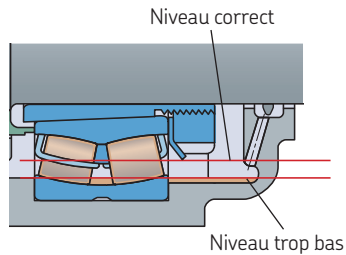
Lisez attentivement les fiches de données de sécurité des matériaux et toutes les instructions et mises en garde avant de manipuler des lubrifiants. Utilisez en permanence des gants de protection.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

1



Manque de lubrifiant

Lubrification à la graisse

Éléments à prendre en compte lors du premier garnissage ou lors de la première mise en route :

- La graisse doit garnir 100% du roulement et arriver jusqu'au bas de l'arbre dans le palier (1/3 à 1/2).
- Si la cavité du palier le long du roulement est trop petite, la quantité de graisse peut être réduite légèrement pour éviter tout échauffement excessif dû au pétrissage.

Opérations à effectuer en fonctionnement :

- Contrôlez les joints d'étanchéité à la recherche d'usure, de détérioration et de fuites.

Opérations à effectuer pendant la relubrification :

- Vérifiez que l'intervalle de relubrification est adapté (pas trop long.)
- Vérifiez que la graisse neuve pénètre dans le roulement.

Lubrification par bain d'huile

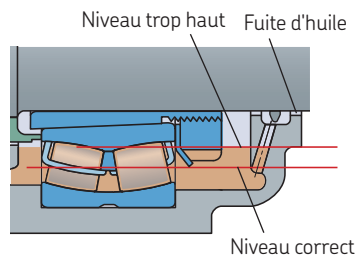
Élément à prendre en compte lors du premier garnissage, de la relubrification ou d'un arrêt :

- À l'arrêt, le niveau du bain d'huile doit correspondre à la mi-hauteur de l'élément roulant le plus bas.

Opérations à effectuer en fonctionnement :

- Vérifiez que le palier est correctement ventilé pour éviter toute contre-pression susceptible d'entraîner un dysfonctionnement des systèmes de lubrification automatiques.
- Contrôlez les joints d'étanchéité à la recherche d'usure, de détérioration et de fuites.
- Contrôlez le plan de joint diamétral du palier à la recherche de fuites éventuelles et appliquez une fine couche de produit d'étanchéité si besoin.

2



Trop de lubrifiant

Une quantité de lubrifiant excessive peut entraîner une action de pétrissage également excessive et, par conséquent, un dégagement de chaleur.

Lubrification à la graisse

Éléments à prendre en compte lors du premier garnissage ou de la première mise en route :

- La graisse doit garnir 100% du roulement et arriver jusqu'au bas de l'arbre dans le palier (1/3 à 1/2).
- Si la cavité du palier le long du roulement est trop petite, la quantité de graisse peut être réduite légèrement pour éviter tout échauffement excessif dû au pétrissage.

Opérations à effectuer en fonctionnement :

- Vérifiez si l'évacuation de la graisse est possible, à travers soit les joints, soit un bouchon de vidange. Une soupape à graisse peut constituer une bonne solution pour éviter l'application de graisse en excès.
- Vérifiez que les joints sont correctement orientés, de manière à permettre l'évacuation de l'excès de lubrifiant tout en évitant la pénétration de contaminants.
- Assurez-vous que l'intervalle de relubrification n'est pas trop court.
- Assurez-vous d'appliquer la bonne quantité de lubrifiant.

Lubrification par bain d'huile

Actions :

- Vérifiez qu'à l'arrêt le niveau du bain d'huile correspond à la mi-hauteur de l'élément roulant le plus bas.
- Vérifiez que les trous de retour de l'huile ne sont pas obstrués.
- L'installation d'un niveau d'huile sur tous les paliers est un moyen simple et rapide de vérifier le niveau d'huile dans les paliers.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

3



Le mauvais lubrifiant

Actions :

- Passez l'application en revue pour déterminer la viscosité de l'huile de base (graisse, huile) et la consistance (graisse) adéquates selon les conditions de fonctionnement spécifiques à l'application.
- Le contact métal contre métal peut conduire à un échauffement excessif et une usure prématurée et se traduire, au bout du compte, par une augmentation des niveaux sonores.
- Vérifiez la miscibilité après un changement de type d'huile ou de graisse.
- Vérifiez la consistance de la graisse.
- Vérifiez la viscosité en fonctionnement.

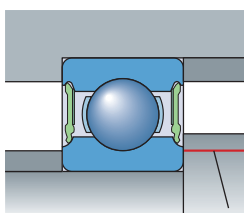
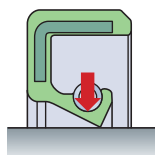
4

Le mauvais système de lubrification

Actions :

- Contrôlez la vitesse de fonctionnement et mesurez la température de fonctionnement.
- Déterminez si le système de lubrification utilisé est adapté.
- Le passage de la graisse à l'huile peut apporter une solution simple.
- Le passage d'une lubrification par bain d'huile à une lubrification par circulation d'huile peut également être une solution.
- L'ajout d'un refroidisseur auxiliaire à un système de lubrification existant peut en outre permettre d'éviter de nombreux problèmes liés à l'échauffement.
- Contactez SKF ou le fabricant de l'équipement pour plus de détails sur des solutions adaptées à vos besoins spécifiques.
- Consultez les valeurs des vitesses de base indiquées dans le manuel du fabricant. Les valeurs SKF des vitesses de référence et limites sont disponibles en ligne à l'adresse www.skf.com/bearings.

5



Hauteur correcte

Joints de palier trop serrés

Actions :

- Remplacez le joint par un autre joint de tension adéquate. Une autre alternative consiste à usiner l'arbre de manière à obtenir une tension correcte du joint à ressort existant.
- Vérifiez que les joints sont correctement lubrifiés.
- Vérifiez l'usure des lèvres d'étanchéité.
- Les joints en feutre doivent être trempés, avant l'installation, dans de l'huile chaude.

D'autres pièces entrent en contact avec les joints de roulement.

Action :

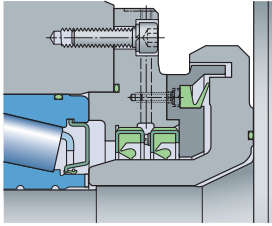
- Vérifiez les pièces adjacentes aux joints :
 - hauteurs des épaulements d'appui (→ www.skf.com/bearings)
 - capacité à supporter un déplacement axial en cas de dilatation de l'arbre

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

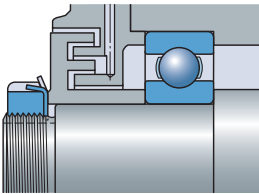
6

 **multiples joints dans un montage de roulements (paliers)**

Éléments à prendre en compte :

- Si plusieurs joints frottants sont utilisés pour assurer l'exclusion des contaminants, le frottement et le dégagement de chaleur auront tendance à augmenter.
- Avant d'ajouter des joints à une application, tenez compte des effets sur la température du roulement et du lubrifiant.
- La puissance supplémentaire nécessaire pour faire tourner l'équipement doit également être prise en compte.

7

 **Défaut d'alignement des joints externes (palier)**

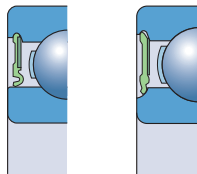
Éléments à prendre en compte lors de l'assemblage :

- Le moindre défaut d'alignement de l'arbre par rapport au palier ou au joint de palier peut entraîner un frottement exercé par un joint non frottant ou un joint par passage étroit. Cela peut conduire à des températures élevées, une augmentation des niveaux sonores et une accélération de l'usure lors de la période de rodage. L'intégrité de l'étanchéité peut être compromise.

Actions :

- Contrôlez l'alignement et corrigez si nécessaire.
- Si le défaut d'alignement est inévitable, il peut être nécessaire d'augmenter le jeu ou les espaces entre les joints extérieurs.

8



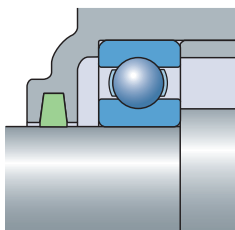
Joints frottants

 Vitesse de fonctionnement trop élevée pour les joints frottants dans le roulement

Éléments à prendre en compte :

- Les lèvres d'étanchéité sont caractérisées par une vitesse limite. Le dépassement de cette limite peut être à l'origine de détériorations causées à la lèvre et de fuites de graisse.
- En cas d'augmentation de la vitesse de fonctionnement ou de remplacement par un roulement muni d'un joint différent, assurez-vous que le joint du roulement est compatible avec la vitesse.
- Des joints frottants génèrent un échauffement supérieur par rapport à des roulements avec joints à faible frottement, flasques ou ouverts.

9

 **Lubrification incorrecte des joints**

Éléments à prendre en compte :

- Les joints frottants fonctionnant à sec peuvent augmenter nettement la température dans le système.

Action à mettre en œuvre pendant l'assemblage :

- Assurez-vous que les joints sont correctement lubrifiés lors de la mise en route d'un équipement neuf ou remis en état.
(Les joints en feutre doivent être trempés, avant l'installation, dans de l'huile chaude.)

Opérations à effectuer en fonctionnement :

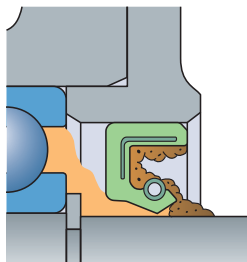
- Normalement, le lubrifiant contenu dans le palier doit être repoussé vers les joints et les lubrifier de façon automatique.
- Des joints correctement lubrifiés génèrent un échauffement moindre et assurent une étanchéité efficace car les espaces entre les contacts sont garnis de lubrifiant et agissent comme autant de barrières.
- Une lubrification appropriée réduit en outre l'usure prématurée des joints.
- Vérifiez l'absence d'usure ou de détérioration des joints.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

10



Joints orientés dans la mauvaise direction, ce qui ne permet pas l'évacuation de la graisse.

Éléments à prendre en compte lors de l'assemblage :

- Selon l'application, les joints frottants peuvent nécessiter d'être orientés dans une direction spécifique pour permettre l'évacuation du lubrifiant et éviter les fuites.

Action :

- Vérifiez les schémas de l'application ou contactez le fabricant de l'équipement pour déterminer l'orientation qui convient.

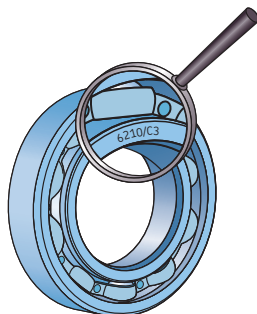
Éléments à prendre en compte pendant le fonctionnement :

- En général, des lèvres d'étanchéité orientées vers l'extérieur permettent l'évacuation du lubrifiant en excès et empêchent la pénétration de contaminants.

Action :

- Les joints doivent être orientés correctement pour retenir la graisse à l'intérieur du roulement et faire barrage aux contaminants.

11

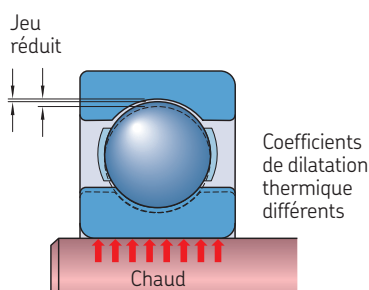


Mauvais choix du jeu interne initial du roulement

Action :

- Consultez l'emballage pour vous assurer que le jeu interne du nouveau roulement est conforme aux spécifications d'origine.
- Si après un changement de roulement un échauffement est observé et si un jeu supérieur est nécessaire pour l'application, contactez le service Applications Techniques SKF pour connaître les effets d'un jeu supérieur sur l'équipement, ainsi que sur le roulement.
- Vérifiez toutes les dimensions car l'usure des pièces peut influencer sur le jeu du roulement.

12



La dilatation des matériaux de l'arbre et du logement est supérieure à celle de l'acier du roulement

Éléments à prendre en compte en cas de modification de la conception ou de réparation :

- Dans certains cas, un changement de matériau de l'arbre et du palier est effectué : par exemple, un arbre en acier inoxydable pour des raisons de conformité à la réglementation sur les produits alimentaires ou un palier en aluminium pour réduire le poids de l'équipement.
- Si le matériau de l'arbre présente un coefficient de dilatation thermique supérieur à celui de l'acier du roulement, le jeu radial interne s'en trouve à nouveau réduit. Ainsi, avec certains arbres en aciers inoxydables (série 300), il convient d'opter soit pour un ajustement sur l'arbre légèrement moins serré soit pour un roulement de jeu radial interne supérieur, C3 au lieu de CN ou C4 au lieu de C3 par exemple.
- Si le palier utilisé est fabriqué dans un matériau dont le coefficient de dilatation thermique est supérieur à celui de l'acier, comme l'aluminium par exemple, un jeu radial légèrement inférieur peut être nécessaire pour éviter que la bague extérieure ne roule sur sa portée dans le palier.

Action :

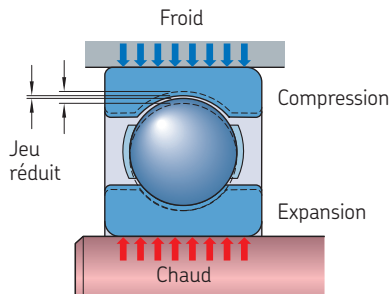
- Dans les deux cas, il peut être nécessaire d'étudier les effets du nouveau matériau d'arbre ou de palier sur le jeu interne du roulement et de remplacer le roulement.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

13



Écart de température important entre l'arbre et le palier

Éléments à prendre en compte lors de la conception :

- Du fait de la conception des montages de roulements, la température de la bague intérieure est supérieure à celle de la bague extérieure. Par exemple, dans un moteur électrique, l'arbre est relativement chaud, ce qui entraîne la dilatation de la bague intérieure. Le carter du moteur qui contient les bagues extérieures des roulements présente une surface relativement étendue qui favorise la dissipation de la chaleur et accentue ainsi l'écart thermique.

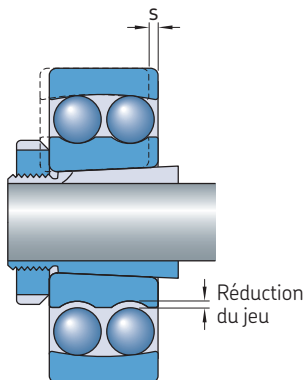
Éléments à prendre en compte pendant le fonctionnement :

- Un écart de température important entre l'arbre et le palier a pour effet de réduire le jeu interne du roulement. Cette réduction du jeu interne peut conduire à un jeu insuffisant ou une précharge régulière et, par conséquent, des températures en fonctionnement élevées.

Actions :

- Vérifiez les températures de l'arbre et du palier au plus près du roulement.
- Si cela est justifié, sélectionnez un roulement avec un jeu interne supérieur pour ne pas avoir à appliquer une précharge, C3 au lieu de CN, C4 au lieu de C3, etc.

14



Enfoncement excessif sur une portée conique

Éléments à prendre en compte pendant le montage :

- Le montage d'un roulement à alésage conique sur une portée (arbre ou manchon) conique réduit le jeu radial interne dans le roulement.

Éléments à prendre en compte pendant le fonctionnement :

- Un enfoncement axial « s » excessif se traduit par un jeu interne insuffisant ou une précharge régulière. Il en résulte une augmentation des températures de fonctionnement.
- Un enfoncement « s » excessif peut se traduire par des contraintes circonférentielles trop élevées dans le roulement avec pour conséquence une fissuration de la bague intérieure.

Actions :

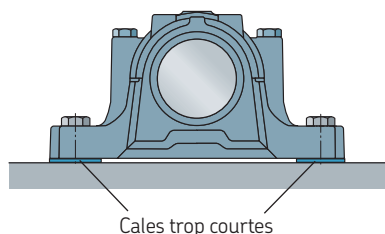
- Roulements à rotule sur billes : À l'issue du montage sur l'arbre, vérifiez que la bague extérieure peut pivoter facilement. Dans le cas contraire, démontez le roulement et reprenez la procédure de montage depuis le début.
- Roulements à rotule sur rouleaux et roulements à rouleaux toroïdaux CARB : Comparez le jeu après montage au jeu initial du roulement (→ catalogue *Roulements SKF* ou *Manuel de maintenance des roulements SKF*) pour les valeurs maximales de réduction du jeu. Si le jeu s'avère insuffisant, démontez le roulement et reprenez la procédure de montage depuis le début.
- Pour le montage, appliquez la méthode par enfoncement axial SKF ou la méthode de l'angle de serrage, pour les roulements à rotule sur billes, ou encore la méthode de réduction du jeu pour les roulements à rotule sur rouleaux et roulements à rouleaux toroïdaux CARB. La méthode par enfoncement axial SKF, qui a largement fait ses preuves, offre une manière simple d'atteindre le jeu de fonctionnement correct sans utiliser de lames calibrées. Pour les roulements de très grandes dimensions, utilisez SensorMount.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

15



La portée du roulement présente un défaut de circularité

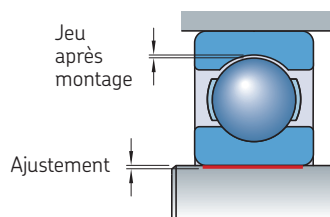
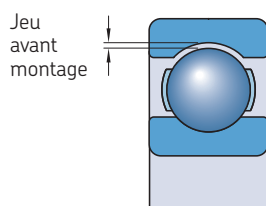
Éléments à prendre en compte pendant le fonctionnement :

- Une bague extérieure de roulement dans un palier déformé ou présentant un défaut de circularité (ovalisation/compression) se traduit par une diminution du jeu ou une précharge et une augmentation de la température de fonctionnement.
- Il en résulte souvent deux zones de charge distinctes distantes de 180° sur la bague extérieure.
- L'ovalisation (compression) peut en outre restreindre le déplacement axial du roulement en position libre et induire des charges axiales élevées.

Actions :

- Vérifiez que la surface d'appui est plane pour éviter tout problème de pied mou. Si des cales sont utilisées, le palier doit être supporté sur toute sa base.
- Vérifiez que la surface d'appui du palier est suffisamment rigide pour éviter toute flexion.
- Vérifiez la circularité des portées sur l'arbre et dans le palier (ovalité). Réparez si besoin.

16



Ajustement trop serré sur l'arbre ou diamètre de la portée sur l'arbre excessif

Éléments à prendre en compte lors de la conception :

- Un ajustement serré entre la bague intérieure du roulement et la portée sur l'arbre est souvent requis mais entraîne une dilatation de la bague intérieure et réduit le jeu interne dans le roulement.
- Si l'ajustement est trop serré, le jeu de fonctionnement dans le roulement risque d'être insuffisant ou de se traduire par une précharge régulière. Le roulement sera alors en surchauffe.

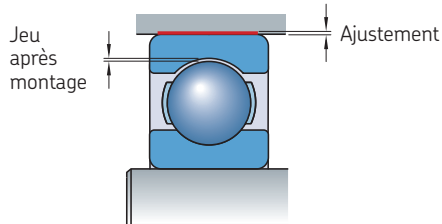
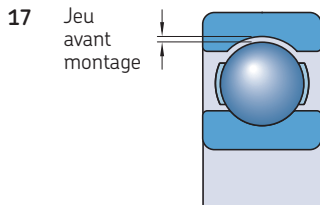
Actions :

- Vérifiez que le jeu interne du roulement installé est correct.
- Dans le cas d'un arbre neuf ou réparé, vérifiez soigneusement les dimensions de la portée de roulement et son exactitude de forme.
- Avant de prendre des mesures correctives, vérifiez les dimensions de l'alésage du palier.
- Si toutes les dimensions sont conformes aux spécifications, un roulement au jeu interne supérieur peut être requis.
- Il convient de noter qu'un ajustement serré sur l'arbre et dans le palier risque de se traduire par un jeu en fonctionnement insuffisant.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

**Ajustement trop serré dans le palier ou diamètre de la portée dans le palier trop petit**

Éléments à prendre en compte lors de la conception :

- Un ajustement serré entre la bague extérieure du roulement et la portée dans le palier peut être nécessaire mais entraîne une compression de la bague extérieure et réduit le jeu interne dans le roulement.
- Si l'ajustement est trop serré, le jeu de fonctionnement dans le roulement risque d'être insuffisant ou une précharge régulière est possible. Le roulement sera alors en surchauffe.

Actions :

- Vérifiez que le jeu interne du roulement installé est correct.
- Dans le cas d'un palier neuf ou réparé, vérifiez soigneusement les dimensions de la portée de roulement et son exactitude de forme. Rectifiez la portée dans le palier pour obtenir l'ajustement approprié. Si cela n'est pas possible, utilisez un roulement au jeu interne supérieur.
- Il convient de noter qu'un ajustement serré sur l'arbre et dans le palier risque de se traduire par un jeu de fonctionnement insuffisant.
- Dans un montage avec une charge tournante sur la bague intérieure, un roulement « libre » risque de devenir fixe sous l'effet d'un ajustement serré dans le palier, ce qui induira une charge axiale et une chaleur excessive.

18

Charge excessive exercée sur le roulement suite à la modification des paramètres de l'application

Éléments à prendre en compte en cas de modification de la conception ou de réparation :

- L'augmentation des charges externes exercées sur un roulement entraîne une augmentation de la température dans le roulement.
- Des charges supérieures réduisent la durée de service du roulement.
- Par conséquent, en cas de modification de la conception, passez en revue les charges pour vérifier qu'elles n'ont pas augmenté.

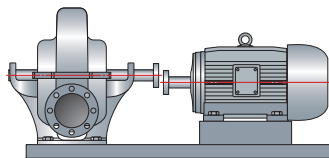
Exemples :

- Accouplement remplacé par un entraînement par courroie.
- Accouplement remplacé par une poulie.
- Augmentation de la vitesse d'un équipement.

Action :

- Toute modification des performances d'un équipement doit être apportée en concertation avec le fabricant de ce dernier.

19

**Défaut d'alignement axial de deux unités**

Éléments à prendre en compte lors de l'assemblage :

- Les deux paliers ne sont pas alignés (verticalement ou horizontalement).
- Il en résulte des charges supplémentaires sur les roulements et les joints qui ont pour effet d'augmenter le frottement et la température et de réduire la durée de service des roulements, des étanchéités et du lubrifiant.

Action :

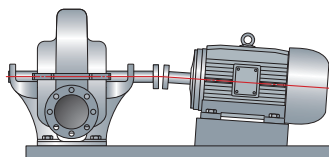
- Alignez les paliers en utilisant le matériel approprié et des cales pour corriger l'alignement vertical.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

20



Défaut d'alignement angulaire de deux unités

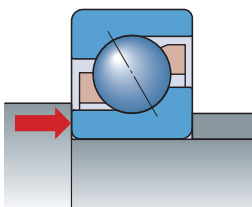
Éléments à prendre en compte lors de l'assemblage :

- Les deux surfaces d'appui ne sont pas alignées ; elles forment un angle.
- Il en résulte des charges supplémentaires sur les roulements et les joints qui ont pour effet d'augmenter le frottement et la température et de réduire la durée de service des roulements, des étanchéités et du lubrifiant.

Action :

- Alignez les paliers en utilisant le matériel approprié et des cales.

21



Une installation à l'envers entraîne la décharge des roulements à billes à contact oblique

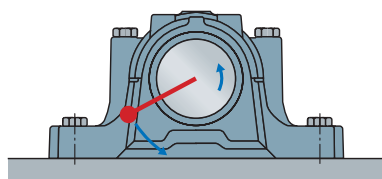
Éléments à prendre en compte lors de l'assemblage :

- Des roulements directionnels doivent être installés dans la bonne direction pour fonctionner correctement.
- Par exemple : Les roulements à billes à contact oblique à une rangée admettent des charges axiales dans un sens uniquement. S'ils sont installés à l'envers, la charge axiale sera supportée par l'épaulement inférieur de la bague intérieure, ce qui risque de détériorer le roulement, tout en augmentant la température de service et d'entraîner, par conséquent, une défaillance prématurée du roulement.

Action :

- Lors du montage/assemblage, vérifiez que la charge axiale est supportée par l'épaulement « du haut ».

22



Déséquilibre

Éléments à prendre en compte pendant le fonctionnement :

- Un balourd peut induire une charge tournante exercée sur la bague extérieure avec pour conséquence une augmentation significative du dégagement de chaleur et une charge accrue sur le roulement.

Actions :

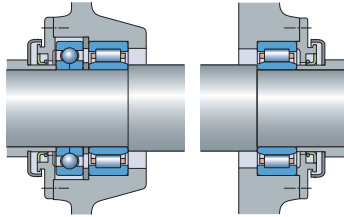
- Inspectez le rotor à la recherche de saleté/contamination accumulée.
- Rééquilibrez l'équipement.
- Il convient de noter qu'une portée trop grande dans le palier risque en outre de provoquer des vibrations et un roulage de la bague extérieure.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

23

**Le roulement en position fixe (radiale) n'est pas le bon**

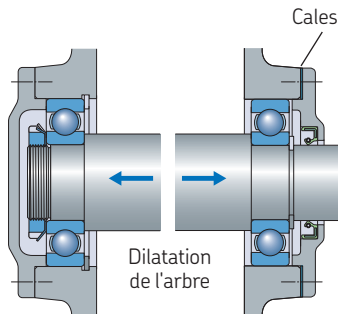
Éléments à prendre en compte lors de la conception ou de l'assemblage :

- Dans certaines applications, le montage de roulements comprend un roulement radial et une butée en position fixe.
- Si le roulement radial est fixé axialement, il sera soumis à des charges axiales entraînant des charges combinées trop lourdes. Ces conditions peuvent conduire à des températures excessives et à une défaillance prématurée des roulements.
- Si le roulement axial est fixé radialement, il sera soumis à des charges radiales entraînant des charges combinées (trop) élevées. Ces conditions peuvent conduire à des températures excessives et à une défaillance prématurée des roulements.

Action :

- Assurez-vous que le roulement radial est déchargé axialement et que la butée est déchargée radialement. Pour empêcher la bague extérieure de la butée de rouler, un dispositif d'arrêt doit être mis en place, comme par exemple, l'utilisation d'un roulement à billes à quatre points de contact qui est généralement pourvu d'encoches d'arrêt en rotation dans la bague extérieure.

24

**Les roulements sont montés en opposition et l'arbre ne peut plus se dilater**

Éléments à prendre en compte lors de la conception ou de l'assemblage :

- Lorsque les roulements sont montés en opposition et que la dilatation de l'arbre est restreinte, des charges axiales internes sont induites dans les deux roulements.
- Ces charges peuvent se traduire par des températures de service excessives et un couple de frottement accru.
- Elles peuvent être élevées et provoquer un écaillage de fatigue prématuré.

Actions :

- Insérez des cales entre le palier et le couvercle pour obtenir le jeu approprié entre le couvercle et la face latérale de la bague extérieure et éviter ainsi une précharge axiale dans les roulements.
- Le calcul de la dilatation de l'arbre attendue peut permettre de déterminer le jeu requis entre la face latérale de la bague extérieure du roulement et le couvercle du palier.

25

**Grippage dû au glissement (patinage) des éléments roulants insuffisamment chargés**

Éléments à prendre en compte lors de la conception :

- Pour un fonctionnement satisfaisant et pour éviter tout grippage, les roulements à billes et à rouleaux doivent toujours être soumis à une charge minimale donnée (→ www.skf.com/bearings).
- Si ces exigences de charge minimale ne sont pas remplies, un glissement (patinage) peut se produire. Il en résulte un échauffement et un niveau sonore excessifs. Des graisses extrêmement dures peuvent favoriser ce phénomène, en particulier dans des environnements très froids.

Actions :

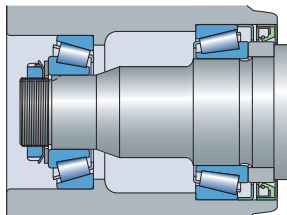
- Des charges externes supplémentaires peuvent être appliquées, au moyen par exemple de dispositifs à ressort externes appliqués sur les faces latérales de la bague extérieure.
- Il est également possible d'utiliser un roulement avec un jeu interne différent ou de changer de type de roulement.
- Une autre possibilité consiste à utiliser des roulements de plus petites dimensions.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

26

**Le réglage du roulement se traduit par une précharge excessive**

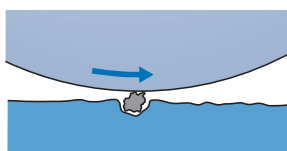
Éléments à prendre en compte pendant le montage ou l'assemblage :

- Lors du réglage du jeu axial ou de la précharge dans un montage de roulements, un serrage excessif de l'élément de serrage (écrou) peut générer une précharge et des températures de fonctionnement excessives.
- Une précharge excessive aura en outre pour effet d'augmenter le couple de frottement dans les roulements.
Exemple : montage de roulements à rouleaux coniques ou à billes à contact oblique avec un roulement à chaque extrémité de l'arbre.

Actions :

- Consultez le fabricant de l'équipement concernant les procédures de montage appropriées pour régler le jeu axial ou la précharge dans l'équipement.
- Utilisez un comparateur pour mesurer le déplacement axial de l'arbre (pendant et) après réglage.

27

**Des contaminants solides pénètrent dans le roulement et entraînent une indentation des surfaces de roulement**

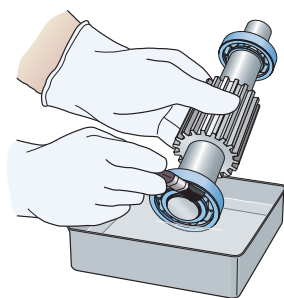
Éléments à prendre en compte pendant le fonctionnement :

- Des contaminants peuvent détériorer les surfaces de contact du roulement, augmentant de ce fait les niveaux sonores et vibratoires. Dans certains cas, les températures peuvent également augmenter.

Actions :

- Procédez aux vérifications suivantes concernant le dispositif d'étanchéité :
 - Le joint utilisé est adapté.
 - Le joint a été correctement installé.
 - Le joint n'est pas usé, ni détérioré, et qu'il n'y a pas de fuite de lubrifiant.
- Il peut être nécessaire de raccourcir l'intervalle de relubrification. L'apport de graisse fraîche plus fréquent en quantités plus petites peut aider à évacuer la graisse usagée de la cavité du roulement/palier.
- Étudiez la possibilité de remplacer des roulements ouverts par des roulements étanches.

28

**Particules dures laissées dans le palier à l'issue de la fabrication ou suite à des défaillances antérieures du roulement**

Éléments à prendre en compte lors du nettoyage ou de l'assemblage et remarques relatives à la propreté du lubrifiant :

- Une indentation des surfaces de contact du roulement peut se produire lorsqu'il reste des particules dures dans le palier suite à une défaillance précédente, à l'usure d'autres pièces comme des roues dentées ou à du lubrifiant contaminé.
- Elle a pour effet d'augmenter la température et les niveaux sonore et vibratoire.

Actions :

- Éliminez toutes les bavures et vérifiez que toutes les surfaces usinées sont lisses.
- Nettoyez soigneusement le palier et toutes les pièces à l'intérieur de ce dernier avant de monter un roulement neuf.
- Vérifiez que le lubrifiant appliqué est propre et exempt de contaminants. (Les récipients de graisse doivent être fermés et stockés de manière adéquate.)

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

29

**Diminution de la viscosité du lubrifiant due à des contaminants liquides**

Éléments à prendre en compte lors de l'assemblage et remarques relatives à la lubrification et à l'étanchéité :

- La présence de contaminants liquides entraîne une diminution de la viscosité du lubrifiant et, par conséquent, un risque de contact métal contre métal.
- L'autre conséquence possible est la formation de rouille sur les surfaces de contact du roulement.
- Ces conditions favorisent une augmentation de la température, de l'usure et des niveaux sonores.

Actions :

- Vérifiez l'efficacité des joints de palier contre la pénétration de contaminants liquides. Vous pouvez également envisager d'utiliser des roulements étanches.
- Il peut être nécessaire de raccourcir l'intervalle de relubrification. L'apport de graisse fraîche plus fréquent en quantités plus petites peut aider à évacuer la graisse usagée de la cavité du roulement/palier.

30

**La bague intérieure roule sur sa portée sur l'arbre**

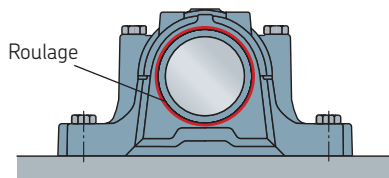
Remarques concernant les ajustements ou le roulage :

- La plupart des applications intègrent un arbre tournant avec une charge unidirectionnelle. Cette charge tournante sur la bague intérieure exige un ajustement serré sur l'arbre pour empêcher tout mouvement relatif. Un ajustement correct des roulements est déterminant pour leur bon fonctionnement.
- Cependant, une bague intérieure peut rouler sur sa portée sur l'arbre si cette dernière est trop petite ou usée.
- Il en résulte une augmentation des niveaux sonore et vibratoire, ainsi qu'une usure.

Action :

- Métallisez et rectifiez la portée sur l'arbre aux dimensions appropriées.

31

**La bague extérieure roule sur sa portée dans le palier**

Portée usée ou surdimensionnée

Remarques concernant les ajustements ou le roulage :

- La plupart des applications intègrent un palier fixe avec une charge unidirectionnelle. Dans ces applications de charge fixe sur la bague extérieure, dans la plupart des conditions, la bague extérieure peut être maintenue en place grâce à un ajustement libre.
- Cependant, une bague extérieure peut rouler sur sa portée dans le palier si cette dernière est trop grande ou usée.
- Il en résulte une augmentation des niveaux sonore et vibratoire, ainsi qu'une usure.

Actions :

- Métallisez et rectifiez la portée dans le palier aux dimensions appropriées.
- Pour les paliers de grandes dimensions, l'usinage de la portée à un diamètre supérieur combiné à l'utilisation d'un manchon de type boîtier peut être une solution.

Balourd

Remarques concernant les ajustements ou le roulage :

- Les charges qui se traduisent par un déséquilibre de l'arbre peuvent entraîner un roulage de la bague extérieure, et ce même si les ajustements sont appropriés.

Actions :

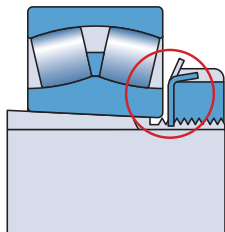
- Éliminez la cause du balourd.
- Rééquilibrez la machine.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

32

**L'écrou de serrage du roulement sur l'arbre ou sur le manchon est desserré**

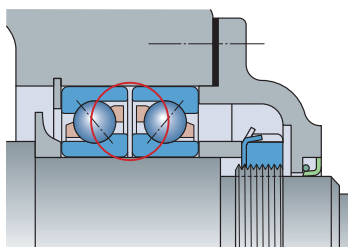
Éléments à prendre en compte pendant le montage ou l'assemblage :

- Un desserrement de l'écrou de serrage peut entraîner un déplacement du roulement sur sa portée.
- La bague intérieure risque de rouler sur sa portée sur l'arbre.
- Dans ces conditions, le niveau sonore et la chaleur dégagée par le roulement augmentent et le positionnement du roulement est altéré.

Actions :

- Serrez l'écrou de serrage pour corriger la position de la bague intérieure (jeu interne du roulement).
- À l'issue du montage, assurez-vous que l'écrou de serrage est correctement serré, avec la languette d'une rondelle-frein par exemple.

33

**Le roulement n'est pas solidement serré contre les éléments d'ajustement**

Éléments à prendre en compte pendant le montage ou l'assemblage :

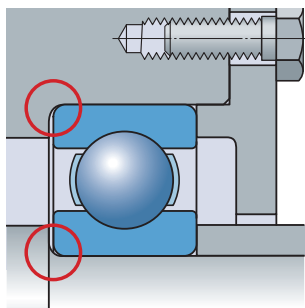
- Un roulement qui n'est pas solidement serré contre un élément adjacent risque de ne pas atteindre le jeu interne ou la précharge requis(e).
- Cette condition peut entraîner une augmentation des niveaux sonores et avoir un impact négatif sur les performances du roulement.

Exemples :

- Une paire de roulements à billes à contact oblique appariés qui ne sont pas correctement fixés.
- Cela risque d'accroître le jeu axial dans la paire de roulements et d'entraîner, par conséquent, une détérioration par glissement des billes (grippage), une augmentation des niveaux sonores et des problèmes de lubrification.
- Une fixation incorrecte du roulement aura aussi un effet néfaste sur le positionnement de l'arbre.

Action :

- Vérifiez que le dispositif de fixation positionne correctement les deux roulements contre l'épaule de l'arbre ou l'entretoise.

**Congé (rayon d'arrondi) trop grand**

Éléments à prendre en compte pendant le montage ou l'assemblage :

- Si le congé d'une pièce adjacente est trop important, le roulement ne sera pas correctement supporté.
- Une déformation des bagues du roulement peut en résulter.
- Le roulement n'atteindra pas le jeu interne (précharge) correct.

Action :

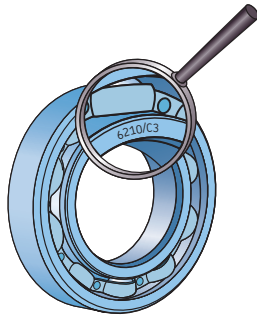
- Usinez le congé de manière à obtenir un support adéquat.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

34

**Jeu interne radial ou axial trop important dans un roulement**

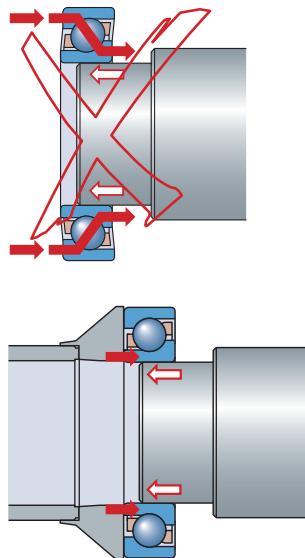
Éléments à prendre en compte pendant le fonctionnement :

- Un jeu radial ou axial excessif peut entraîner une augmentation des niveaux sonores car les éléments roulants peuvent se déplacer librement en dehors de la zone de charge.
- En outre, un jeu excessif peut également avoir des effets néfastes sur les performances du roulement du fait du glissement des éléments roulants.

Actions :

- L'utilisation de ressorts ou de rondelles ondulées peut générer une charge axiale adéquate pour maintenir les éléments roulants chargés en permanence (principalement dans les applications de roulements à billes).
- Vérifiez le jeu initial requis dans le roulement ; ajustez le choix du jeu si besoin.

35

**Les surfaces de roulement présentent une indentation due à des impacts ou des charges avec chocs (méthode de montage inappropriée).**

Éléments à prendre en compte lors de la conception :

- La plupart des roulements sont montés avec un ajustement serré soit sur l'arbre soit dans le palier.

Éléments à prendre en compte pendant le montage :

- Lors du montage avec un ajustement serré, veillez toujours à appliquer la force de montage sur la bague qui est en cours de montage. Évitez toute transmission de la force de montage à travers les éléments roulants car cela pourrait générer facilement une indentation des pistes et des éléments roulants.
- Ces détériorations se traduiraient par une augmentation des niveaux sonores et vibratoires ainsi que de la température.
- Le roulement serait probablement victime d'une défaillance prématurée.

Actions :

- Remplacez le roulement.
- Ne frappez jamais directement avec un marteau sur un roulement lors du montage. Utilisez toujours un manchon de montage.
- Passez en revue les procédures de montage en vous assurant qu'aucune force de montage n'est appliquée à travers les éléments roulants.
- Utilisez un outil de montage de roulements. (Le kit d'outils de montage de roulements SKF est idéal pour les roulements de petites dimensions.)

36

**Les surfaces de roulement sont soumises à un faux effet Brinell dû aux vibrations**

Éléments à prendre en compte pendant le fonctionnement :

- Les vibrations d'autres machines alors qu'un équipement est à l'arrêt peuvent provoquer un faux effet Brinell dommageable pour les pistes. Les détériorations sont généralement observées dans la zone chargée et se caractérisent par des creux dans les pistes qui coïncident avec l'intervalle entre les éléments roulants.
- Ce problème courant génère du bruit dans des équipements à l'arrêt pendant une période prolongée.

Actions :

- Faites tourner de temps à autre l'arbre de l'équipement à l'arrêt pour minimiser les effets des vibrations.
- Isoler l'équipement de la source de vibrations peut être la solution, mais sa mise en œuvre n'est pas toujours simple.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

37

**Les surfaces de roulement sont écaillées en raison de la fatigue du matériau**

Éléments à prendre en compte pendant le fonctionnement :

- La fatigue pure est devenue rare dans un roulement de qualité.
- Lorsqu'un écaillage de fatigue est observé, il est généralement le résultat de conditions de service anormales induisant une augmentation des contraintes dans le roulement : défaut d'alignement, ovalisation par exemple, ou de défauts du matériau comme des inclusions ou un acier de qualité médiocre.

Actions :

- Utilisez uniquement des roulements de qualité supérieure.
- Vérifiez l'alignement en cas de roulements détériorés. Corrigez l'alignement si nécessaire.
- Vérifiez l'absence d'ovalisation en cas de roulements détériorés. Réparez et usinez les portées si besoin.

38

**Les surfaces de roulement sont écaillées en raison d'une fatigue initiée en surface**

Éléments à prendre en compte pendant le fonctionnement :

- Une lubrification inappropriée conduit à un contact métal contre métal entre les surfaces de roulement.
- Les causes incluent notamment : une viscosité trop faible pour la température de service, la présence de particules d'usure et de contaminants.

Actions :

- Vérifiez la viscosité de service du lubrifiant, en tenant compte des conditions de service réelles.
- Pour évacuer les particules d'usure, étudiez la possibilité d'intervalles de relubrification plus courts.
- Vérifiez l'état du système d'étanchéité.

**Les surfaces de roulement présentent un écaillage qui résulte d'une altération de la surface**

Éléments à prendre en compte pendant le montage ou le fonctionnement :

- L'altération de surface inclut des conditions comme un effet Brinell résultant d'un impact, un faux effet Brinell résultant de vibrations, attaque à l'eau, indentation par des particules, passage de courants électriques, etc.

Actions :

- Identifiez la source des détériorations et adoptez des mesures appropriées, par exemple en supprimant les impacts à travers les éléments roulants lors du montage, en remplaçant les joints pour empêcher la pénétration de contaminants, en mettant correctement l'équipement à la terre etc.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

39

**Attaque des surfaces de roulement par des contaminants chimiques/liquides (eau, acides, gaz ou autres substances corrosives)**

Pendant l'arrêt :

- L'attaque (corrosion) intervient lorsque l'équipement est à l'arrêt ; elle est plus fréquente dans les roulements lubrifiés à la graisse.
- Les détériorations résultant d'une attaque statique sont généralement observées entre les éléments roulants.

Actions :

- Vérifiez le système d'étanchéité.
- Améliorez le dispositif d'étanchéité en installant un flasque et/ou un déflecteur.
- L'apport de graisse fraîche plus fréquent en quantités plus petites peut aider à évacuer la graisse usagée de la cavité du roulement/palier.
- Faites tourner l'arbre de temps à autre pour minimiser les effets dommageables de l'attaque statique.

40

(Micro-)écaillage des pistes et/ou des éléments roulants

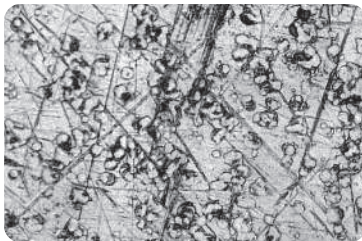
Pendant le fonctionnement :

- Le micro-écaillage des surfaces de roulement, également appelé parfois micro-pitting, peut être induit soit par des contaminants corrosifs, soit par le passage du courant (électroérosion).
- Quelle qu'en soit la cause, il entraîne une augmentation des niveaux sonores et vibratoires.

Actions :

- → Codes solution **39** et **41**.

41

**Cratères ou cannelures sur les pistes et/ou éléments roulants**

Pendant le fonctionnement :

- Une fuite de courant (électroérosion) – passage du courant à travers le roulement – peut entraîner la formation de cratères à la surface. Ils sont si petits qu'on les distingue à peine à l'œil nu. Le Détecteur de passage de courant SKF est un instrument portatif facile à utiliser pour la détection des décharges électriques.

Actions :

- Grossissez la zone entre 500 x et 1 000 x pour vérifier la présence de cratères.

**Cannelures sur les surfaces de roulement**

Pendant le fonctionnement :

- Les cannelures dans les pistes constituent une détérioration secondaire souvent imputée au passage d'un courant électrique dommageable à travers le roulement.
- Dans certains cas rares, un aspect rainuré peut résulter de vibrations en fonctionnement.
- Le passage d'un courant à travers le roulement peut provenir d'une mise à la terre défectueuse, des inverseurs de fréquence, du câblage, de la conception des moteurs et de la machine entraînée.

Actions :

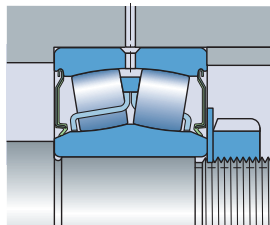
- Vérifiez que l'équipement est correctement relié à la terre.
- Si une mise à la terre correcte ne résout pas le problème, les solutions alternatives consistent à utiliser des roulements INSOCOAT (pourvus d'un revêtement isolant), des roulements hybrides (avec éléments roulants en céramique) ou un manchon isolant dans l'alésage du palier.

Anomalies et solutions

Code solution

Condition / Solution pratique

42

**Les languettes de rondelle-frein sont recourbées et heurtent la cage ou les joints du roulement**

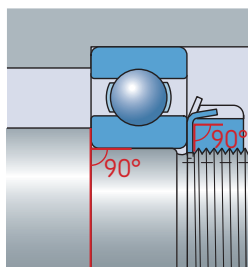
Éléments à prendre en compte pendant le montage ou l'assemblage :

- Certaines rondelles-freins disposent de languettes recourbées qui peuvent heurter la cage ou les joints du roulement, générer du bruit et accélérer l'usure et les détériorations.
- Des rondelles-freins usées peuvent en outre présenter des détériorations non-visibles sur une languette de blocage ou anti-rotation pouvant conduire ultérieurement à un cisaillement.

Actions :

- Les rondelles-freins ne doivent jamais être réutilisées.
- Utilisez un écrou de serrage KMFE doté d'une entretoise intégrée pour éviter ce type de détérioration ; une autre possibilité consiste à positionner une bague intermédiaire entre le roulement et l'écrou de serrage.

43

**Défaut de perpendicularité des épaulements de l'arbre et/ou du palier par rapport à la portée du roulement**

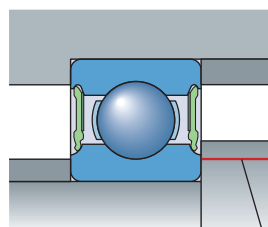
Éléments à prendre en compte pendant le montage ou l'assemblage concernant les épaulements usinés :

- Des épaulements d'arbre/palier non-perpendiculaires peuvent causer une déformation des bagues de roulement, ce qui aura pour effet d'augmenter le couple de frottement et la température dans le roulement.
- → Codes solution 19 et 20.

Action :

- Usinez les pièces de manière à obtenir une perpendicularité correcte.

44



Hauteur correcte

L'épaulement de l'arbre, trop grand, heurte les joints/flasques

Éléments à prendre en compte pendant l'assemblage ou le fonctionnement concernant les épaulements usinés :

- Si l'épaulement est trop haut, il peut heurter les joints/flasques.

Actions :

- Vérifiez que le diamètre d'épaulement est conforme aux recommandations consultables en ligne à l'adresse www.skf.com/bearings.
- Usinez l'épaulement de l'arbre pour dégager l'espace pour les joints/flasques.

3 Traces de fonctionnement

Un roulement neuf présente un bel aspect, digne d'une œuvre d'art (→ **fig. 1**). Ses composants ont été fabriqués aux cotes exactes spécifiées, souvent de l'ordre de quelques fractions de micromètre. Les dimensions de ces derniers et le roulement assemblé ont été vérifiés au cours du processus de fabrication. Les zones qui ont été rectifiées, comme les surfaces des bagues intérieure et extérieure et des éléments roulants, apparaissent très brillantes.

L'examen d'un roulement en service depuis un certain temps révèle un certain nombre de modifications par rapport à cet aspect de départ :

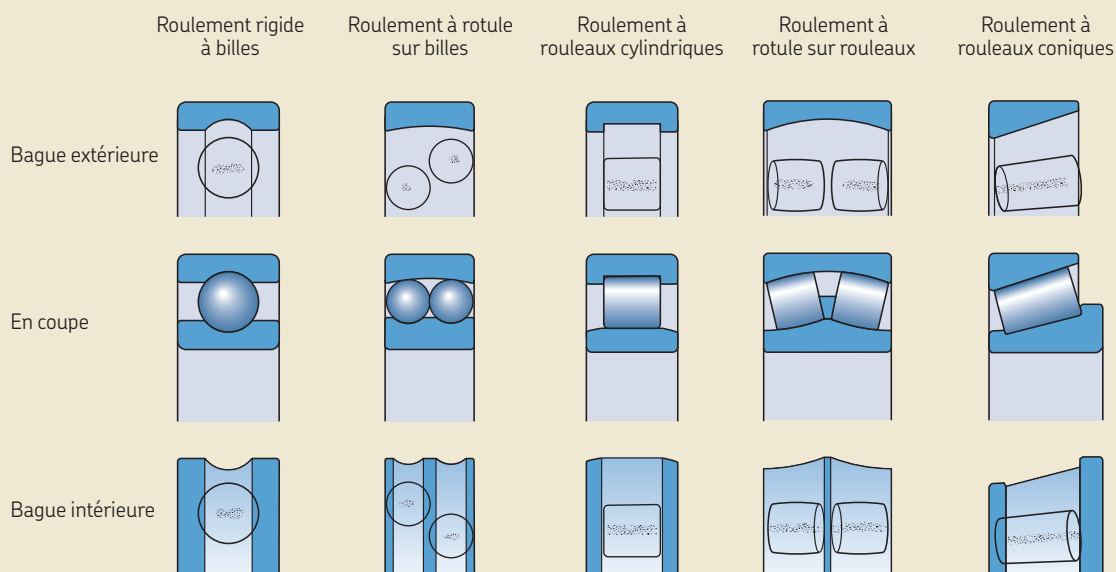
- principalement des zones mates sur les pistes des bagues (→ **fig. 2**) et les éléments roulants ; ou parfois également des zones extrêmement brillantes
- usure de la cage
- marques de roulage sur l'alésage de la bague intérieure ou la surface extérieure de la bague extérieure
- corrosion de contact sur l'alésage de la bague intérieure ou la surface extérieure de la bague extérieure
- écaillages des éléments roulants et des pistes



Que le roulement soit légèrement ou sévèrement détérioré, une inspection approfondie peut fournir des informations précieuses sur la cause du problème. Lors de cette inspection, la clé consiste à rechercher des « traces » sur les pistes. Une trace peut être « normale » ou, au contraire, indiquer un problème. Bien souvent, elle permet d'identifier la cause du problème. Un certain nombre de traces de fonctionnement typiques sont présentées dans ce chapitre.

Pour des raisons de commodité, les exemples de ce chapitre portent sur des roulements rigides à billes et des butées à billes. Les traces de fonctionnement peuvent être différentes pour d'autres types de roulements car la zone de contact dépend du type de roulement, de la configuration, de la charge et du jeu. Des exemples de zones de contact de pistes illustrés par la **fig. 3**.

Fig. 3



Traces de fonctionnement normales

Roulements radiaux - charge radiale unidirectionnelle et constante

La **fig. 4** illustre la répartition de la charge dans un roulement radial (bague intérieure tournante).

La grosse flèche à 12h représente la charge exercée sur l'arbre. Les petites flèches à 4h et à 8h délimitent la zone de charge sur la bague extérieure et la manière dont la charge appliquée est répartie entre les éléments roulants ou supportée par ces derniers dans le roulement.

Rotation de la bague intérieure

La **fig. 5** illustre la manière dont une charge radiale constante et unidirectionnelle exercée sur la bague intérieure en rotation est transmise à la bague extérieure fixe par les éléments roulants.

À mesure que la bague intérieure tourne, tous les points de la bague entrent à tour de rôle dans la zone de charge. Par conséquent, la piste de la bague intérieure présente en son centre une trace de fonctionnement de largeur uniforme sur toute sa circonférence. On parle de zone de charge de bague intérieure tournante.

La bague extérieure fixe présente une trace de fonctionnement centrée qui se limite à la zone de charge. On parle de zone de charge de bague extérieure fixe. La répartition de la charge dans la zone chargée

de la bague extérieure varie. La trace de fonctionnement est plus large dans le sens de la charge et diminue à partir de ce point dans toutes les directions. Dans la plupart des applications, les roulements fonctionnent avec un jeu radial et la zone de charge est d'environ 150° (→ **fig. 4**).

Rotation de la bague extérieure

La **fig. 6** illustre la manière dont une charge radiale constante et unidirectionnelle exercée sur la bague extérieure en rotation est transmise à la bague intérieure fixe par les éléments roulants.

À mesure que la bague extérieure tourne, tous les points de la bague entrent à tour de rôle dans la zone de charge. Par conséquent, la piste de la bague extérieure présente en

son centre une trace de fonctionnement de largeur uniforme sur toute sa circonférence.

La bague intérieure fixe présente une trace de fonctionnement centrée qui se limite à la zone de charge. La répartition de la charge dans la zone chargée de la bague extérieure varie. La trace de fonctionnement est plus large dans le sens de la charge et diminue à partir de ce point dans toutes les directions. Dans la plupart des applications, les roulements fonctionnent avec un jeu radial et la zone de charge est d'environ 150°.

Fig. 5

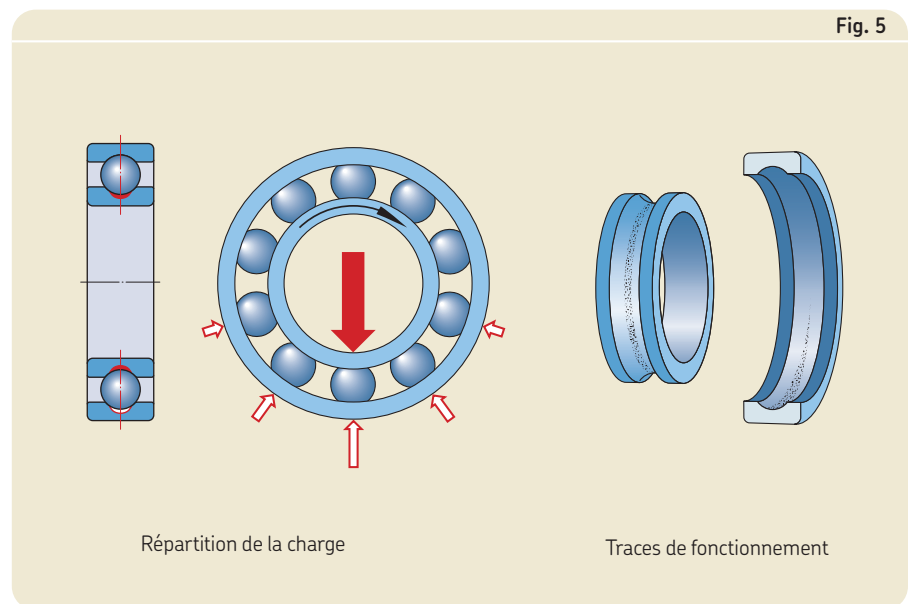


Fig. 4

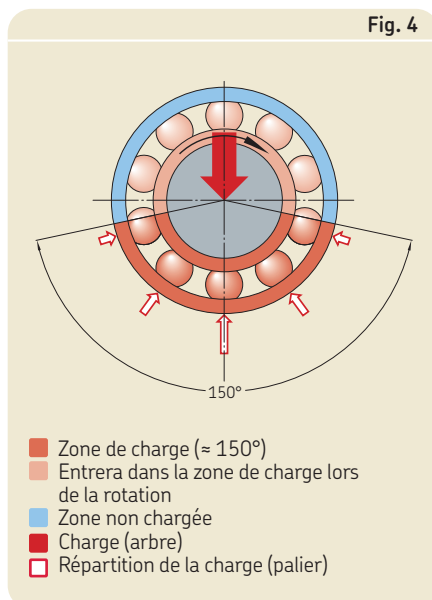
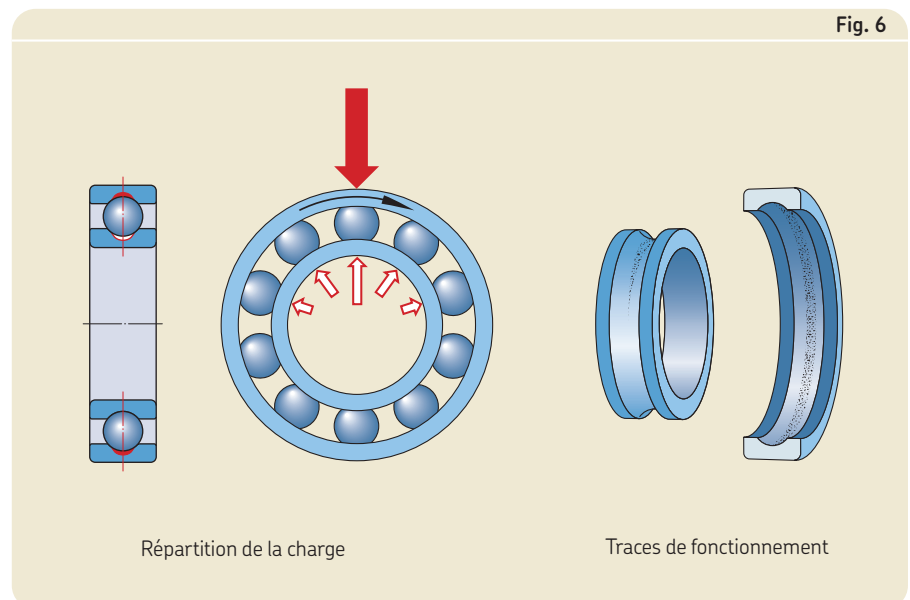


Fig. 6



Roulements radiaux - charge radiale tournante en phase et constante

Rotation de la bague intérieure

La **fig. 7** illustre la manière dont une charge radiale constante qui tourne en phase avec la bague intérieure d'un roulement (charge non équilibrée ou excentrique) est transmise à la bague extérieure fixe par les éléments roulants.

La bague extérieure est fixe, mais tous les points de la bague entrent à tour de rôle dans la zone de charge. Par conséquent, la piste de la bague extérieure présente en son centre une trace de fonctionnement de largeur uniforme sur toute sa circonférence.

Même si la bague intérieure tourne, la charge exercée sur la bague intérieure est fixe. La répartition de la charge sur la bague intérieure varie. La trace de fonctionnement centrée est plus large dans le sens de la charge et diminue à partir de ce point dans toutes les directions. Dans la plupart des applications, les roulements fonctionnent avec un jeu radial et la zone de charge est d'environ 150°.

La trace de fonctionnement est identique à celle illustrée par la **fig. 6**.

Rotation de la bague extérieure

La **fig. 8** illustre la manière dont une charge radiale constante qui tourne en phase avec la bague intérieure d'un roulement (charge non équilibrée ou excentrique) est transmise

à la bague intérieure fixe par les éléments roulants.

La bague intérieure est fixe. Chaque point de la bague est soumis à la zone de charge. Par conséquent, la piste de la bague intérieure présente en son centre une trace de fonctionnement de largeur uniforme sur toute sa circonférence.

Même si la bague extérieure tourne, la charge exercée sur la bague extérieure est fixe. La répartition de la charge sur la bague extérieure varie. La trace de fonctionnement centrée est plus large dans le sens de la charge et diminue à partir de ce point dans toutes les directions. Dans la plupart des applications, les roulements fonctionnent avec un jeu radial et la zone de charge est d'environ 150°.

La trace de fonctionnement est identique à celle illustrée par la **fig. 5**.

Fig. 7

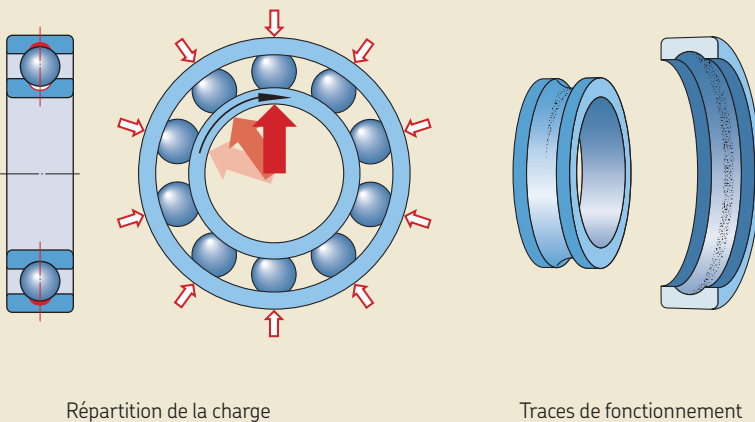
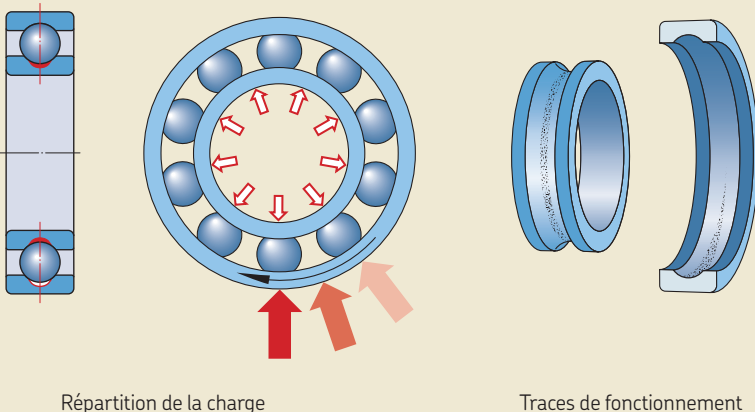


Fig. 8



Roulements radiaux - charge axiale unidirectionnelle et constante

Rotation de la bague intérieure ou extérieure

La **fig. 9** illustre la manière dont une charge axiale constante et unidirectionnelle exercée sur un roulement est transmise à la bague extérieure fixe par les éléments roulants.

La trace de fonctionnement sur la bague tournante est décalée latéralement sur toute la circonférence.

La trace de fonctionnement sur la bague fixe est décalée latéralement sur le côté opposé. En l'absence de charge radiale, la trace de fonctionnement sur la bague fixe est présente sur toute la circonférence de celle-ci.

La zone de contact entre bille et piste dans un roulement rigide à billes forme une ellipse (**→ fig. 10**). Sous une charge radiale pure, l'ellipse de contact est au centre de la piste (**→ fig. 10a**). Lorsque le roulement est soumis à une charge axiale, il fonctionne avec un contact oblique (α) et la zone de contact se déplace le long du profil de la rainure vers le bord de la bague (**→ fig. 10b**).

Sous des charges axiales élevées ou un défaut d'alignement important, il peut arriver qu'une partie de l'ellipse de contact ne soit plus supportée par la piste (**→ fig. 10c**). Ce phénomène est appelé troncature d'ellipse et se traduit par des concentrations de contraintes dans la zone de contact, qui peuvent avoir un effet néfaste sur la durée en fatigue du roulement et sur le niveau sonore.

Fig. 9

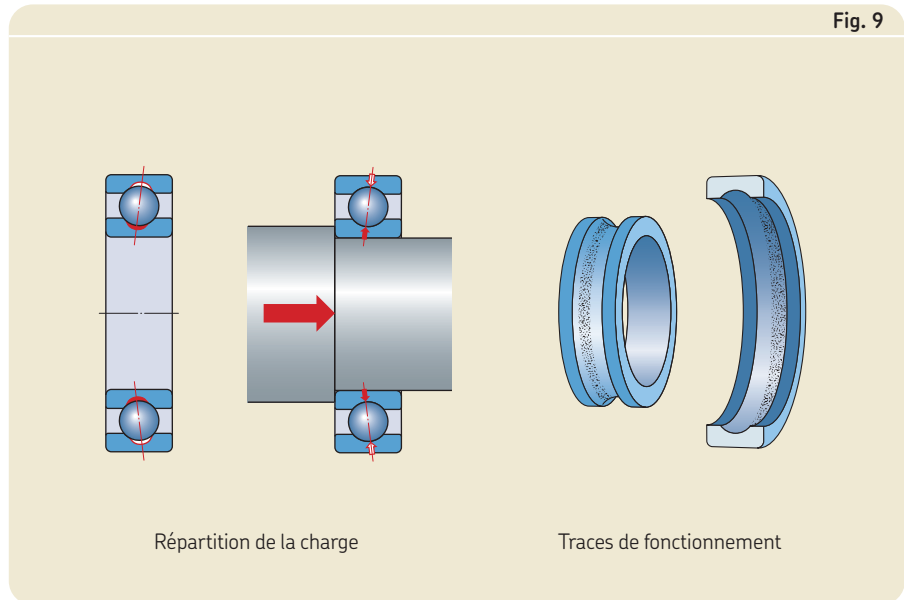
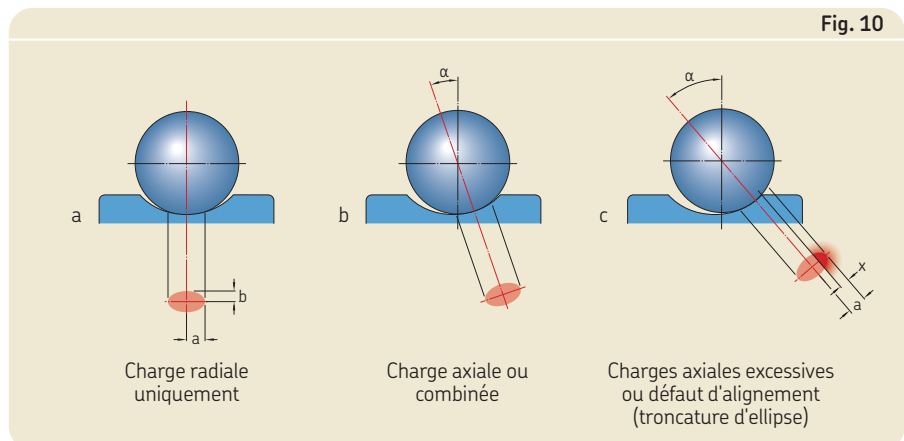


Fig. 10



Roulements radiaux - combinaison de charges axiale et radiale unidirectionnelles et constantes

Rotation de la bague intérieure

La **fig. 11** illustre la manière dont une combinaison de charges radiale et axiale constantes et unidirectionnelles appliquée à un roulement est transmise à la bague extérieure fixe par les éléments roulants.

La trace de fonctionnement sur la bague intérieure est décalée latéralement sur toute la circonférence.

La bague extérieure est fixe et présente une trace de fonctionnement décalée latéralement sur le côté opposé. La répartition de la charge dans la bague extérieure varie. La trace de fonctionnement est plus large dans le sens de la charge radiale et diminue à partir de ce point dans toutes les directions. La zone de charge est

plus longue que dans le cas d'une charge purement radiale, sans toutefois atteindre nécessairement 360°C.

La trace de fonctionnement sur la bague extérieure varie en fonction de l'amplitude de la charge radiale par rapport à la charge axiale, comme suit :

- Sous une charge radiale pure, la trace ne parcourt qu'une petite section (150° environ) de la bague extérieure en son centre (→ **fig. 5**, page 34).
- Sous une charge axiale pure, la trace parcourt l'intégralité de la bague extérieure et est décalée latéralement (→ **fig. 9**).
- Sous une charge combinée, la trace effectue un parcours intermédiaire par rapport aux deux situations précédentes, selon l'amplitude de la charge radiale par rapport à la charge axiale (→ **fig. 12**).

Dans le cas de roulements à deux rangées, des charges combinées se traduisent par des

zones de charge de longueur inégale. La rangée qui supporte la charge axiale est associée à une zone de charge fixe plus longue. À partir d'une certaine amplitude de la charge axiale, l'une des rangées d'éléments roulants peut être complètement déchargée.

Butées - charge axiale unidirectionnelle et constante

Rondelle d'arbre tournante

La **fig. 13** illustre la manière dont une charge axiale constante et unidirectionnelle exercée sur une butée à billes est transmise à la rondelle-logement fixe par les éléments roulants. Les deux rondelles présentent une trace de fonctionnement, de largeur uniforme, qui s'étend sur toute la circonférence des pistes et qui est concentrique avec l'axe de la butée.

Fig. 11

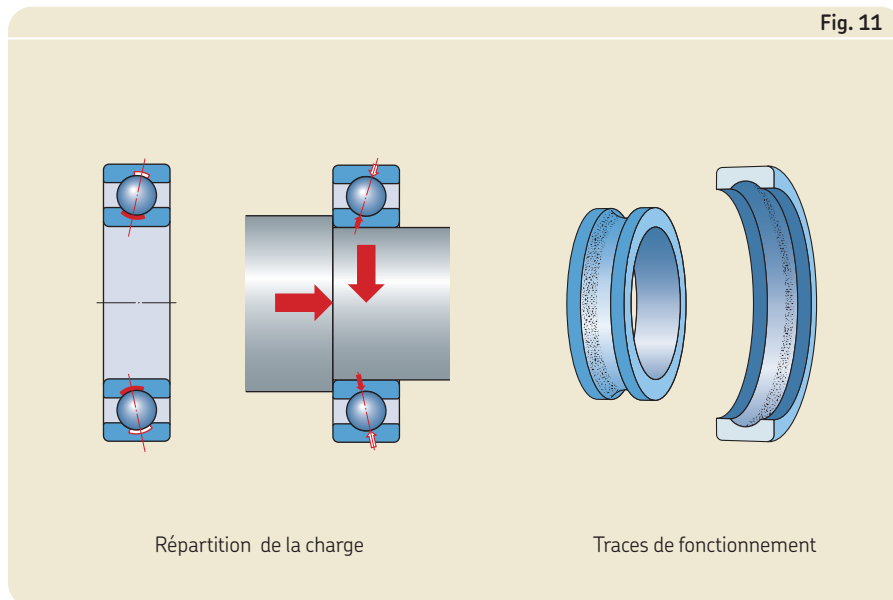


Fig. 12

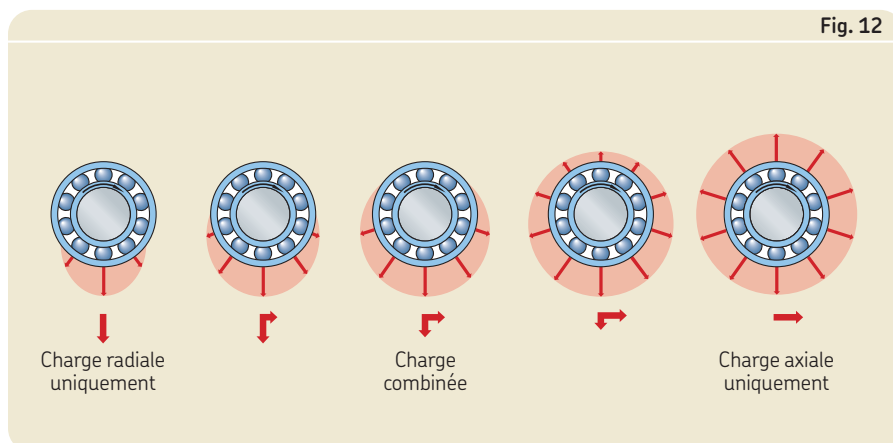
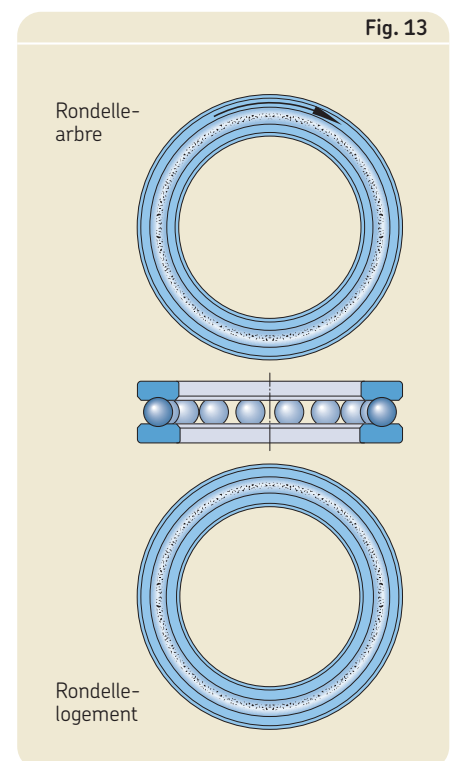


Fig. 13



Traces de fonctionnement sur les pistes associées à des conditions de fonctionnement anormales

Roulements radiaux - charge radiale unidirectionnelle et constante

Rotation de la bague intérieure - défaut d'alignement de la bague extérieure fixe

La **fig. 14** illustre la manière dont une charge radiale constante et unidirectionnelle exercée sur la bague intérieure en rotation est transmise à la bague extérieure fixe qui présente un défaut d'alignement par les éléments roulants.

La trace de fonctionnement sur la piste de la bague intérieure est centrée et d'une largeur uniforme mais supérieure à la normale.

La trace de fonctionnement parcourt la bague extérieure d'un bord à l'autre. La largeur et la longueur de la trace de fonctionnement dépendent de l'amplitude du défaut d'alignement, de la charge et du jeu dans le roulement. La trace de fonctionnement peut se situer n'importe où entre 150° et 360° .

Cela peut se produire en cas de défaut d'alignement des portées de roulement, de faces d'appui non perpendiculaires ou de flexion de l'arbre supérieure à la normale.

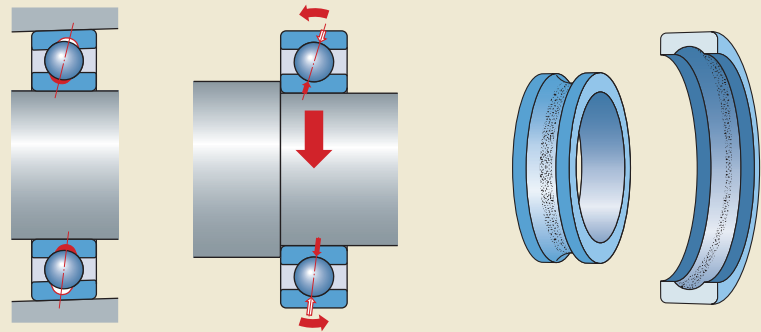
Rotation de la bague extérieure - défaut d'alignement de la bague intérieure fixe

La **fig. 15** illustre la manière dont une charge radiale constante et unidirectionnelle exercée sur la bague extérieure en rotation est transmise à la bague intérieure fixe qui présente un défaut d'alignement par les éléments roulants.

La trace de fonctionnement sur la piste de la bague extérieure est centrée et d'une largeur uniforme mais supérieure à la normale.

La trace de fonctionnement parcourt la bague intérieure d'un bord à l'autre. La largeur et la longueur de la trace de fonctionnement dépendent de l'amplitude du défaut d'alignement, de la charge et du jeu dans le roulement. La trace de fonctionnement peut se situer n'importe où entre 150° et 360° .

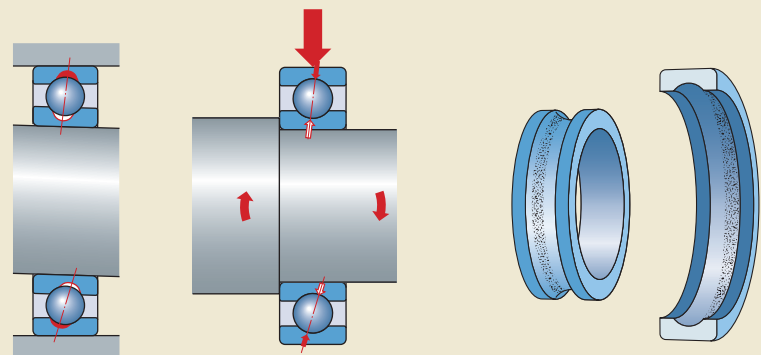
Fig. 14



Répartition de la charge

Traces de fonctionnement

Fig. 15



Répartition de la charge

Traces de fonctionnement

Cela peut se produire en cas de défaut d'alignement des portées de roulement, de faces d'appui non perpendiculaires ou de flexion de l'arbre supérieure à la normale.

Bague intérieure tournante - ovalisation de la bague extérieure fixe

La **fig. 16** illustre la manière dont une charge radiale constante et unidirectionnelle exercée sur la bague intérieure en rotation est transmise à la bague extérieure fixe qui présente un défaut d'ovalisation par les éléments roulants.

La trace de fonctionnement sur la piste de la bague intérieure est centrée et d'une largeur uniforme mais supérieure à la normale.

La bague extérieure présente deux traces de fonctionnement (zones de charge) diamétralement opposées. Une bague extérieure est soumise à une compression ovale radiale dans l'un des cas suivants :

- Le palier est monté sur une surface non-plane
- Les deux moitiés d'un palier à joint diamétral ne coïncident pas de façon concentrique.
- La portée dans le palier présente un défaut de circularité dû à des erreurs de fabrications, si bien que plusieurs zones de charge sont possibles.

De multiples zones de charge augmentent les charges internes et la température de service du roulement, ce qui peut conduire à des détériorations ou des défaillances prématurées.

Rotation de la bague intérieure - précharge

La **fig. 17** illustre la manière dont une charge radiale constante et unidirectionnelle exercée sur la bague intérieure en rotation d'un roulement préchargé radialement est transmise à la bague extérieure fixe par les éléments roulants.

La trace de fonctionnement sur la piste de la bague intérieure est centrée et d'une largeur uniforme.

La trace de fonctionnement sur la piste de la bague extérieure est centrée et d'une largeur uniforme mais supérieure à la normale du fait de la charge appliquée combinée à la précharge interne.

Ce peut être le résultat d'un ajustement trop serré sur l'arbre et/ou dans le palier. Si l'ajustement est trop serré, la compression des éléments roulants entre les deux bagues peut exercer une précharge interne dans le roulement. Un jeu interne initial trop faible peut occasionner le même problème.

Un écart de température important entre l'arbre et le palier pourrait être une autre

Fig. 16

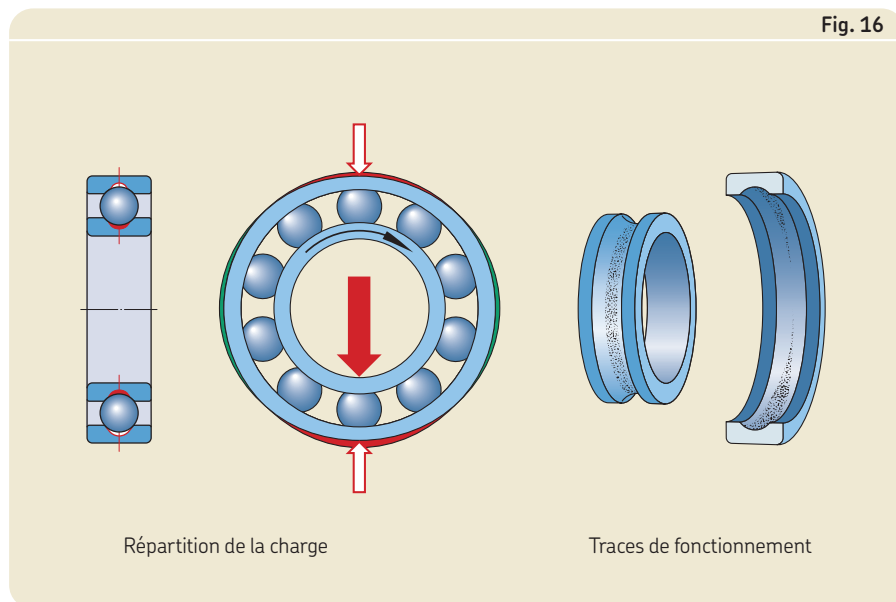
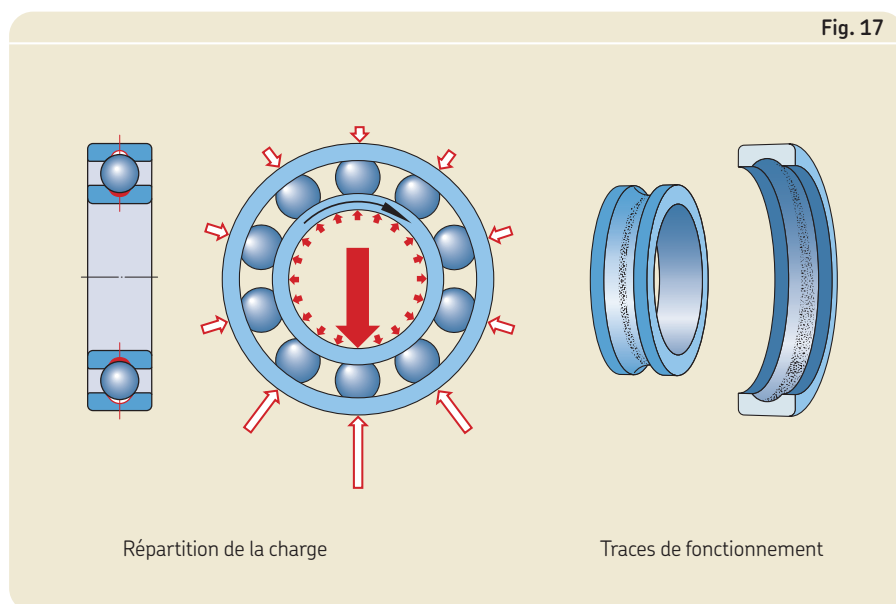


Fig. 17



cause possible. Le jeu interne de roulement peut en outre s'en trouver nettement réduit. Des matériaux avec un coefficient de dilatation thermique différent pour l'arbre et pour le palier peuvent également contribuer à une réduction du jeu.

Butées - charge axiale unidirectionnelle et constante

Rondelle d'arbre tournante - rondelle-logement fixe excentrée

La **fig. 18** illustre la manière dont une charge axiale constante et unidirectionnelle exercée sur la rondelle-arbre d'une butée à billes est transmise à la rondelle-logement fixe excentrée par les éléments roulants.

La trace de fonctionnement sur la rondelle-arbre est centrée et d'une largeur uniforme mais supérieure à la normale.

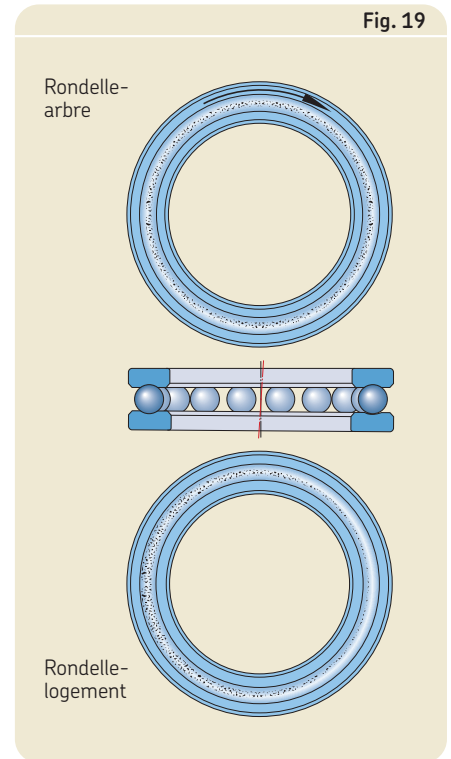
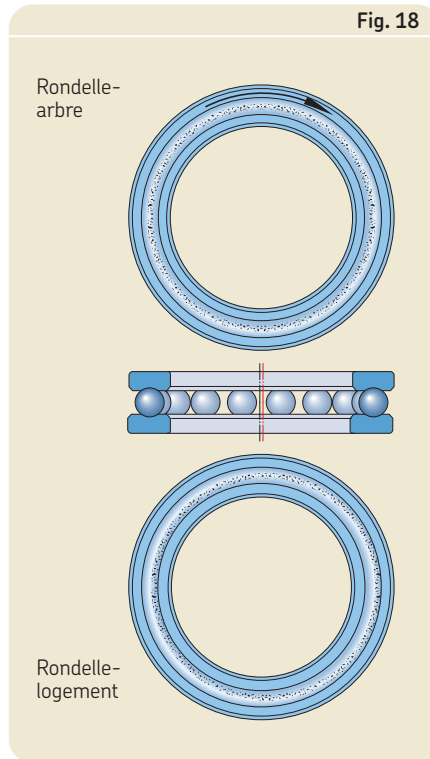
La trace de fonctionnement sur la rondelle-logement est d'une largeur uniforme mais excentrée par rapport à l'axe du roulement.

Rondelle d'arbre tournante - défaut d'alignement de la rondelle-logement fixe

La **fig. 19** illustre la manière dont une charge axiale constante et unidirectionnelle exercée sur la rondelle-arbre tournante d'une butée à billes est transmise à la rondelle-logement fixe, qui présente un défaut d'alignement, par les éléments roulants.

La trace de fonctionnement sur la rondelle-arbre est centrée et d'une largeur uniforme.

La trace de fonctionnement sur la rondelle-logement est centrée mais de largeur irrégulière.



4 Classification des modes de défaillance ISO

Les fabricants de roulements sont nombreux et les publications consacrées aux détériorations et défaillances de roulements ne manquent pas. D'une publication à l'autre, les détériorations et défaillances de roulements peuvent être classées différemment et décrites en des termes différents.

Groupe de travail ISO - Classification des modes de défaillance

Un groupe de travail a été constitué en 1995 au sein de l'organisation ISO pour définir une méthode de classification et une terminologie communes pour les différents types de détériorations de roulements. Ce groupe de travail a établi que

- Une cause de défaillance présente certaines caractéristiques.
- Un mécanisme de défaillance spécifique peut être associé à un mode de défaillance spécifique.
- D'après les détériorations observées, il est possible de déterminer la cause de la défaillance.

La norme ISO 15243 a été publiée début 2004. Depuis cette date, les connaissances sur les détériorations de roulements et l'expérience dans ce domaine ont progressé. Un groupe de travail ISO a passé en revue les informations et une norme ISO révisée, 15243-2017, a été publiée au cours de l'année 2017.

Les classifications des modes de défaillance SKF et ISO 15243 sont identiques. La classification SKF est basée sur trois points principaux :

- Elle couvre toutes les détériorations et modifications d'aspect qui peuvent se produire à l'intérieur d'un roulement en service¹⁾.
- Elle se limite aux formes caractéristiques²⁾ du changement d'aspect qui peuvent être imputables à des causes particulières (avec un degré de certitude élevé).
- Elle repose sur l'évaluation de caractéristiques visibles³⁾ par le biais d'une analyse non-destructive.

On compte 6 modes de défaillance principaux qui se décomposent en sous-modes (→ **diagramme 1**), soit un total de 14 modes de défaillance. Les caractéristiques propres à chaque mode, ainsi que certains exemples typiques, sont décrits dans le présent chapitre.

La numérotation utilisée dans le **diagramme 1** reprend celle des sous-clauses de la norme ISO 15243.

Il existe d'autres causes aux détériorations de roulements, comme les défauts de fabrication, les problèmes de conception, etc. Elles ne figurent pas dans la classification de la norme ISO et ne sont pas abordées dans la présente publication.

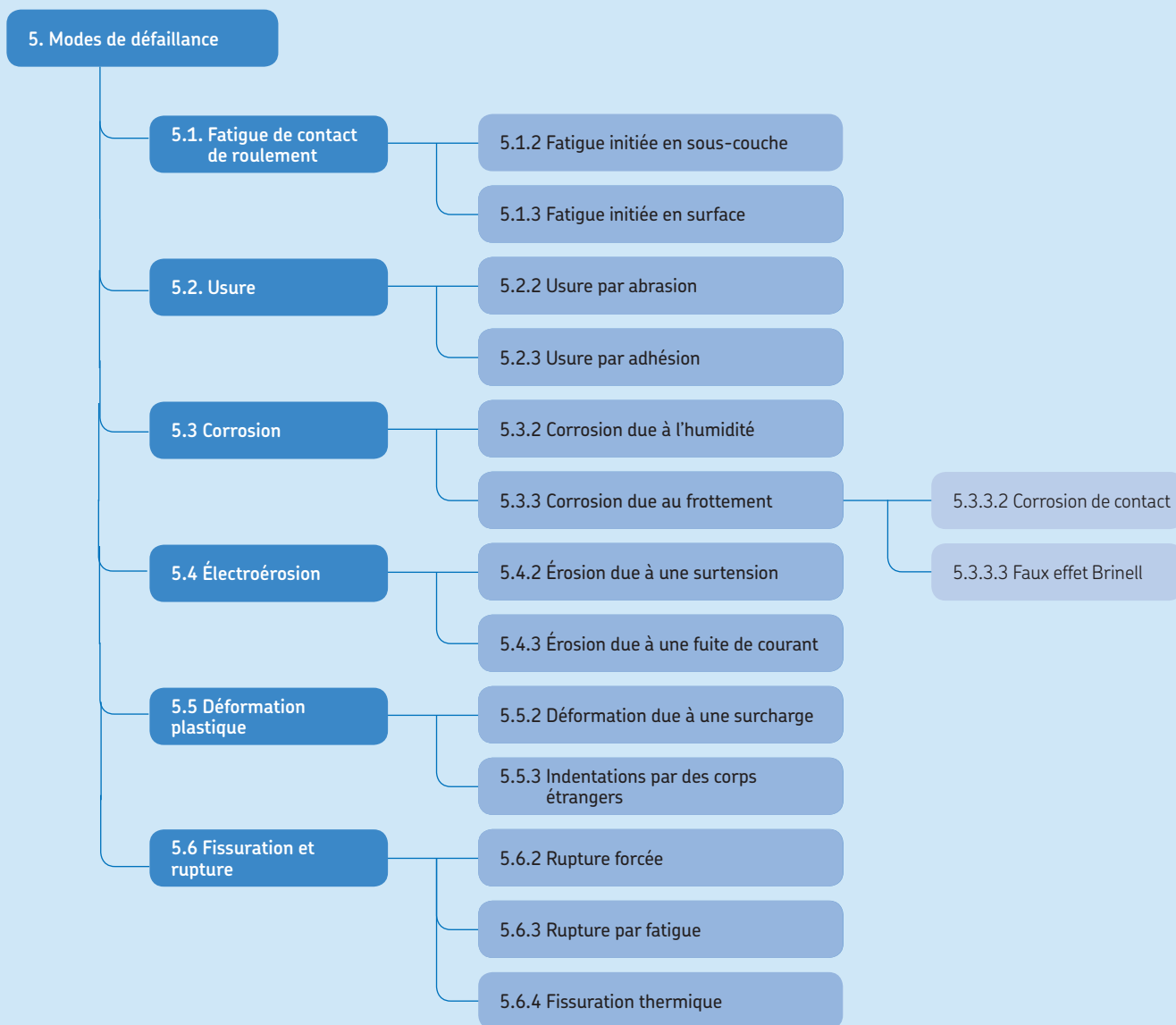
1 « En service » : après le départ de l'usine du roulement.

2 « Formes caractéristiques » : ce qui peut être classé sous l'un des 14 modes de défaillance.

3 « Caractéristiques visibles » : ce qui peut être observé, y compris au microscope avec un certain grossissement. L'analyse destructive n'est pas abordée dans cette publication.

Classification SKF adaptée à partir de la norme ISO 15243:2017

4



La numérotation utilisée reprend celle des sous-clauses de la norme ISO 15243:2017.

Modes de défaillance

Fatigue de contact de roulement

Fatigue initiée en sous-couche

5.1. Fatigue de contact de roulement

5.1.2 Fatigue initiée en sous-couche

5.1.3 Fatigue initiée en surface

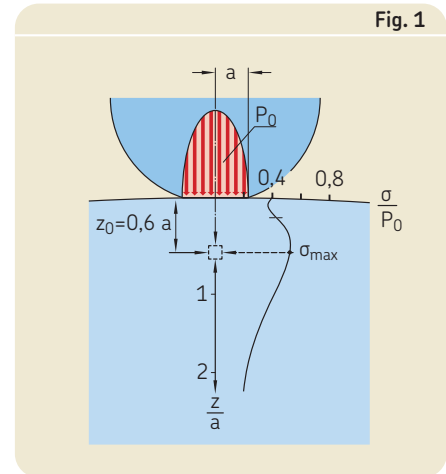
- modifications de contraintes répétées
- modifications structurales du matériau
- micro-fissures sous la surface
- propagation des fissures
- écaillage

Dans un roulement tournant, des variations des contraintes cycliques se produisent sous les surfaces de contact entre les pistes et les éléments roulants.

Prenons la bague intérieure tournante d'un roulement radial sur lequel s'exerce une charge radiale. À mesure que la bague tourne, un point donné sur la piste pénètre dans la zone de charge et la traverse jusqu'à atteindre la charge (contrainte) maximale avant de sortir de la zone de charge. À chaque tour, lorsque ce point de la piste entre et quitte la zone de charge, des contraintes compressives et de cisaillement s'opèrent (→ fig. 1).

En fonction de la charge, de la température et du nombre de cycles de contraintes sur une période donnée, des contraintes résiduelles s'accumulent et cette accumulation entraîne des modifications structurales du matériau, des molécules orientées aléatoirement jusqu'aux plans de rupture.

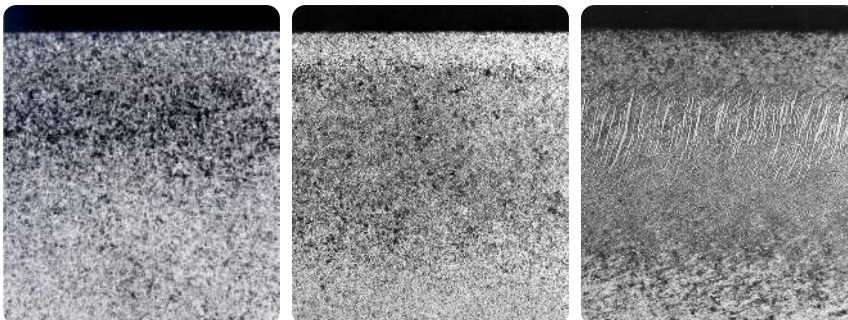
Dans ces plans, ce que l'on appelle des micro-fissures internes se développent sous la surface au point le plus faible, autour de la zone de contraintes de cisaillement maximales, généralement à une profondeur comprise entre 0,1 et 0,5 mm (→ fig. 2 et 3). La profondeur dépend de la charge, du matériau, de la propreté, de la température et de la micro-structure de l'acier. La fissure finit par se propager jusqu'en surface et un écaillage apparaît (→ fig. 4).



Contraintes compressives et de cisaillement sous les pistes

Modifications de la structure sous la surface des pistes au fil du temps (roulement rigide à billes de petites dimensions correctement lubrifié, soumis à de fortes contraintes)

Fig. 2



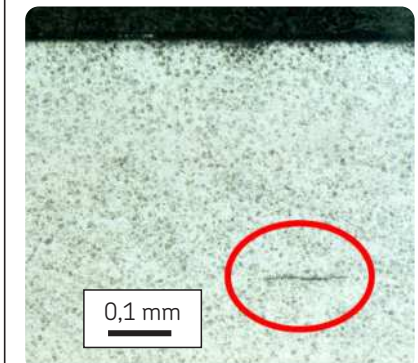
10 million de tours

63 million de tours

630 million de tours

Apparition d'une fissuration sous la surface de la piste (~ 0,3 mm)

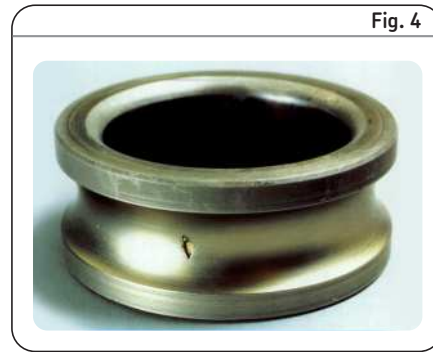
Fig. 3



Un roulement est considéré comme détérioré dès l'apparition d'un début d'écaillage. Cela ne signifie pas qu'il ne peut plus rester en service. L'écaillage augmente progressivement, générant du bruit et des vibrations dans la machine. La machine doit être arrêtée et réparée avant que le roulement cède.

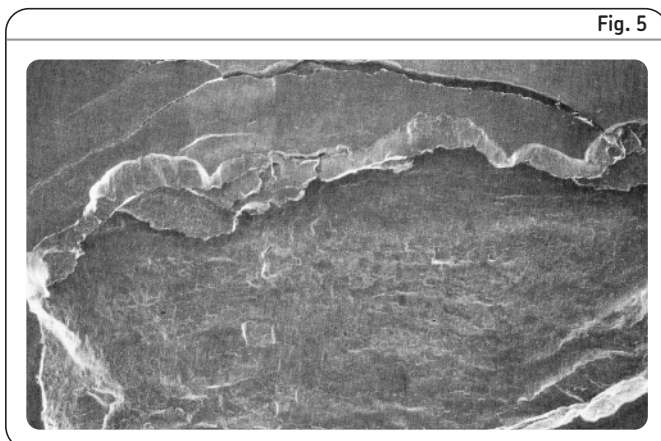
La période qui s'étend de l'apparition de l'écaillage à la survenue de la défaillance dépend du type de machine et des conditions de service.

La **Fig. 5** montre un écaillage causé par la fatigue (grossissement élevé). Le roulement a fonctionné longtemps avant que la fissure atteigne la surface. C'est généralement le cas dans des roulements fabriqués dans un acier très propre et utilisés dans des conditions de grande propreté avec une excellente lubrification. Vous pouvez observer le fond plat de la zone écaillée et les fissures « nettes » autour. Il s'agit de fissures qui ont atteint la surface et, au fil du temps, de plus en plus de matériau se détachera.



Écaillage initié sous la surface de la bague intérieure d'un roulement rigide à billes

Écaillage sous la surface de la piste d'une bague intérieure (grossissement élevé)



Fatigue initiée en surface

5.1. Fatigue de contact de roulement

5.1.2 Fatigue initiée en sous-couche

5.1.3 Fatigue initiée en surface

- altération de la surface
- régime de lubrification compromis
- mouvement de glissement
- polissage, poli miroir
- microfissures d'aspérités
- micro-écaillage d'aspérités

La fatigue initiée en surface résulte de la détérioration d'aspérités sur les surfaces de contact de glissement, généralement causée par une lubrification inadéquate.

Une lubrification inadéquate peut être due à un certain nombre de facteurs différents. Si la surface est détériorée, par exemple par le passage des éléments roulants sur des contaminants solides, la lubrification n'est plus optimale et l'épaisseur du film lubrifiant est réduite ou devient inadéquate. Cela peut se produire si la quantité ou le type de lubrifiant n'est pas adapté(e) à l'application et que la séparation entre les surfaces de contact n'est pas optimale. Le contact métal contre métal qui en résulte induit un cisaillement des aspérités de la surface entre elles qui, combiné au micro-glissement entre les surfaces de la zone de contact roulant, créent une zone polie. Des micro-fissures peuvent ensuite apparaître au niveau des aspérités, puis un micro-écaillage, le tout conduisant à une fatigue initiée en surface. Il existe un risque de fatigue initiée en surface dans tous les

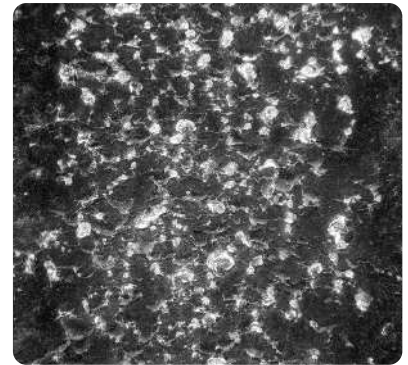
roulements dès lors que le film lubrifiant n'assure pas une séparation complète entre les surfaces de contact roulant.

Ce risque est accru en cas de glissement dans le contact de roulement. Un certain micro-glissement s'opère dans la zone de contact roulant de tous les roulements en raison de leur géométrie spécifique et de la déformation élastique des éléments roulants et des pistes sous la charge.

Une autre cause de fatigue initiée en surface souvent négligée est l'utilisation d'additifs EP. Des additifs EP peuvent se révéler agressifs, notamment à des températures élevées, et accélérer le micro-écaillage.

En général, une fatigue initiée en surface apparaît lorsque des aspérités de la surface entrent en contact direct dans des conditions de lubrification mixte ou limite (→ fig. 6a). Lorsque la charge et les forces de frottement augmentent jusqu'à atteindre une certaine amplitude, des petites fissures apparaissent

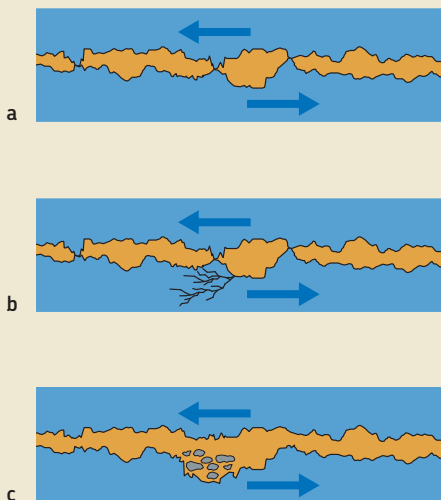
Fig. 8



Micro-écaillage et fissures sur la surface des pistes (grossissement élevé)

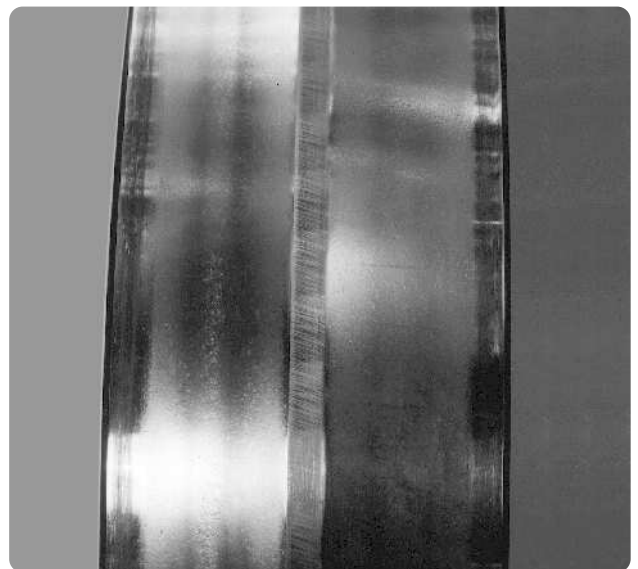
Mécanisme de fatigue initiée en surface

Fig. 6



Micro-écaillage sur les pistes d'une bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux

Fig. 7



à la surface (→ **fig. 6b**) et peuvent évoluer vers un micro-écaillage (→ **fig. 6c**).

En général, les dimensions de ce micro-écaillage sont de l'ordre de quelques micromètres seulement. La surface prend juste un aspect mat et gris (→ **fig. 7**), mais l'observation au microscope révèle un certain nombre de fissures et un écaillage (→ **fig. 8**).

La **fig. 9** montre un début d'écaillage induit par la fatigue initiée en surface due à une lubrification inadéquate.

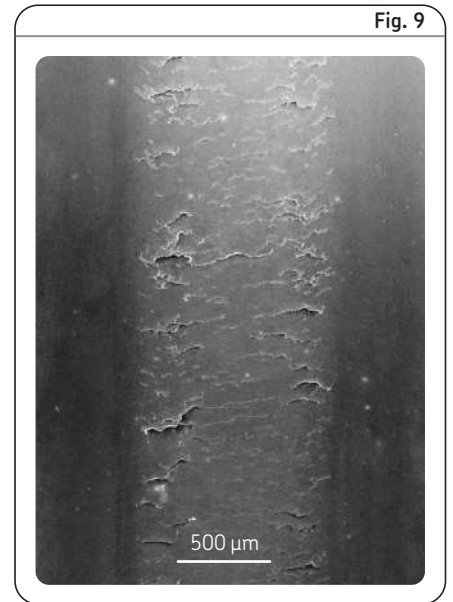
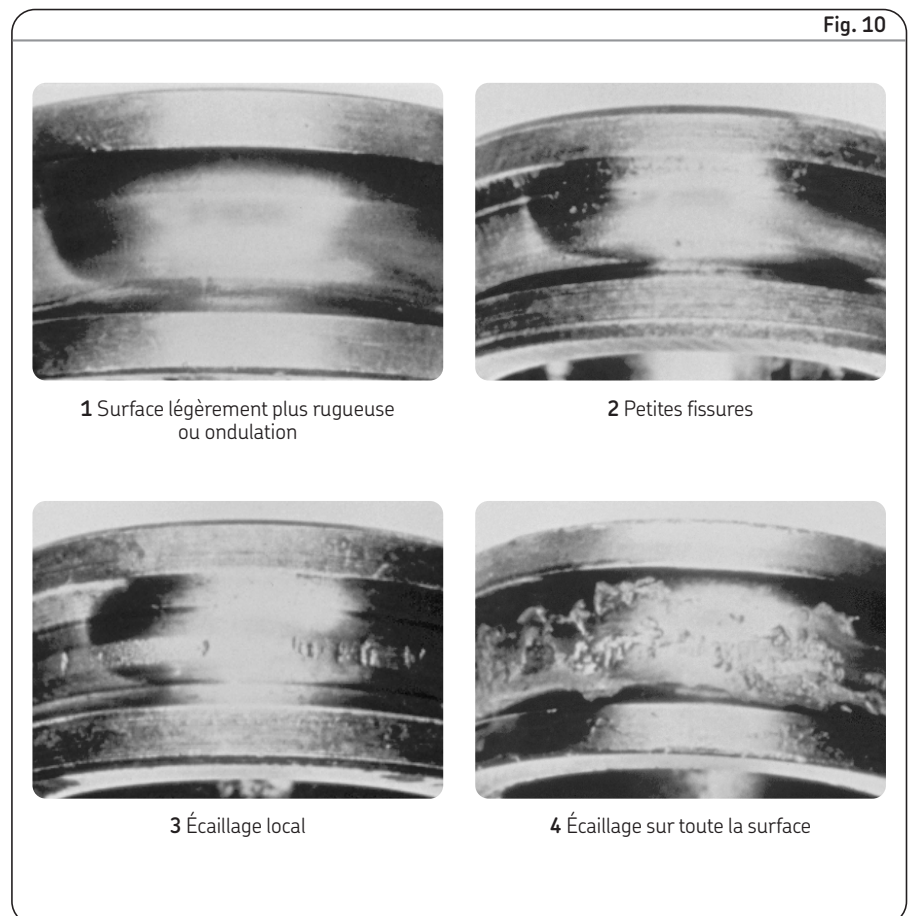
La **fig. 10** montre l'évolution de la fatigue initiée en surface vers un écaillage global.

Selon le moment auquel le roulement est démonté et analysé, il peut être difficile de déterminer la cause d'une défaillance.

Pour diagnostiquer une défaillance du film lubrifiant, l'analyse des surfaces du contact roulant et de l'état du lubrifiant n'est pas suffisante. Il est nécessaire de tenir compte des propriétés du lubrifiant, des quantités utilisées ou requises et des conditions de service pour juger de l'adéquation de la lubrification. Sur une certaine durée, les différents stades suivants de détérioration due à une lubrification inadéquate peuvent être observés à la surface :

- 1 Surface légèrement plus rugueuse ou ondulation
(elle peut même devenir brillante)
- 2 Petites fissures
- 3 Écaillage local
- 4 Écaillage sur toute la surface

Progression de la fatigue initiée en surface sur la bague intérieure d'un roulement rigide à billes



Écaillage initial résultant de la fatigue initiée en surface sur la piste de la bague intérieure d'un roulement rigide à billes

Usure

Usure par abrasion

5.2. Usure

5.2.2 Usure par abrasion

5.2.3 Usure par adhésion

- enlèvement progressif de matière
- lubrification inappropriée
- pénétration d'impuretés (contaminants)
- surfaces mates (la plupart du temps)
- processus de dégradation

L'usure par abrasion se manifeste par un enlèvement progressif de matière.

Au départ, une usure très légère apparaît lors de la phase de rodage, la plupart du temps sous forme d'une trace de fonctionnement simplement (→ **fig. 11**).

La plupart du temps, une usure par abrasion réelle se développe du fait d'une lubrification inadéquate ou de la pénétration de contaminants solides. L'usure par abrasion se caractérise généralement par des surfaces mates (→ **fig. 12**).

L'usure par abrasion est un processus de dégradation qui mène à la destruction de la microgéométrie d'un roulement sous l'action de particules d'usure qui réduisent encore plus l'efficacité du lubrifiant. Des particules abrasives peuvent causer une usure rapide des pistes des bagues, des éléments roulants, ainsi que des alvéoles de la cage. La **fig. 12** montre une bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux qui présente

une usure par abrasion. La profondeur de l'usure est également visible. (On observe également un motif d'ondulation dû aux vibrations.)

La cage est un élément critique du roulement. Les bagues et les éléments roulants présentent une dureté d'environ 60 HRC. La plupart des cages en métal (tôle ou laiton) ne sont pas trempées. Dans des conditions de lubrification médiocres, la cage est susceptible d'être le premier composant à s'user. La **fig. 13** montre une alvéole usée dans une cage en laiton.



Fig. 13

Usure par abrasion des barrettes de la cage d'un roulement à rouleaux cylindriques

Légère usure par abrasion sur la bague extérieure d'un roulement à rotule sur rouleaux



Fig. 11

Usure par abrasion avancée sur la bague extérieure d'un roulement à rotule sur rouleaux (aspect terne et mat des pistes)

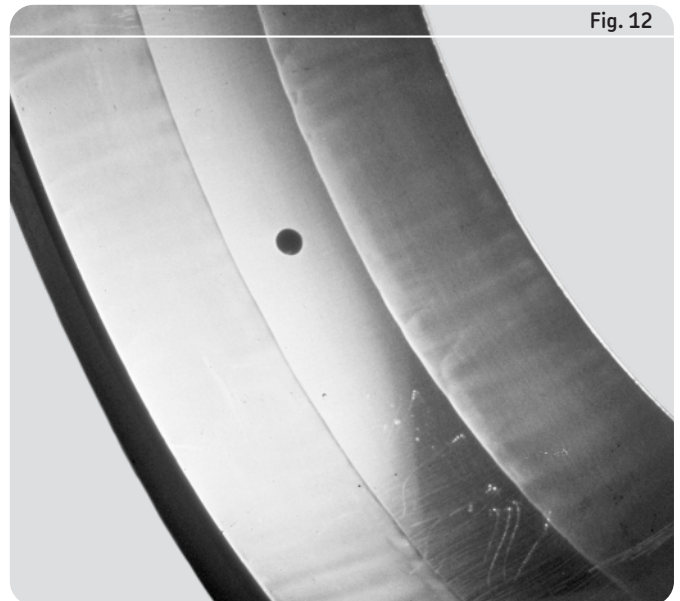


Fig. 12

L'usure par polissage est une forme particulière d'usure par abrasion. Les surfaces des chemins de roulement de roulements neufs sont brillantes mais pas extrêmement réfléchissantes (pas autant qu'un miroir). Des surfaces d'aspect poli miroir sur un roulement en service (→ **fig. 14**) sont par conséquent le résultat d'une lubrification inadéquate caractérisée par un film d'huile mince et la présence de particules qui agissent comme un agent de polissage. Ces conditions favorisent un contact métal sur métal qui entraîne une usure par abrasion et une déformation plastique des aspérités (→ **fig. 15**). Les surfaces peuvent devenir extrêmement brillantes, tout dépend de la taille des particules, de leur dureté et de la durée de service écoulée.

Des surfaces polies miroir peuvent constituer un avantage tant que l'usure par abrasion et la déformation plastique restent limitées aux seules aspérités.

Dans certains cas, l'usure par polissage s'étend au-delà des aspérités et altère sévèrement la forme des pistes. Les pistes des bagues intérieure et extérieure et, très probablement, les rouleaux sont usés mais gardent un aspect poli-miroir.

Ce niveau d'usure par abrasion résulte de plusieurs facteurs combinés : l'huile présente une viscosité insuffisante et contient une quantité excessive de particules abrasives de très petite taille. Les autres facteurs peuvent inclure des vitesses faibles combinées à des charges élevées et un film d'huile insuffisant.

Pour éviter ce type de détérioration, sélectionnez un lubrifiant de viscosité supérieure et contrôlez régulièrement son niveau de propreté.

Usure par polissage (surfaces des pistes polies miroir) sur les bagues intérieure et extérieure d'un roulement à rotule sur rouleaux



Fig. 14

Processus d'usure par polissage dans un roulement

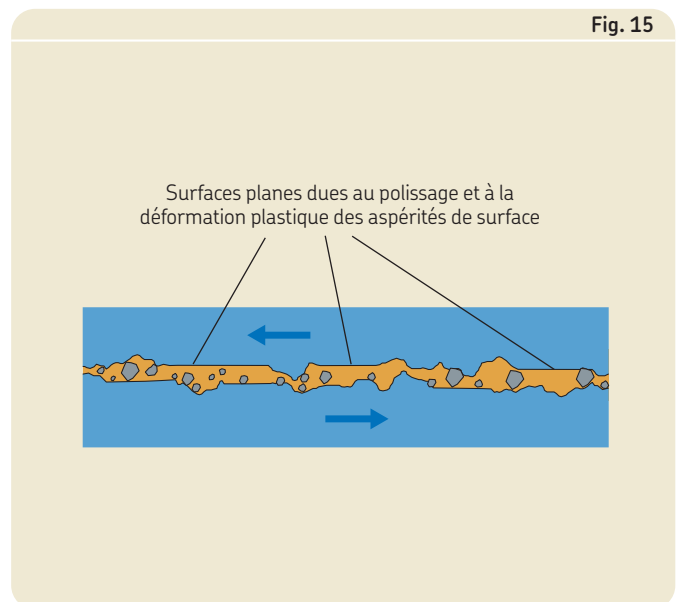


Fig. 15

Usure par adhésion (grippage)

5.2. Usure

5.2.2 Usure par abrasion

5.2.3 Usure par adhésion

- accélérations
- patinage/grippage/usure par frottement
- transfert de matière/échauffement par frottement
- retrempe/reducissement avec concentrations de contraintes et fissuration ou écaillage
- charges légères

L'usure par adhésion est un type de détérioration associée au lubrifiant qui apparaît en cas de glissement relatif entre deux surfaces de contact (→ fig. 16).

Elle se caractérise par un transfert de matière d'une surface vers l'autre (grippage) qui s'accompagne généralement d'un échauffement par frottement, soumettant parfois la surface à un processus de retrempe ou de redurcissement.

L'échauffement par frottement génère des concentrations de contraintes locales susceptibles de provoquer une fissuration ou un écaillage dans les zones de contact.

Le grippage n'est pas courant dans des conditions de service normales. La vitesse de glissement relatif doit être nettement supérieure par rapport au microglissement induit par la géométrie du roulement et la déformation élastique dans la zone de contact roulant.

Grippage (usure par adhésion) dû à des accélérations importantes

Dans certaines conditions, un grippage peut se produire sur la surface des éléments roulants fonctionnant à des vitesses relativement élevées. En dehors de la zone de charge, la rotation des éléments roulants est retardée puisque les bagues n'entraînent pas les éléments roulants.

Les éléments roulants sont par conséquent soumis à une accélération rapide (brusque) au moment d'entrer dans la zone chargée (→ fig. 17). Cette accélération soudaine peut entraîner un glissement et générer, par ce biais, un échauffement suffisant pour faire fusionner les deux surfaces aux endroits où un contact métal sur métal s'établit (→ fig. 16). Ce processus de soudage entraîne un transfert de matière d'une surface vers l'autre, ce qui a pour effet d'augmenter également le frottement (→ fig. 18).

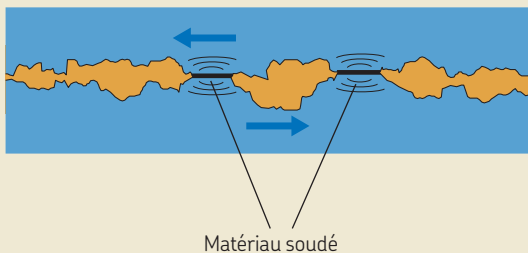
Au cours de ce processus, une retrempe ou un redurcissement du matériau s'opère également. Cela peut conduire à des concentrations de contraintes locales avec un risque élevé de fissuration et, par conséquent, de défaillance prématurée. Des fissures peuvent apparaître perpendiculairement à la direction de glissement.

Ce phénomène de grippage est également appelé usure par frottement ou éraflure.

Le grippage est un type de détérioration de la surface dangereux car les surfaces touchées deviennent progressivement plus rugueuses. Plus la rugosité de surface augmente, plus l'épaisseur du film lubrifiant diminue, ce qui a pour effet d'augmenter le contact métal contre métal ; l'usure du roulement entre ainsi dans un cercle vicieux. Les roulements de grandes dimensions sont particulièrement sensibles au grippage. Le poids des éléments roulants devient importance, ce qui les ralentit

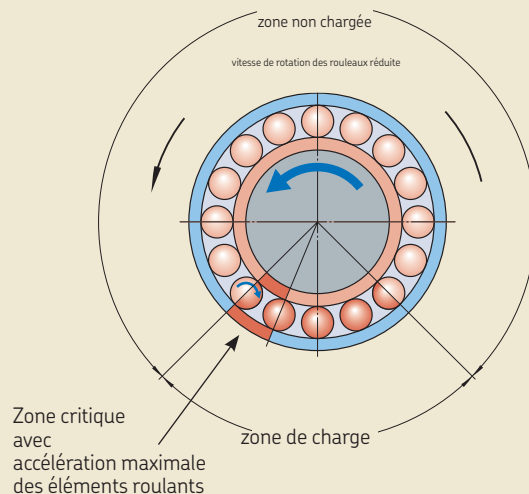
Principe d'usure par adhésion

Fig. 16



Risque élevé d'usure par adhésion lorsque les éléments roulants accélèrent en pénétrant dans la zone de charge

Fig. 17



considérablement en dehors de la zone de charge. Lorsqu'ils pénètrent à nouveau dans la zone de charge, ils subissent une accélération quasi instantanée jusqu'à la vitesse de rotation mais, du fait du poids des éléments roulants, la rotation s'accompagne d'un glissement (partiel).

Le grippage peut également se produire dans des roulements à billes en raison d'effets gyroscopiques. Dans ces situations, les billes changent d'angle de contact dans la zone non chargée mais sont forcées à reprendre (par glissement) l'angle de contact de service au moment d'entrer dans la zone chargée.

Grippage (usure par adhésion) dû à une charge trop faible

Un grippage peut également se produire entre des éléments roulants et des chemins de roulement lorsque la charge est trop faible par rapport à la vitesse de rotation.

Quelques solutions parmi d'autres pour remédier au grippage :

- accroître la charge
- utiliser des roulements de dimensions inférieures
- utiliser des roulements hybrides (éléments roulants plus légers)
- appliquer des revêtements protecteurs
- utiliser un modèle de cage différent
- revoir le choix de l'huile/graisse

Autres exemples de grippage (usure par adhésion)

Un grippage peut également se produire entre la cage et sa surface de contact et entre les extrémités des rouleaux et les épaulements de guidage. La **fig. 19** montre un rouleau de butée à rotule sur rouleaux qui était au contact d'un épaulement de guidage. L'extrémité du rouleau présente une détérioration par grippage due à une lubrification inadéquate.

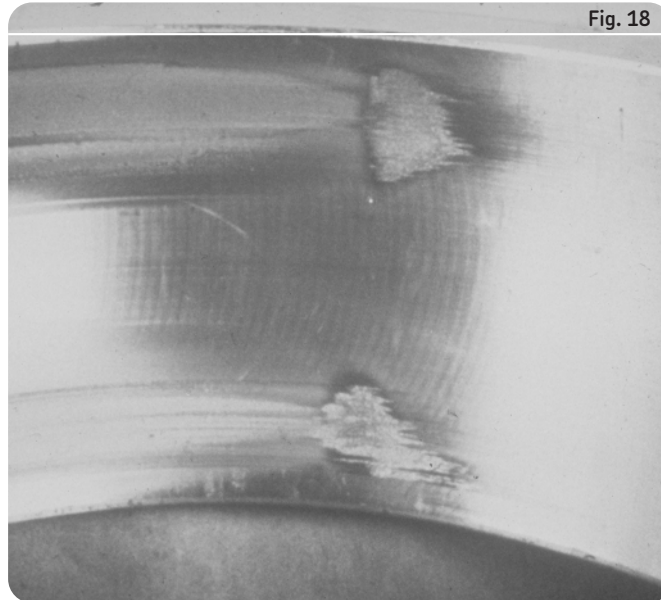


Fig. 18

Grippage sur les pistes d'une bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux (marques de grippage à l'entrée de la zone de charge).



Fig. 19

Grippage sur la face d'appui des rouleaux d'une butée à rotule sur rouleaux

Corrosion

Corrosion due à l'humidité

5.3 Corrosion

5.3.2 Corrosion due à l'humidité

5.3.3 Corrosion due au frottement

- oxydation/rouille (corrosion)
- réaction chimique
- piqûres de corrosion/écaillage
- attaque (mélange eau/huile ou produits chimiques)

Des dispositifs d'étanchéité inefficaces peuvent laisser l'humidité, l'eau et des contaminants liquides agressifs pénétrer dans le roulement. Lorsque la quantité de contaminants liquides dépasse la capacité du lubrifiant à protéger les surfaces en acier, la rouille apparaît.

Oxydation

Une fine pellicule d'oxyde protectrice se forme sur les surfaces en acier propres au contact de l'air. Cependant, cette pellicule n'est pas impénétrable et, si de l'eau ou des agents corrosifs entrent en contact avec les surfaces en acier, une oxydation se produit.

Corrosion

La corrosion est peut-être la cause la plus fréquente de défaillance prématurée des roulements utilisés dans les machines à papier et les équipements de transformation des produits alimentaires. Dans ces machines, les roulements sont exposés à l'eau et à d'autres liquides au cours du processus opérationnel. De l'eau peut également pénétrer lors du nettoyage de la machine à l'arrêt, ce qui se traduit par des zones grisâtres à noires coïncidant avec l'intervalle entre les éléments roulants (→ fig. 20).

Corrosion sur la bague extérieure et un rouleau d'un roulement à rotule sur rouleaux



Fig. 20

Attaque

À l'arrêt, l'eau libre contenue dans le lubrifiant s'accumule dans le fond du roulement. L'accumulation d'eau est la plus importante à une certaine distance du contact de roulement (→ fig. 21). La raison en est que l'eau libre contenue dans l'huile est plus lourde que cette dernière et descend jusqu'à rencontrer un espace approprié entre le rouleau et le chemin de roulement. Cela peut conduire à une corrosion profondément installée, on parle également d'attaque (→ fig. 22). Une attaque est encore plus probable dans des applications où des produits chimiques agressifs sont utilisés à des températures élevées, par exemple les sécheries de machines à papier.

Une attaque conduit généralement à un écaillage prématuré important, puisque le matériau subit un changement structurel et la surface de la zone de charge est tellement réduite qu'une surcharge se produit. La meilleure façon d'éviter la corrosion est de préserver le lubrifiant de l'eau libre et des liquides agressifs grâce à un dispositif d'étanchéité approprié. L'utilisation d'un lubrifiant aux excellentes propriétés anticorrosion peut également être utile.

L'eau libre contenue dans le lubrifiant s'accumule dans le fond du roulement

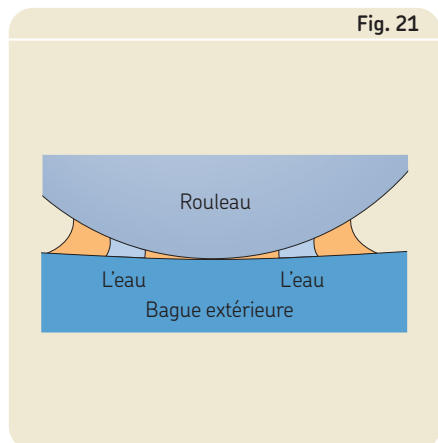


Fig. 21

Attaque initiale de zones sur les pistes de la bague intérieure d'un roulement à rotule sur rouleaux avec un espacement similaire à celui des éléments roulants

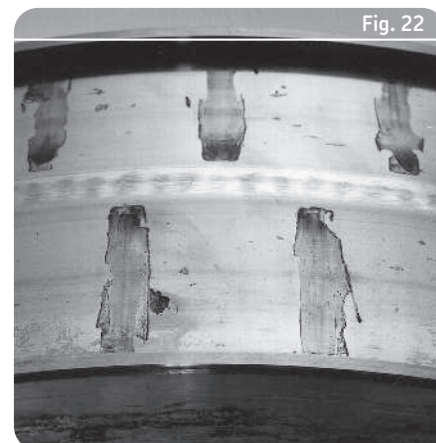


Fig. 22

Corrosion due au frottement - Corrosion de contact

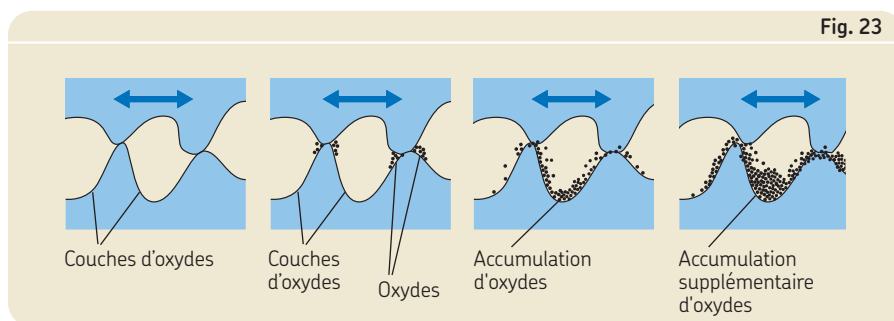
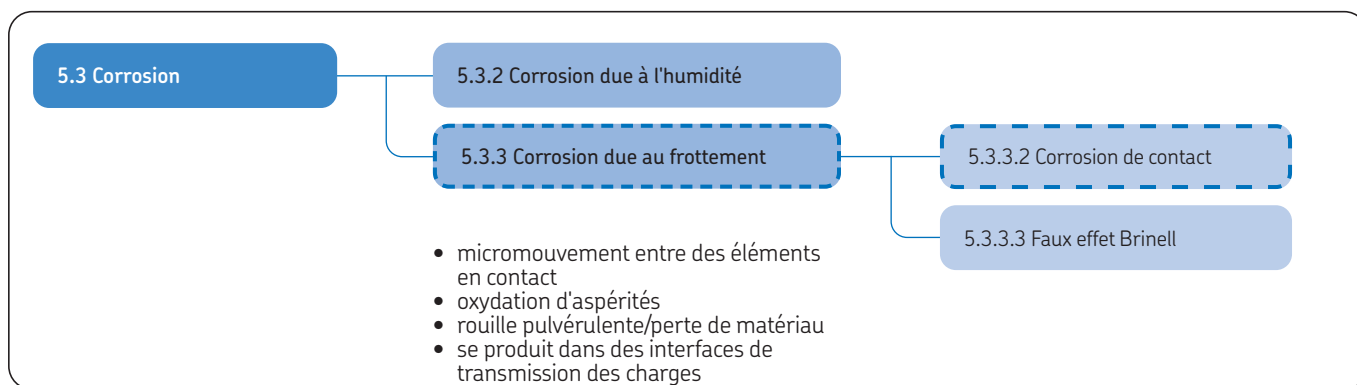


Fig. 23

Représentation schématisée des différents stades de développement de la corrosion de contact

jouer sur les tolérances (ajustement) ou d'appliquer une pâte ou un revêtement anticorrosion spécial(e). SKF ne recommande pas d'utiliser des adhésifs spécialement formulés pour éviter la corrosion de contact.

La corrosion de contact se produit en cas de mouvement relatif entre une bague de roulement et sa portée sur l'arbre ou dans le logement. Elle est généralement due à un ajustement trop libre ou des défauts de forme.

Il peut provoquer le détachement de petites particules de matériau sur la surface du roulement et de sa portée. Ces particules, exposées à l'air, s'oxydent rapidement et de l'oxyde de fer se forme (→ fig. 23). Le volume de l'oxyde de fer ainsi formé en vient à dépasser celui du fer (acier). Il est possible, du fait de la présence de cette corrosion de contact, que le roulement ne soit plus soutenu de manière uniforme et que cela entraîne des répercussions indésirables sur la répartition de la charge dans le roulement.

Les zones corrodées agissent en outre comme des amorces de rupture.

Une corrosion de contact apparaît dans certaines zones sur la surface extérieure de la bague extérieure ou dans l'alésage de la bague intérieure. La trace de fonctionnement peut être très marquée sur le chemin de roulement aux endroits correspondants. Dans certains cas, la corrosion de contact constitue en fait une détérioration secondaire résultant d'un écaillage avancé du matériau sur le chemin de roulement.

Selon la réaction chimique qui s'opère, la corrosion peut prendre une apparence :

- rouge (hématite, Fe_2O_3)
- noire (magnétite, Fe_3O_4)

La fig. 24 montre de la corrosion de contact résultant d'un mauvais usinage de la surface de l'arbre ou d'une flexion de celui-ci (due à une charge en porte-à-faux ou une charge radiale).

La fig. 25 montre de la corrosion de contact résultant d'une très forte charge ou d'une portée inappropriée.

Pour éviter ou ralentir la formation de la corrosion de contact, il est possible soit de

Corrosion de contact sur l'alésage d'une bague intérieure résultant d'une portée sur l'arbre inappropriée ou d'une flexion de l'arbre

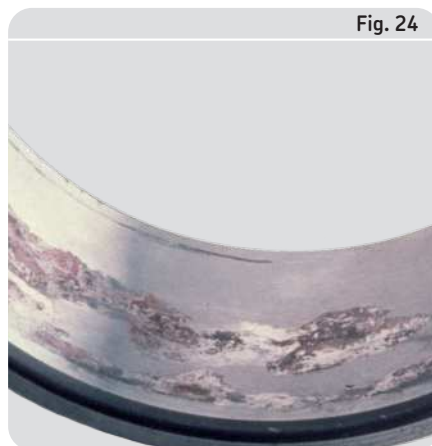


Fig. 24

Corrosion de contact sur l'alésage d'une bague intérieure résultant d'une portée sur l'arbre inappropriée ou d'une flexion de l'arbre

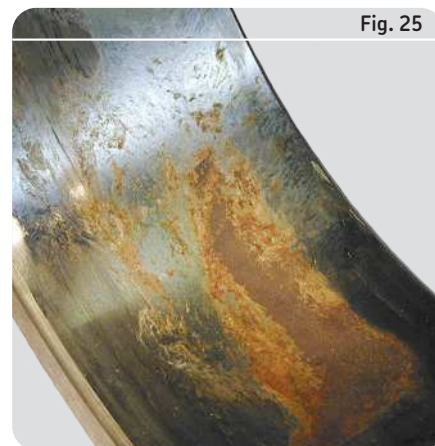
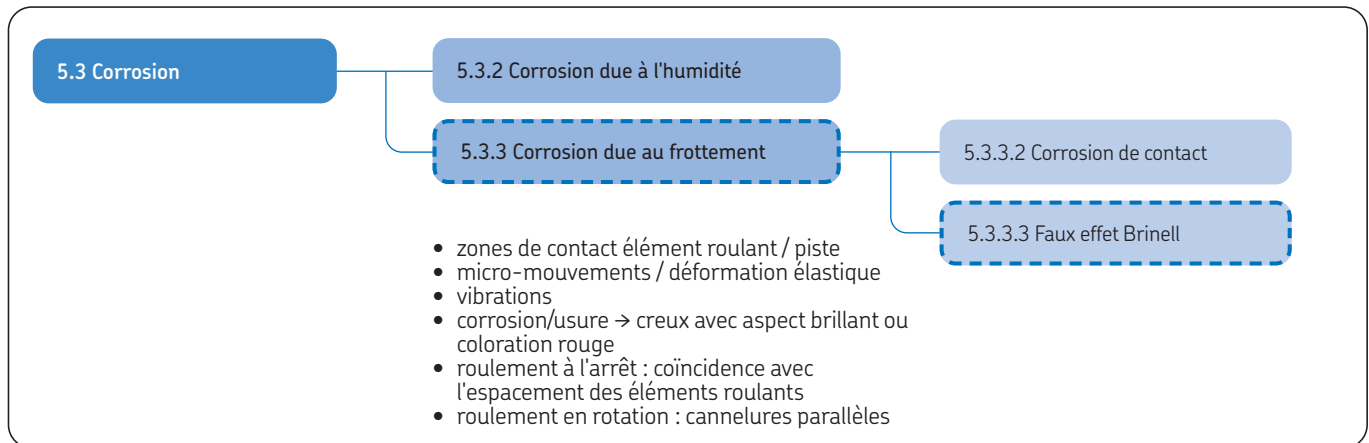


Fig. 25

Corrosion de contact - Faux effet Brinell



Le faux effet Brinell se produit dans la zone de contact en raison de micromouvements et/ou de la résilience du contact élastique sous des vibrations cycliques. Selon l'intensité des vibrations, les conditions de lubrification et la charge, une corrosion mêlée à de l'usure apparaît, entraînant la formation de creux superficiels dans les pistes.

Dans le cas d'un roulement à l'arrêt, les creux apparaissent selon le même espacement que les éléments roulants. Il s'agit de :

- creux sphériques pour les roulements à billes
- creux allongés pour les roulements à rouleaux

Le faux effet Brinell se traduit par une coloration brun-rougeâtre typique des roulements lubrifiés à la graisse, tandis que les creux présentent un aspect poli-miroir très brillant dans le cas d'une lubrification à l'huile.

Dans de nombreux cas, de la rouille est observée au fond des creux. Celle-ci résulte de l'oxydation des particules détachées qui présentent une surface importante par rapport à leur volume, sous l'effet de leur exposition à l'air.

Les éléments roulants sont généralement beaucoup moins touchés.

La **fig. 26** montre un faux effet Brinell sévère causé à la bague extérieure d'un roulement à rotule sur billes à l'arrêt.

La **fig. 27** montre un faux effet Brinell causé à la bague extérieure d'un roulement à rouleaux cylindriques. Des vibrations à l'arrêt en sont la cause. Le roulement était monté sur un équipement auxiliaire utilisé

avec de longues périodes d'arrêt. On observe plusieurs séries de « cannelures » de même espacement que les rouleaux, chaque série est le résultat d'une période d'arrêt. L'amplitude de la détérioration dépend du niveau et de la fréquence de vibration, ainsi que de la durée de l'arrêt.



Faux effet Brinell sévère sur la piste de la bague extérieure d'un roulement à rotule sur billes

Faux effet Brinell (« cannelures ») sur la piste de la bague extérieure d'un roulement à rouleaux cylindriques



Électroérosion

Érosion due à une surtension

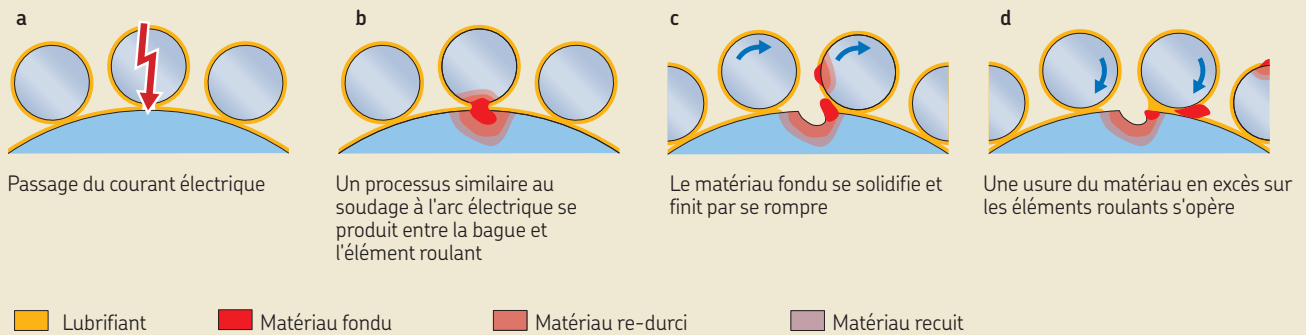
5.4 Électroérosion

5.4.2 Érosion due à une surtension

5.4.3 Érosion due à une fuite de courant

- enlèvement progressif de matière
- courant élevé : décharge disruptive
- échauffement localisé se produisant à intervalles très courts : fusion/soudage
- cratères jusqu'à 0,5 mm

Fig. 28



Mécanisme de l'érosion due à une surtension

Une détérioration peut se produire lorsqu'un courant électrique (→ fig. 28) traverse un roulement, autrement dit passe d'une bague à l'autre via les éléments roulants (a). Au niveau des surfaces de contact, le processus est similaire à celui exploité pour le soudage à l'arc électrique (densité de courant élevée sur une petite surface de contact, b). La température du matériau s'élève à des niveaux compris entre le niveau de trempe et le niveau de fusion. Apparaissent alors des zones décolorées, de dimensions variables, dans lesquelles le matériau a été trempé,

re-durci ou a fondu. Des cratères se forment également aux endroits où le métal a fondu, puis se détachent sous l'effet de la rotation de l'élément roulant (c). Une usure du matériau en excès sur les éléments roulants s'opère (d). Aspect : Cratères dans les pistes et éléments roulants. Parfois des marques de brûlure en zigzag peuvent être observées dans les pistes de roulements à billes. Des marques de brûlure locales sont visibles sur les pistes et les éléments roulants.

La fig. 29 montre un exemple de roulement à rotule sur rouleaux soumis à

une surtension. On observe sur le rouleau un certain nombre de cratères relativement gros. Sur le grossissement, on aperçoit clairement des cratères avec du matériau fondu autour des bords.

La fig. 30 montre la détérioration causée par une surtension dans un roulement rigide à billes, sur une bille et dans la piste de la bague extérieure. Observez les marques de brûlure en zigzag.

Érosion due à une surtension sur un rouleau de roulement à rotule sur rouleaux

Fig. 29



Cratères de 0,5 mm de diamètre



Grossissement

Érosion due à une surtension sur la piste de la bague extérieure et sur une bille d'un roulement rigide à billes

Fig. 30



Érosion due à une fuite de courant

5.4 Électroérosion

5.4.2 Érosion due à une surtension

5.4.3 Érosion due à une fuite de courant

- faible intensité de courant
- cratères superficiels rapprochés
- apparition sur les pistes et sur les éléments roulants de cannelures parallèles à l'axe de roulement
- aspect mat, coloration gris-noir

Dans un premier temps, la surface présente des cratères superficiels, proches les uns des autres et de diamètre inférieur par rapport à la détérioration causée par une surtension. Cela se produit même si l'intensité du courant reste relativement faible. Les cratères sont grossis 500x et 5000x sur la **fig. 31**.

Ces cratères peuvent évoluer vers un motif de rainurage au fil du temps. Ce motif apparaît sur les pistes (→ **fig. 32** et **34**). Dans le cas de roulements à rouleaux, le motif de rainurage apparaît également sur les rouleaux (→ **fig. 34**). Dans tous les roulements, généralement, les billes se décolorent (aspect mat, gris clair à gris foncé) sur toute leur surface.

L'ampleur de la détérioration dépend d'un certain nombre de facteurs : intensité du courant, durée, charge du roulement, vitesse et lubrifiant.

La **fig. 33** représente une vue en coupe grossie 500 fois d'un roulement. La zone blanche correspond au redurcissement du métal ; la durée atteint généralement de 66 à 68 HRC. Ce matériau est très dur et cassant. Au-dessous apparaît une couche noire, qui a recuit sous l'effet de la chaleur et présente une dureté inférieure (56 à 57 HRC) par rapport au matériau du roulement environnant.

Rainurage produit par l'érosion due à une fuite de courant

Fig. 32

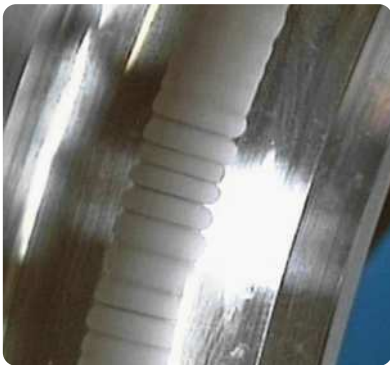
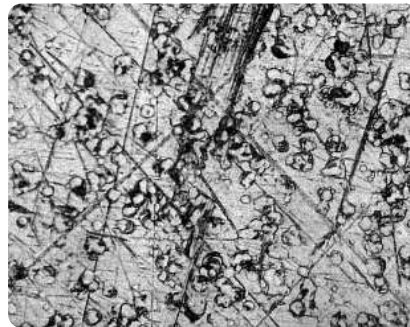
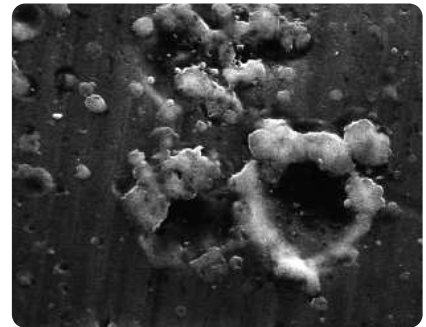


Fig. 31



Grossissement 500x

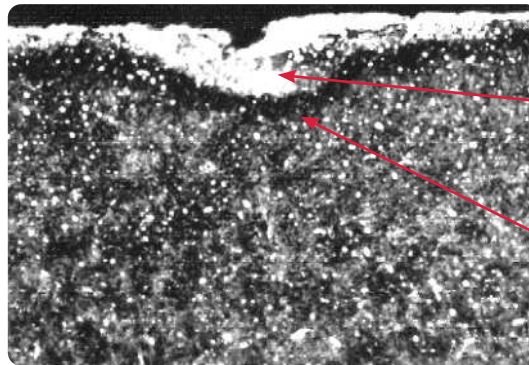


Grossissement 5 000x

Cratères produits par l'érosion due à une fuite de courant

Modifications de la durée du matériau résultant du passage du courant

Fig. 33



66 à 68 HRC

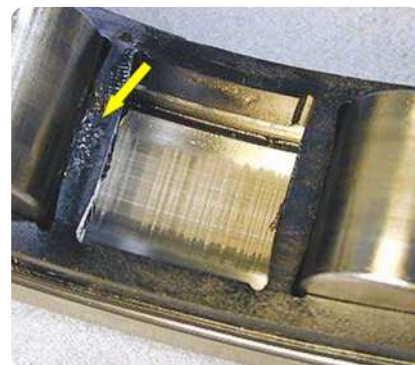
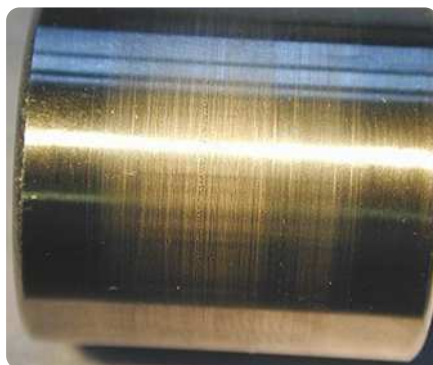
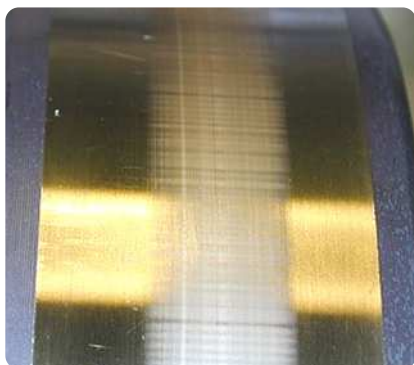
56 à 57 HRC

La **fig. 34** représente un roulement à rouleaux cylindriques détérioré par le passage du courant. Un motif de rainurage se développe sur les pistes et les rouleaux. On aperçoit de la graisse sur les alvéoles de la cage. Au début de ce mode de défaillance, la graisse carbonise progressivement et perd sa capacité à former un film lubrifiant. Il en résulte une fatigue initiée en surface, un écaillage, voire un grippage brutal.

4

Rainurage sur les pistes des bagues intérieure et extérieure et sur les rouleaux

Fig. 34



Déformation plastique

Déformation due à une surcharge

5.5 Déformation plastique

5.5.2 Déformation due à une surcharge

5.5.3 Indentations par des corps étrangers

- charges statiques ou avec chocs
- creux de déformation plastique de même espacement que les éléments roulants
- détérioration due à la manutention
- surcharge localisée
- entailles causées par des objets durs/pointus

Une déformation due à une surcharge peut être causée par une surcharge statique, des charges avec chocs ou une mauvaise manutention. Dans tous les cas, la détérioration qui en résulte présente le même aspect, raison pour laquelle ces situations sont regroupées sous un même sous-mode de défaillance.

Sur la **fig. 35**, la cage a été frappée directement, ce qui a conduit à sa déformation. En service, un tel roulement générerait des niveaux sonore et vibratoire élevés.

L'application de la force de montage via les éléments roulants (→ **fig. 36**) ou l'application d'une charge anormale sur le roulement à l'arrêt peuvent provoquer une indentation des pistes et des éléments roulants. La distance entre les empreintes correspond à l'espace des éléments roulants (→ **fig. 37**).

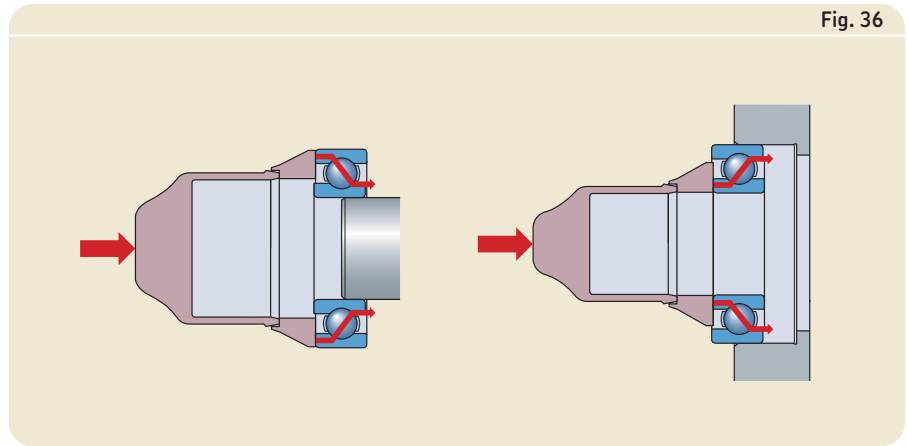


Fig. 36

Déformation due à une surcharge causée par une méthode de montage incorrecte

Déformation plastique sur la cage d'un roulement à billes à contact oblique causée par une mauvaise manutention



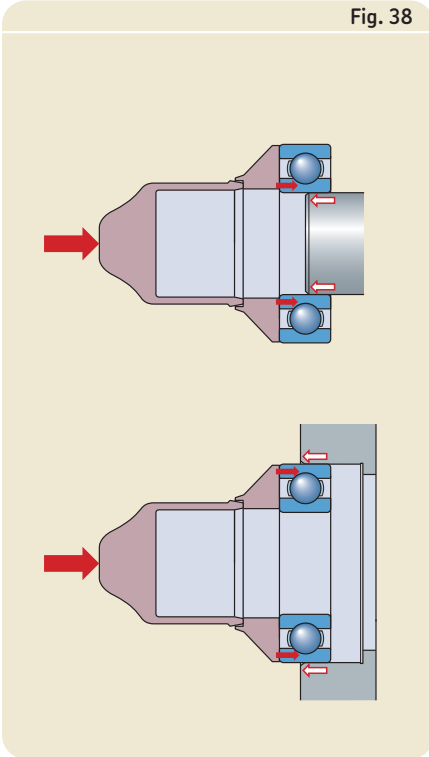
Fig. 35

Empreintes de même espacement que les billes sur une piste de roulement à deux rangées de billes à contact oblique dues à une manutention incorrecte



Fig. 37

Fig. 38



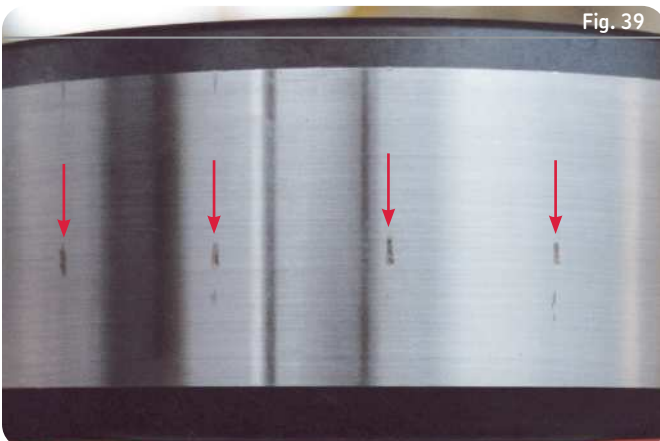
Montage correct

La solution consiste à toujours employer des outils et méthodes de montage appropriés (→ **fig. 38**).

Une bonne manutention est essentielle pendant la fabrication, le transport, le stockage et le montage. Une mauvaise manutention induit des surcharges localisées et l'apparition d'entailles causées par des objets durs et/ou pointus sur les éléments roulants. La **fig. 39** montre le résultat d'une mauvaise manutention d'un roulement à rouleaux cylindriques lors du montage. Les rouleaux ont créé sur la piste de la bague intérieure des entailles de même espacement qu'eux. En service, un tel roulement générerait des niveaux sonore et vibratoire élevés.

Bague intérieure d'un roulement à rouleaux cylindriques présentant des entailles causées lors du montage

Fig. 39



Indentations par des corps étrangers

5.5 Déformation plastique

5.5.2 Déformation due à une surcharge

5.5.3 Indentations par des corps étrangers

- surcharge localisée
- refoulement de particules ; empreintes
- acier doux/cémenté / minéraux durs

Des contaminants solides peuvent pénétrer à l'intérieur d'un roulement via les joints ou le lubrifiant. Ils peuvent également être produits par l'usure ou la détérioration d'un composant adjacent, comme une roue dentée.

Au passage des éléments roulants, ils sont enfoncés dans la piste, ce qui crée des empreintes. Les particules qui créent les empreintes ne sont pas nécessairement dures. Les particules tendres, si elles sont relativement grosses, peuvent également être néfastes.

Les bords en relief d'une empreinte entraînent une fatigue. Lorsqu'un certain niveau de fatigue est atteint, un écaillage prématuré se développe, en aval de l'empreinte (→ **fig. 40**). L'écaillage commence par une fissure en surface.

La théorie SKF de la durée de vie permet de calculer la diminution de la durée de vie due à l'indentation. Les paramètres de fonctionnement les plus importants pour le calcul sont le type et la taille de roulement, la vitesse de rotation, la charge, le rapport de viscosité de l'huile, ainsi que la taille, la

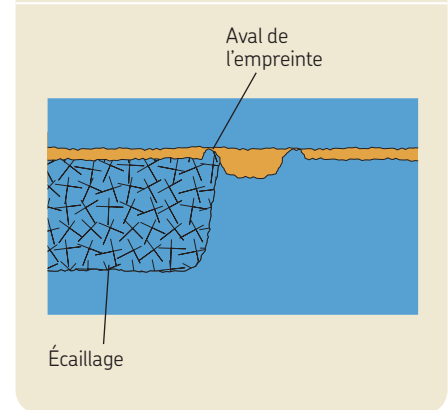
dureté et la concentration des particules polluantes.

La propreté du lubrifiant et des procédures de manutention appropriées lors du montage sont primordiales pour prévenir l'indentation.

La **fig. 41** montre un roulement rigide à billes qui présente un écaillage dû à une indentation. Le passage des éléments roulants s'effectue du bas vers le haut. La forme en V est typique d'une détérioration par indentation dans un roulement où un écaillage initial s'est formé en aval de l'empreinte.

La **fig. 42** illustre clairement les conséquences des empreintes (bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux). Le passage des éléments roulants s'effectue de la droite vers la gauche. Une particule plutôt grosse et tendre a été emprisonnée dans la piste et comprimée par les éléments roulants. Au fond de l'empreinte, des lignes de broyage sont encore visibles. Vous pouvez également remarquer le bord en relief autour de l'empreinte. Sur la gauche, en aval de l'empreinte, on observe un écaillage étendu

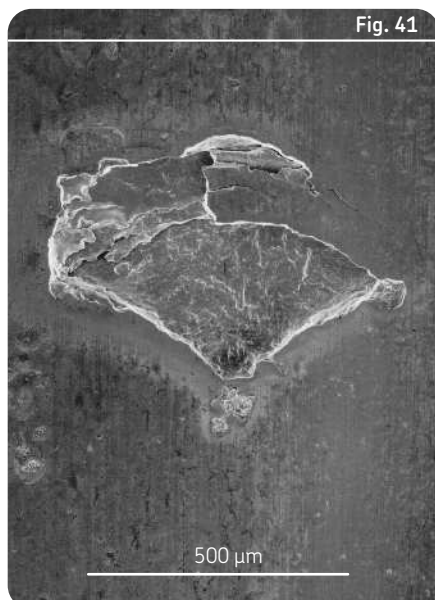
Fig. 40



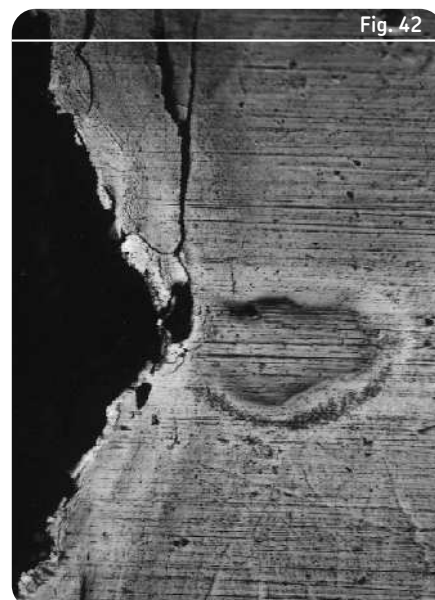
L'écaillage commence en aval d'une empreinte

(couleur noire), le matériau s'est détaché. Il y a également des fissures ; à ces endroits le matériau est sur le point de se détacher.

Écaillage faisant suite à une indentation dans la bague intérieure d'un roulement rigide à billes



Écaillage résultant d'une indentation dans un roulement à rotule sur rouleaux



Fissuration et rupture

Rupture forcée

5.6 Fissuration et rupture

5.6.2 Rupture forcée

5.6.3 Rupture par fatigue

5.6.4 Fissuration thermique

- concentration de contraintes dépassant la résistance à la traction du matériau
- choc/contrainte excessive

Une rupture forcée se produit lorsque les concentrations de contraintes dépassent la résistance à la traction du matériau. Une surcharge ou des contraintes excessives localement sont deux causes fréquentes de rupture forcée.

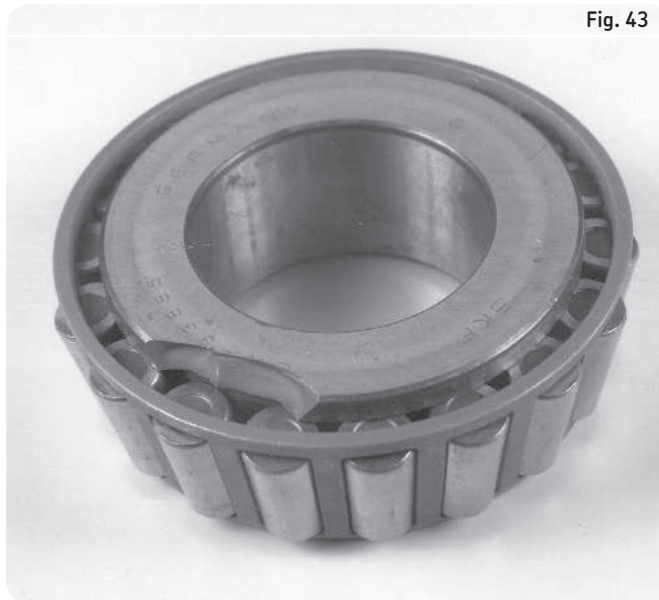
La **fig. 43** montre une rupture due à une manipulation brutale, qui fait partie des causes fréquentes. Ce problème se produit lors d'un montage à froid au marteau et au burin.

Si la bague est frappée directement, de fines fissures peuvent apparaître et évoluer rapidement vers des fissures à cœur lorsque le roulement est mis en service.

Un enfoncement excessif (→ **fig. 44**) sur une portée conique peut également conduire à une rupture de la bague intérieure. Les contraintes circonférentielles de traction générées à l'intérieur de la bague par un enfoncement excessif engendrent une fissuration de la bague à la mise en service. Les bagues traitées par trempe martensitique sont plus sujettes à cette détérioration que celles traitées par trempe bainitique.

Il peut en être de même lorsque les roulements sont chauffés puis montés sur des arbres surdimensionnés.

Fig. 43



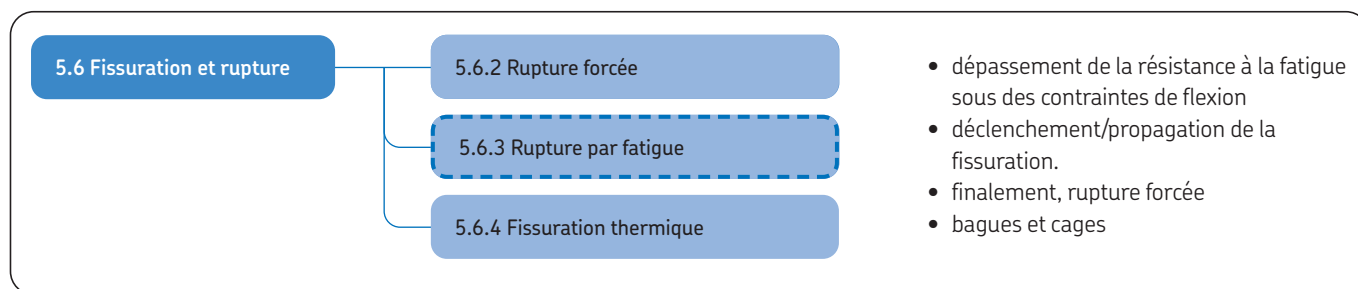
Rupture du grand épaulement de la bague intérieure d'un roulement à rouleaux coniques suite à une manipulation brutale

Rupture d'une bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux à alésage conique résultant d'un enfoncement excessif

Fig. 44



Rupture par fatigue



La rupture par fatigue apparaît en cas de flexion cyclique induisant un dépassement de la résistance à la fatigue du matériau. Une flexion répétée conduit à une fissure capillaire qui se propage jusqu'à la bague ou la cage et évolue vers une fissure à cœur.

La **fig. 45** montre un exemple de bague extérieure fissurée sur un roulement à rotule sur rouleaux. Ce roulement était monté dans un palier avec un support insuffisant dans la zone de charge. La bague extérieure était par conséquent soumise à des contraintes de flexion cycliques, jusqu'à ce qu'une fissure à cœur se développe.

Rupture par fatigue d'une bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux



Fissuration thermique

5.6 Fissuration et rupture

5.6.2 Rupture forcée

5.6.3 Rupture par fatigue

5.6.4 Fissuration thermique

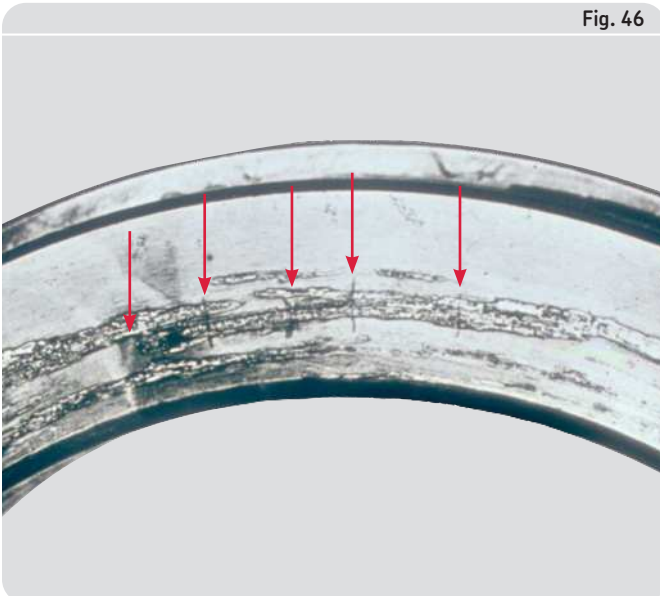
- glissement important et/ou lubrification insuffisante
- échauffement par frottement important
- fissures perpendiculaires au sens de glissement

Deux surfaces glissant l'une contre l'autre produisent un échauffement par frottement. Si le glissement est important, l'échauffement généré peut être à l'origine de fissures, généralement perpendiculaires au sens de glissement.

Un exemple typique est illustré par la **fig. 46**. Une bague intérieure tournante, montée avec un ajustement libre, a été soumise à une charge axiale. Sous l'effet du phénomène de roulement, un mouvement de glissement de la face latérale du roulement s'est opéré contre l'épaule de l'arbre ou l'entretoise, entraînant un grippage. L'échauffement par frottement se traduit par des fissures transversales pouvant conduire à une fissure à cœur de la bague.

Fissures thermiques transversales sur la petite face de la bague intérieure d'un roulement à rouleaux coniques

Fig. 46



5 Détériorations et mesures correctives

Afin d'étayer les propos du chapitre 4, Classification des modes de défaillance ISO, ce chapitre contient un certain nombre d'illustrations supplémentaires.

Il n'est évidemment pas possible de couvrir ici tous les types de détériorations. Les détériorations de roulements peuvent prendre différents aspects selon : le type et la taille du roulement, les conditions de service, la lubrification, la contamination, etc. Par conséquent, seuls un nombre limité de cas sont présentés ici.

Les illustrations sont classées par sous-mode, d'après la classification ISO. Pour chaque sous-mode, une liste des mesures correctives envisageables est fournie. Pour chaque illustration, le type de roulement et le composant détérioré sont indiqués, ainsi que la cause possible.

Fatigue initiée en sous-couche

Actions :

- Assurez-vous d'utiliser un roulement adapté aux conditions de l'application et à leur variation (charge, température, vitesse, défaut d'alignement, montage, etc.)
- Utilisez des roulements de qualité, à la pointe de la technologie
- Si possible, utilisez des roulements de la classe de performance SKF Explorer, pour une durée de service accrue
- Assurez-vous que les composants adjacents sont correctement conçus et fabriqués
- Montez le roulement correctement



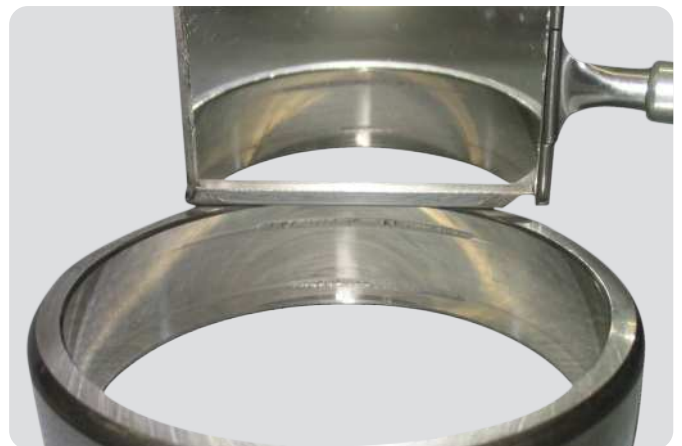
Bague intérieure de roulement rigide à billes
Fatigue du matériau



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Fatigue du matériau



Bague intérieure de roulement à rouleaux coniques
Écaillage d'un seul côté de la piste, résultant d'un défaut d'alignement et des charges de bord associées, et se traduisant par une hausse des contraintes et, au bout du compte, une défaillance



Bague extérieure de roulement à rotule sur billes
Écaillage à 180° résultant d'une charge excessive induite par une ovalisation

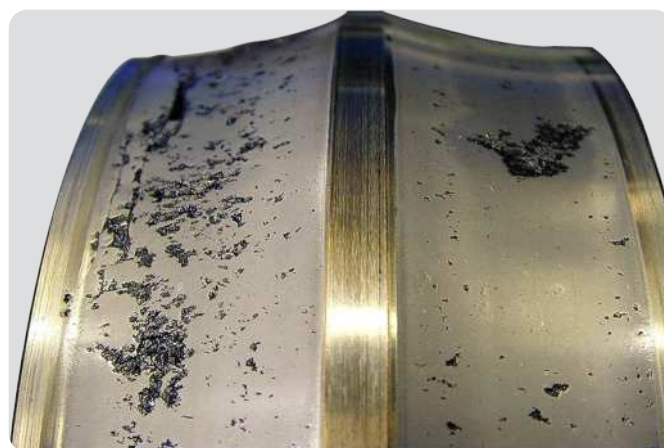
Fatigue initiée en surface

Actions :

- Assurez-vous d'utiliser un roulement adapté aux conditions de l'application et à leur variation (charge, température, vitesse, défaut d'alignement, montage, etc.)
- Assurez-vous que la lubrification est appropriée : le bon lubrifiant, au bon moment et en bonne quantité
- Améliorez la capacité de séparation des surfaces du lubrifiant (viscosité du lubrifiant, additifs, formulation de la graisse)
- Vérifiez la qualité du lubrifiant régulièrement
- Réduisez la contamination (amélioration de l'étanchéité, filtration de l'huile)



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Lubrification inappropriée, altération de la surface avec début d'écaillage



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Film lubrifiant inapproprié. Au début, usure par abrasion due à la contamination, évoluant vers une altération de la surface et un écaillage



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Au début, usure par abrasion due à la contamination, évoluant vers une altération de la surface et un écaillage sévère



Bague extérieure de roulement à rouleaux coniques
Film lubrifiant inapproprié conduisant à une altération de la surface et un écaillage sévère



Bague intérieure de roulement à rouleaux cylindriques

Film lubrifiant inapproprié, défaut d'alignement excessif, altération de la surface avancée



Bague extérieure de roulement à rouleaux cylindriques

Film lubrifiant inapproprié, un certain défaut d'alignement, altération de la surface avancée



Bague intérieure de roulement à rouleaux coniques

Film lubrifiant inapproprié, altération de la surface sur une zone étendue



Bague intérieure de roulement rigide à billes

Charge axiale excessive se traduisant par un film lubrifiant trop mince et une altération de la surface



Bague intérieure de roulement à billes à contact oblique à deux rangées
Défaut d'alignement excessif induisant des charges excessives avec deux zones de charge distantes disposées à 180°



Bague intérieure de roulement rigide à billes
Impact au cours du montage ayant entraîné un écaillage qui reproduit l'espacement des billes

Usure par abrasion

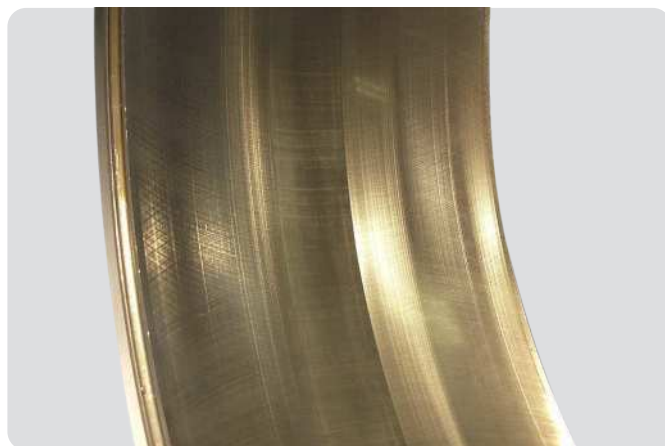
Actions :

- Assurez-vous qu'un dispositif d'étanchéité approprié aux conditions d'utilisation est en place
- Assurez-vous que la lubrification est appropriée : le bon lubrifiant, au bon moment et dans la bonne quantité
- Vérifiez la qualité du lubrifiant régulièrement
- Vérifiez l'intégrité du système d'étanchéité régulièrement
- Vérifiez que les ajustements sur l'arbre et dans le logement sont optimaux pour éviter le roulage



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux

Contamination et, par conséquent, lubrification inappropriée conduisant à une usure par abrasion des pistes - aspect légèrement brillant



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux

Usure par abrasion des pistes à un stade précoce



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux

Usure par abrasion des pistes. Celle qui est chargée axialement est également partiellement décolorée, ce qui révèle une lubrification inappropriée et un dégagement de chaleur. L'autre piste présente une trace de fonctionnement plus étroite caractérisée par un aspect mat



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux

Contamination par des particules fines - usure par abrasion des pistes - aspect plutôt brillant. L'usure des alvéoles de la cage a entraîné la formation d'une rainure de chaque côté



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux

Contamination et, par conséquent, lubrification inappropriée conduisant à une usure par abrasion des pistes - l'une des pistes est plus détériorée du fait de la charge axiale



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux

Pénétration de contaminants conduisant à une lubrification inappropriée, une usure par abrasion des pistes et un début d'écaillage



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux

Bague intérieure fixe - usure par abrasion sévère - deux zones d'usure : une avec une usure sévère, et une seconde zone due au roulage de la bague intérieure



Cage de roulement à billes à contact oblique

Usure par abrasion des alvéoles de la cage due à une lubrification inappropriée combinée à des vibrations. Usure des barrettes de la cage



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux

Roulage de la bague dans le palier en raison d'un ajustement inadéquat - marques d'usure par abrasion sur la surface extérieure



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux

Roulage de la bague dans le palier en raison d'un ajustement inadéquat - usure par polissage sur la surface extérieure

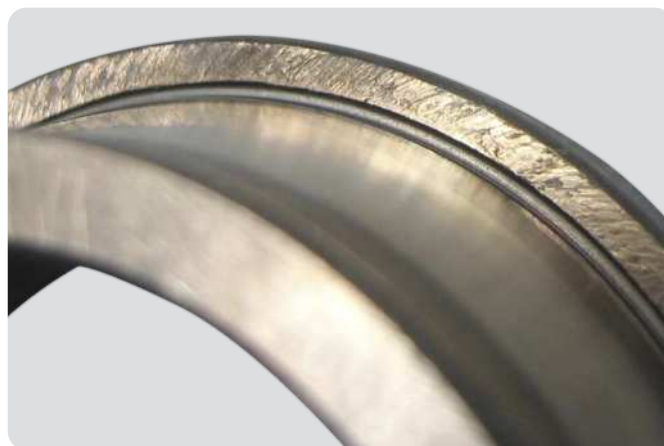
Usure par adhésion

Actions :

- Assurez-vous que le roulement est soumis à une charge appropriée
- Assurez-vous que le dispositif d'étanchéité fonctionne efficacement
- Étudiez la possibilité d'utiliser un roulement de plus petites dimensions
- Vérifiez les caractéristiques du lubrifiant (viscosité, additifs AW et EP)
- Étudiez la possibilité d'utiliser des revêtements
- Étudiez la possibilité d'utiliser des roulements hybrides



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Charge trop faible associée à une lubrification inappropriée



Bague intérieure de roulement à rouleaux coniques
Contamination et lubrification inappropriée entraînant une usure par adhésion de l'épaulement et un aspect brillant de la piste



Roulement à rouleaux coniques - rouleau
Contamination et lubrification inappropriée se traduisant par des marques d'usure par adhésion sur la plus grande face du rouleau



Bague extérieure de butée à rotule sur rouleaux
Dans un premier temps : usure par adhésion, puis échauffement excessif, pour finir : coincement

Corrosion due à l'humidité

Actions :

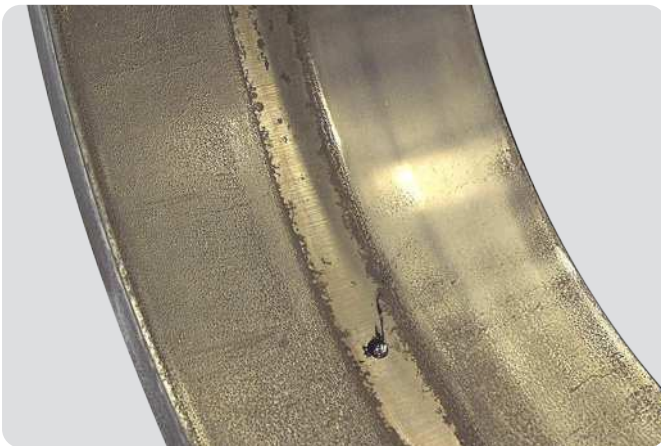
- Assurez-vous que le montage de roulement est correctement protégé
- Étudiez la possibilité d'utiliser des roulements étanches en fonction de l'environnement de fonctionnement
- Assurez-vous que la lubrification est appropriée : le bon lubrifiant, au bon moment et dans la bonne quantité
- Sortez les roulements de leur emballage au dernier moment
- Protégez les roulements montés de façon adéquate



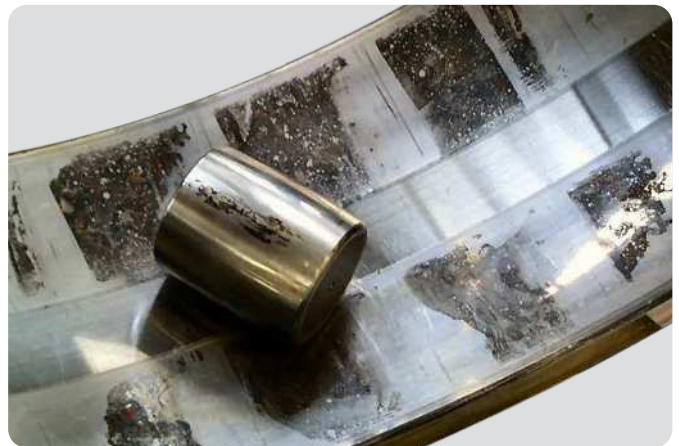
Roulement à rouleaux coniques dans une pompe
Défaillance de l'étanchéité, corrosion du roulement et coloration rougeâtre de la graisse



Roulement à rotule sur rouleaux - rouleau
Rouleau corrodé en raison d'une pénétration d'eau importante à l'intérieur du roulement



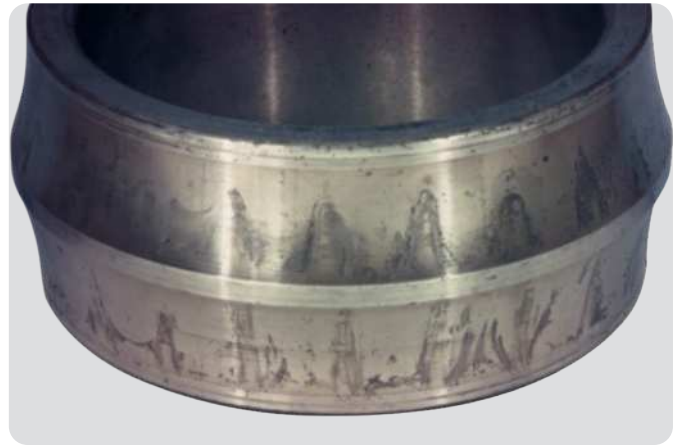
Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Défaillance du dispositif d'étanchéité, pénétration d'une substance corrosive à l'intérieur du roulement



Bague extérieure et rouleau de roulement à rotule sur rouleaux
Quantité d'eau excessive dans le lubrifiant, corrosion à l'arrêt de la piste avec un espacement similaire à celui des rouleaux



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Quantité d'eau excessive dans le lubrifiant, séries de marques d'attaque à l'arrêt de même espacement que les rouleaux



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Contamination par l'eau du lubrifiant, séries de marques d'attaque à l'arrêt de même espacement que les rouleaux



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Défaillance du dispositif d'étanchéité, corrosion à l'arrêt



Roulement à rouleaux coniques - rouleau
Surface de piste rouillée à cause de la transpiration des doigts

Corrosion de contact

Actions :

- Sélectionnez des ajustements appropriés
- Assurez-vous que les portées du roulement sont correctement usinées
- Vérifiez que les portées du roulement sont conformes aux spécifications dimensionnelles et géométriques (y compris après une réparation de la machine)
- En cas d'ajustements libres, envisagez d'appliquer un agent anti-fretting ou un revêtement sur l'une des surfaces du roulement



*Bague intérieure de roulement à rouleaux cylindriques
Ajustement sur l'arbre inapproprié (trop libre)*



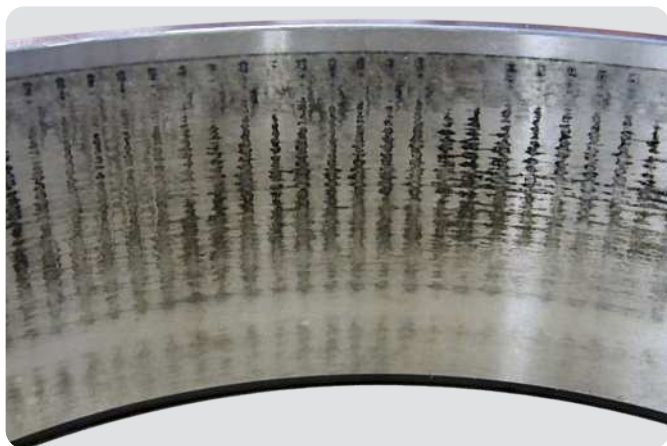
*Bague intérieure de roulement à rouleaux cylindriques
Ajustement sur l'arbre inapproprié, support irrégulier*



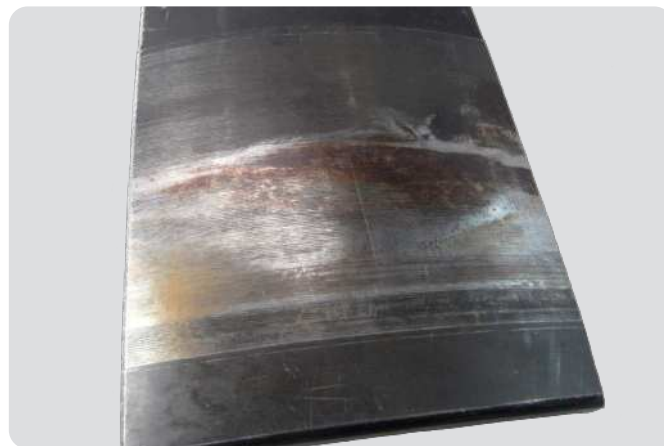
*Bague intérieure de roulement à rouleaux cylindriques
Ajustement sur l'arbre inapproprié, support irrégulier*



*Bague intérieure de roulement à rouleaux coniques
Ajustement sur l'arbre inapproprié*



Bague intérieure de roulement à rouleaux coniques
Marques de micro-mouvements résultant de l'ondulation d'usinage de l'arbre



Bague extérieure de roulement à rouleaux coniques (phosphatée)
Support de bague irrégulier



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Zone de corrosion de contact d'aspect brun résultant des micro-mouvements dus à un écaillage avancé des pistes, et rayures causées par un démontage



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Support de bague inapproprié

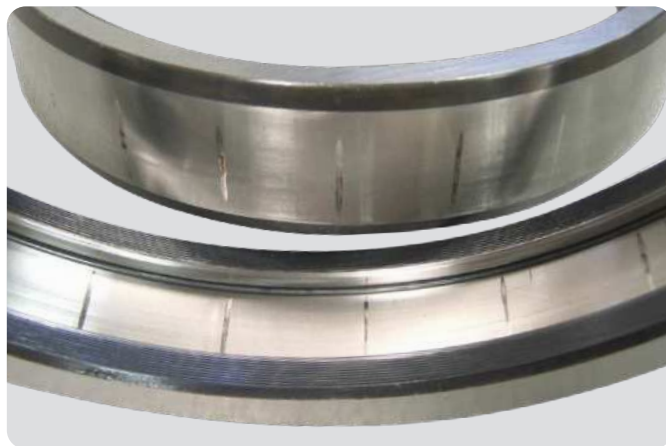


Rondelle-arbre de butées à rotule sur rouleaux
Portée inappropriée

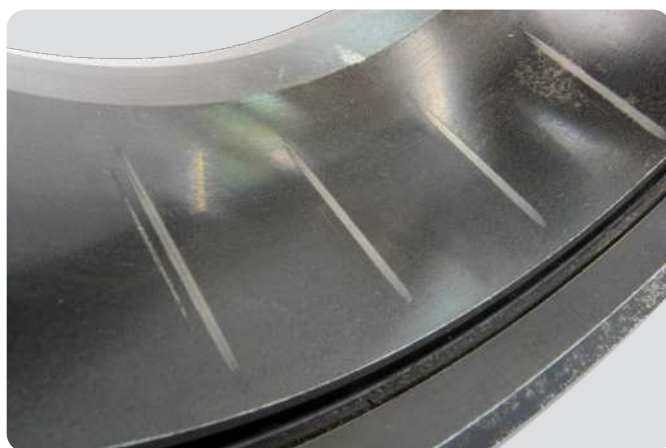
Faux effet Brinell

Actions :

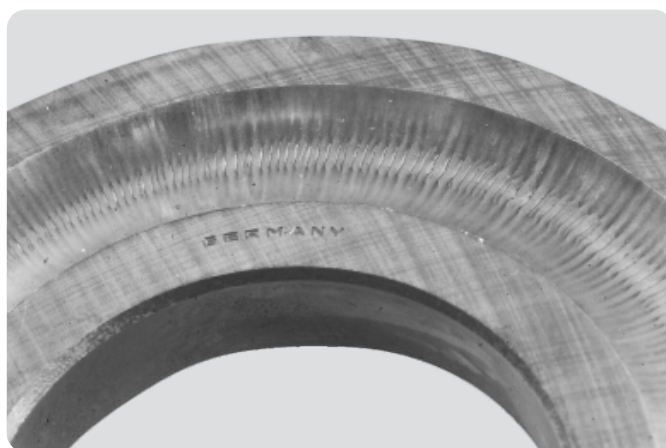
- Veillez à ne pas exposer les roulements à des vibrations à l'arrêt
- Étudiez la possibilité d'installer des tampons amortisseurs de vibrations
- Appliquez un lubrifiant aux propriétés anti-effet Brinell
- Faites tourner régulièrement les machines de secours
- Utilisez des roulements adaptés aux applications vibrantes



Bagues intérieure et extérieure de roulement à rouleaux cylindriques
Expositions à des vibrations à l'arrêt, marques de faux effet Brinell de même espacement que les rouleaux



Bague extérieure de roulement à rouleaux coniques à deux rangées
Expositions à des vibrations à l'arrêt, marques de faux effet Brinell de même espacement que les rouleaux



Rondelle d'arbre de butée à billes
Expositions à des vibrations à l'arrêt, plusieurs séries de marques de faux effet Brinell de même espacement que les billes



Bague intérieure de roulement à rouleaux toroïdaux CARB
Expositions à des vibrations à l'arrêt avec petits mouvements oscillatoires, marques de faux effet Brinell de même espacement que les rouleaux



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Expositions à des vibrations excessives à l'arrêt, séries de marques de faux effet Brinell de même espacement que les rouleaux

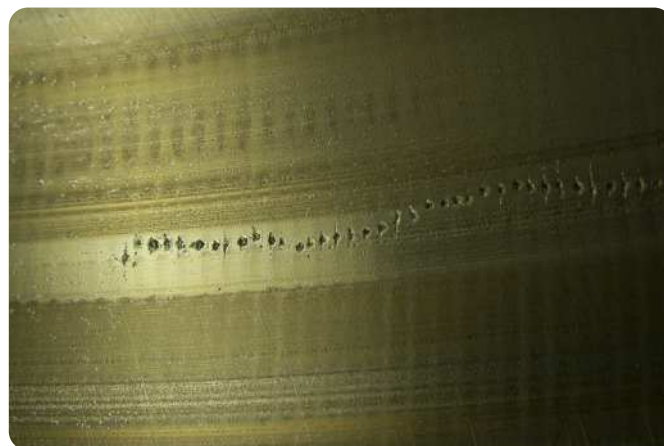
Érosion due à une surtension

Actions :

- Vérifiez que les raccordements à la terre sont correctement effectués
- Utilisez des roulements isolés (roulements INSOCOAT ou hybrides)



Roulement à rotule sur rouleaux - rouleau
Érosion due à une surtension entraînant la formation de nombreux cratères disposés en cordon



Roulement à rotule sur rouleaux - rouleau
Vue grossie de cratères disposés en cordon



Roulement à rotule sur rouleaux - rouleau
Érosion due à une surtension entraînant la formation de nombreux cratères disposés en zigzags



Bagues intérieure de roulement rigide à billes et bille
Érosion due à une surtension entraînant la formation de nombreux cratères disposés en zigzags sur la bille et la piste

Érosion due à une fuite de courant

Actions :

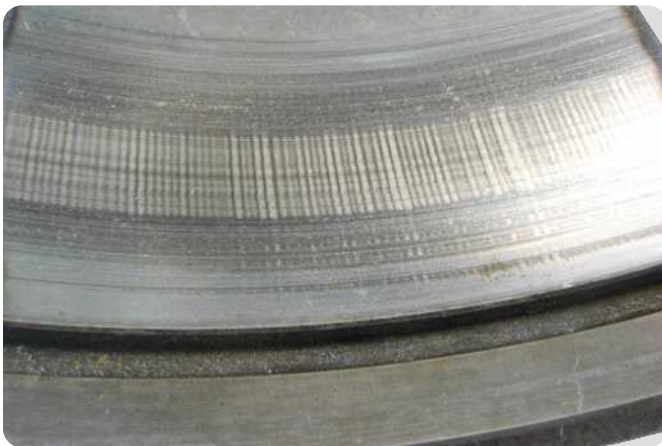
- Utilisez un câblage symétrique
- Vérifiez que le stator et le rotor sont correctement alignés
- Utilisez des roulements isolés (roulements INSOCOAT ou hybrides)
- Vérifiez que les raccordements à la terre sont correctement effectués



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Détérioration au stade initial : zone d'aspect mat et grisâtre avec des cratères de faible profondeur



Bague extérieure de roulement à rouleaux cylindriques
Début de rainurage



Bague extérieure de roulement à rouleaux coniques
Début de rainurage



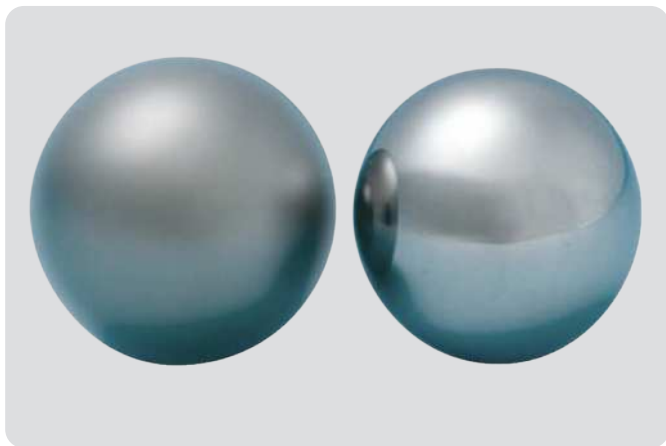
Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Érosion due à une fuite de courant



Bague extérieure de roulement à rouleaux cylindriques
Rainurage avancé



Bagues extérieure de roulement rigide à billes et bille
Rainurage dans la bague extérieure et surface d'aspect mat de bille



Roulement rigide à billes - billes
À gauche : bille détériorée – surface mate
À droite : bille neuve – surface brillante



Bague extérieure de roulement à rouleaux cylindriques avec cage, rouleaux et graisse
Graisse carbonisée (noire) sur les barrettes de la cage en raison d'une fuite de courant

Déformation due à une surcharge

Actions :

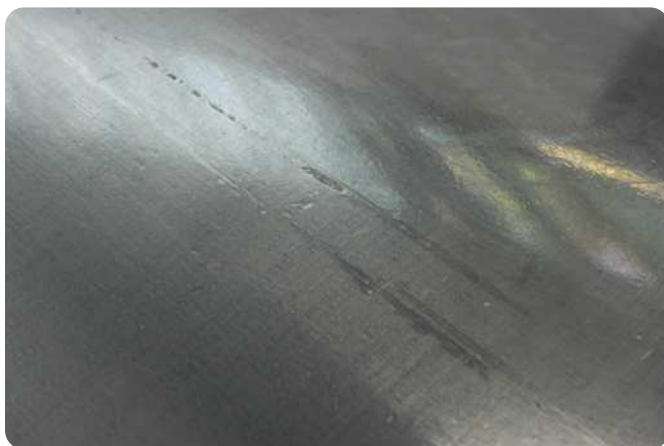
- Utilisez la méthode appropriée pour le montage des roulements
- Utilisez des outils appropriés, notamment une douille de frappe si besoin
- Suivez scrupuleusement les procédures de montage et autres instructions



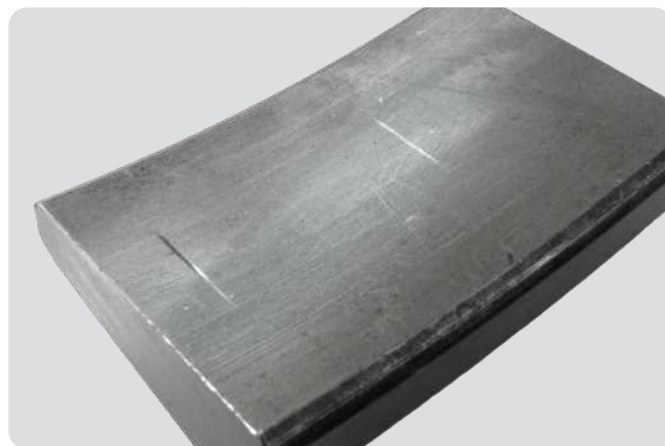
Bague intérieure de roulement à rouleaux cylindriques
Lors du montage, les bagues intérieure et extérieure n'ont pas été correctement alignées. Marques axiales de même espacement que les rouleaux



Bague intérieure de roulement à rouleaux cylindriques
Lors du montage, les bagues intérieure et extérieure n'ont pas été correctement alignées. Marques axiales de même espacement que les rouleaux



Bague extérieure de roulement à rouleaux coniques
Stries dues à une mauvaise manipulation



Bague extérieure de roulement à rouleaux coniques
Stries dues à un mauvais montage



Bague extérieure de roulement à rouleaux coniques à deux rangées
Surcharge et défaut d'alignement à l'arrêt entraînant une déformation ainsi qu'un écaillage consécutif, de même espacement que les rouleaux



Butée à rotule sur rouleaux - rouleau
Impact important, déformation plastique



Bague extérieure de roulement rigide à billes
Déformation plastique selon un espacement identique à celui des billes causée par l'application de la force de montage sur la mauvaise bague



Roulement à rouleaux coniques monté sur une boîte d'essieu ferroviaire
La cage a été frappée directement lors du montage, ce qui a causé une déformation permanente (aplanissement)

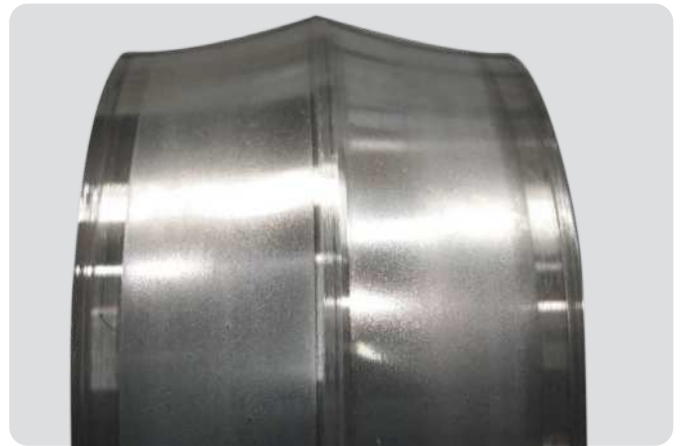
Indentations par des corps étrangers

Actions :

- Veillez à travailler dans des conditions de propreté
- Utilisez un système d'étanchéité approprié pour protéger le roulement
- Assurez-vous que la lubrification est appropriée : le bon lubrifiant, au bon moment et en bonne quantité
- Ne laissez jamais tomber un roulement
- Manipulez les roulements avec soin



Bague intérieure de roulement rigide à billes
Empreintes résultant du refoulement de particules dures - dispositif d'étanchéité inapproprié



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Nombreuses petites empreintes résultant du refoulement de particules dures - dispositif d'étanchéité inapproprié



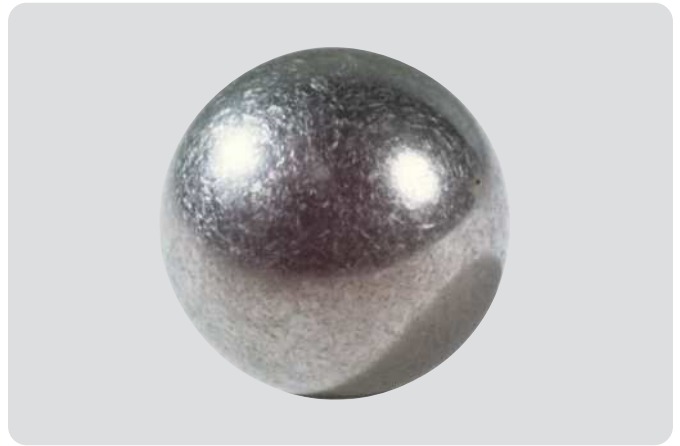
Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Refoulement de particules dures ayant pénétré à l'intérieur du roulement pendant le montage - manque de propreté



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Le refoulement des copeaux entraînera un écaillage



Bague intérieure de roulement à rouleaux coniques
 Refoulement de grosses particules dures ayant pénétré à l'intérieur du roulement en raison d'un dispositif d'étanchéité inapproprié



Roulement rigide à billes - bille
 Détérioration due à la présence de particules dures dans un lubrifiant très contaminé



Bague intérieure de roulement rigide à billes
 Refoulement de particules et écaillage consécutif initié en aval des empreintes



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
 Refoulement de copeaux ayant pénétré à l'intérieur du roulement pendant le montage - manque de propreté

Rupture forcée

Actions :

- Sélectionnez des ajustements appropriés
- Utilisez la méthode appropriée pour le montage des roulements
- Utilisez des outils appropriés, notamment une douille de frappe si besoin
- Suivez scrupuleusement les procédures de montage et autres instructions
- N'effectuez jamais de manipulation brutale avec les roulements et n'appliquez jamais la force via les éléments roulants



Bague intérieure de roulement à rouleaux coniques
Le roulement a été monté sur un arbre surdimensionné



Face latérale de la bague extérieure d'un roulement rigide à billes
Rupture au niveau de la rainure d'ancrage du joint due à un impact lors du montage du roulement

5



Bague extérieure de roulement à rotule sur billes
Rupture résultant d'un défaut d'alignement excessif et du roulement des billes sur le bord de la piste



Roulement à rouleaux cylindriques - bague intérieure, bague extérieure et rouleaux
Roulement grippé - rupture forcée de la cage due à un problème de lubrification

Rupture par fatigue

Actions :

- Vérifiez que les portées du roulement sont conformes aux spécifications géométriques
- Dans le cas de paliers à joint diamétral, assurez-vous que les deux moitiés soient correctement assemblées
- Les portées du roulement doivent être propres (exemptes de copeaux susceptibles de causer une concentration de contraintes locale)
- Utilisez des outils et des méthodes de montage appropriés



Bague intérieure de roulement à rouleaux cylindriques
Écaillage très sévère - rupture par fatigue consécutive



Bague intérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Écaillage très sévère - rupture par fatigue consécutive



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Rupture par fatigue résultant d'une portée défectueuse dans le palier (copeau emprisonné dans le fond du palier)



Bague extérieure de roulement à rotule sur rouleaux
Défaut de la portée dans le palier conduisant à une corrosion de contact et, au final, à une rupture par fatigue

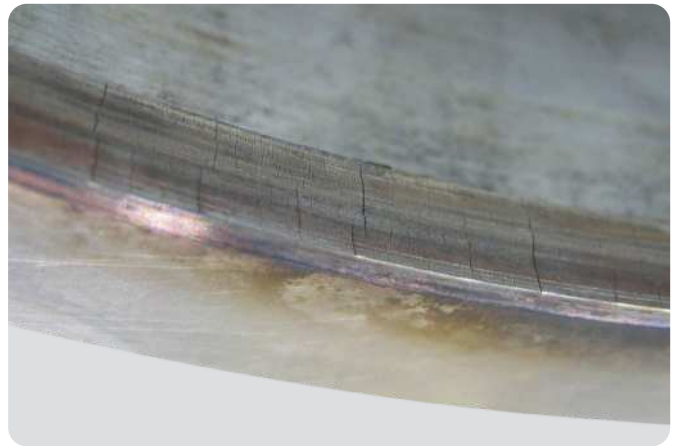
Fissuration thermique

Actions :

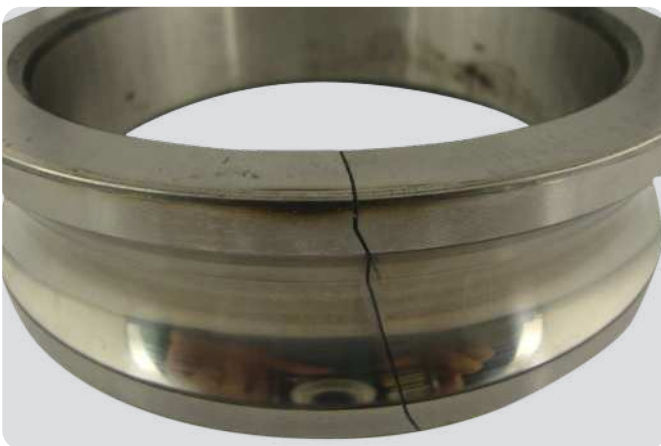
- Lubrifiez les surfaces de glissement et appliquez des revêtements de manière à réduire les pics de température locaux
- Assurez-vous que la lubrification est appropriée : le bon lubrifiant, au bon moment et en bonne quantité
- Contactez le service Applications Techniques SKF pour connaître les solutions spécifiques à l'application



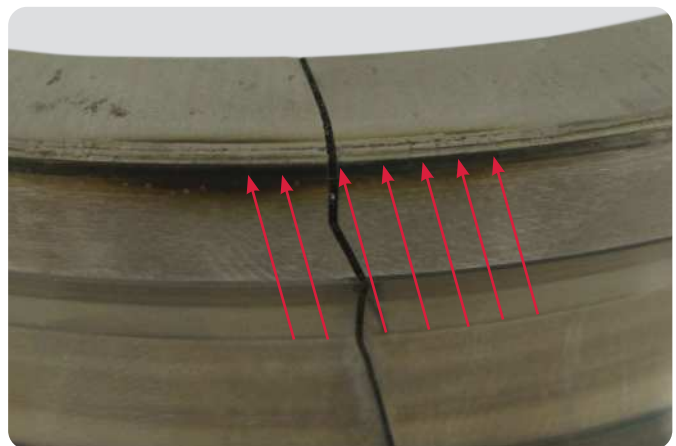
Bague extérieure de roulement à rouleaux cylindriques
Fissures thermiques au niveau du contact épaulement-cage dues à une lubrification inappropriée



Bague extérieure de roulement à rouleaux cylindriques
Fissures thermiques au niveau du contact épaulement-cage dues à une lubrification inappropriée



Bague intérieure de roulement rigide à billes
Rupture de la bague due à un frottement excessif contre un élément fixe du montage de roulement



Bague intérieure de roulement rigide à billes
Vue agrandie d'une bague fracturée avec un grand nombre de fissures thermiques le long de l'épaulement de la bague intérieure

6 Autres investigations

Le champ d'application de la norme ISO 15243 est limité aux :

- détériorations et modifications de l'aspect à l'intérieur d'un roulement en service
- modifications de l'aspect pouvant être attribuées à des causes spécifiques avec un niveau de certitude élevé
- évaluation des détériorations selon des méthodes non-destructives

Compte tenu de ces limites, il n'est pas toujours possible de déterminer la cause d'une défaillance. Des investigations plus approfondies peuvent être nécessaires. SKF propose toute une gamme de services d'inspection approfondie dans trois domaines d'expertise :

Métallurgie

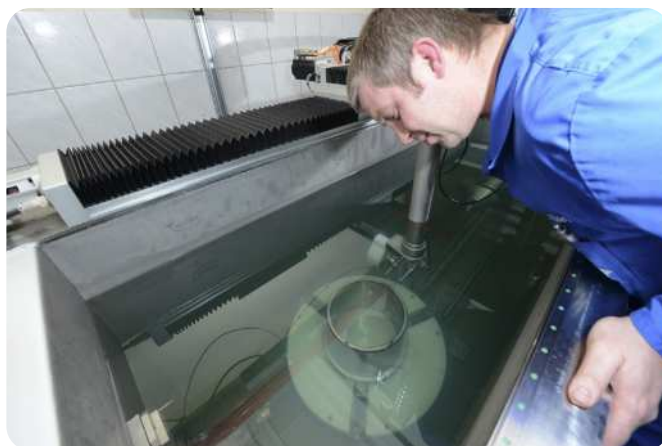
- évaluation de tous types de traitements thermiques
- tests pour micro et macro-inclusions, anomalies de la microstructure, réseaux et ségrégations de carbures, taille de grain, flux fibreux, défauts de surface, trempabilité et autres paramètres métallurgiques
- essais de dureté, résistance à la traction, limite d'élasticité et allongement, essais sur des composants et autres paramètres techniques
- examens métallurgiques
- aide au développement de spécifications de matériaux, d'essais et de traitements thermiques
- services d'inspection par ultrasons en immersion (bagues complètes, rouleaux, etc.)



Évaluation de la microstructure



Préparation d'échantillons de matériaux



Banc d'essai aux ultrasons

Analyse des défaillances et des performances

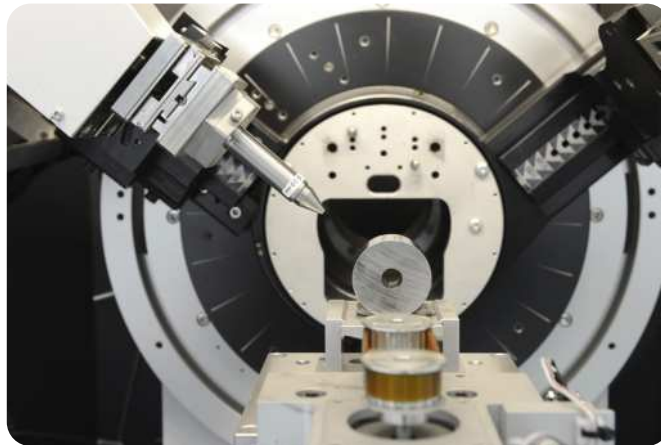
- analyse des défaillances de roulements et autres pièces (paliers, arbres à came par ex.) provenant de la production, d'essais sur banc ou de retours du terrain
- métallographie et essais sur les matériaux
- microanalyse de particules et contamination de roulements, couches de réaction et revêtements
- analyse de la réponse du matériau des roulements basée sur la diffraction des rayons X dans des essais sur banc ou sur le terrain pour identifier le mécanisme et l'évolution de la charge du matériau
- mesure des niveaux d'austénite résiduelle par diffraction des rayons X
- conseils en matériau et technologie

Chimie - propriétés et performances

- évaluation des propriétés physiques et chimiques des lubrifiants, polymères et matériaux de joints
- analyse de la graisse et de l'huile pour déterminer la durée restante de la graisse et les niveaux et types de contamination
- analyse élémentaire des matériaux
- détermination de la composition chimique de métaux par le biais des méthodes de spectrométrie par émission optique, fusion ou combustion sous gaz inerte
- évaluation des agents conservateurs et revêtements
- essais de compatibilité de lubrifiants, polymères et matériaux de joints
- évaluation de la propreté de lubrifiants et roulements, incluant le comptage des particules et l'analyse gravimétrique



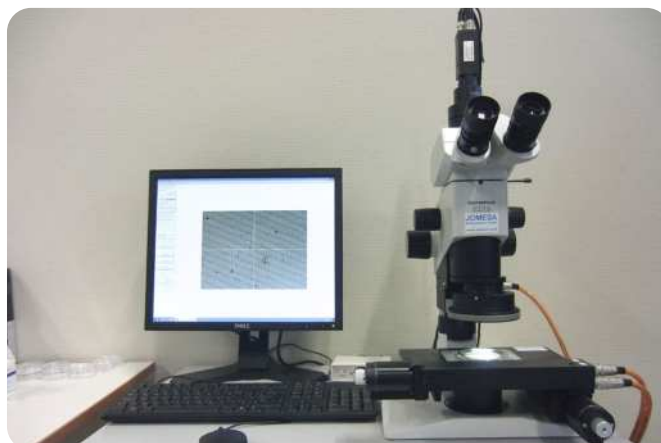
Microscope à balayage électronique



Appareil à diffraction des rayons X...



Évaluation de la propreté (analyse de la contamination) - rinçage



Évaluation de la propreté (analyse de la contamination) - évaluation automatique

7 Études de cas

Ce chapitre fournit quelques études de cas. Malgré la complexité de certains cas, des recherches approfondies menées par des ingénieurs SKF leur ont permis de déterminer la suite d'événements à l'origine d'une défaillance et de formuler des recommandations de mesures correctives.

Déraillement d'un train

Contexte

Secteur : Industrie ferroviaire
Application : Boîtes d'essieux SKF pour wagons de marchandises (→ fig. 1 et 2), charge utile par essieu de 20 tonnes.
Roulements : 2 x SKF 229750 J/C3R505 par boîte d'essieu
Problème : Déraillement

Wagons de marchandises équipés de bogies « Y-25 » intégrant des boîtes d'essieux avec suspension à double ressort



Lors de son passage au niveau du détecteur de boîte chaude (appareil installé à intervalles réguliers sur les voies pour détecter tout échauffement excessif des roulements), tout était normal.

Pourtant, 35 km plus loin, le train de marchandises en question a déraillé. L'axe d'un essieu monté s'était rompu. Le wagon concerné avait été révisé peu de temps auparavant dans un atelier de réparation agréé.

Observations et description de la détérioration des roulements et de la boîte d'essieu

Il s'agissait clairement bien plus que d'un simple « échauffement » (→ fig. 3). La bague extérieure du roulement interne était sévèrement déformée. D'après le niveau de déformation, la température du métal a dû dépasser les 800 °C (1 470 °F).

Entre la bague extérieure du roulement interne et le joint à chicane, il y avait un espace de 21 mm (fig. 3, en bas à gauche).

L'entretoise de l'arbre mesurait seulement 14 mm de large.

Analyse de la défaillance

Il existe deux versions différentes de cette boîte d'essieu qui sont pratiquement identiques :

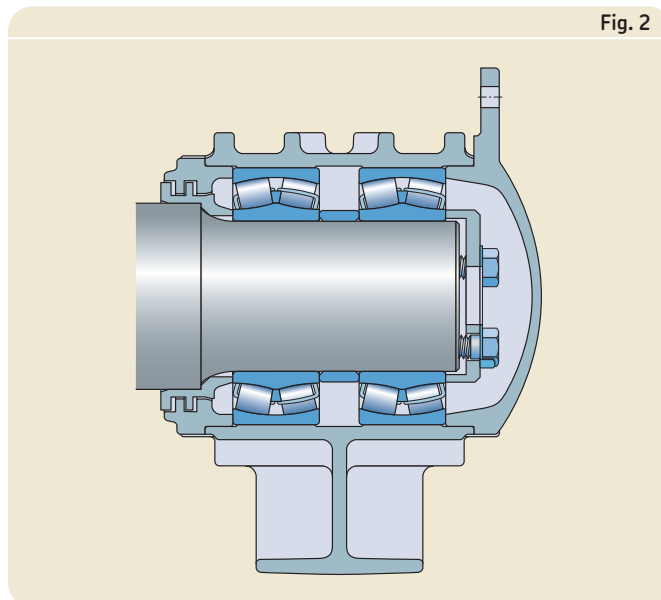
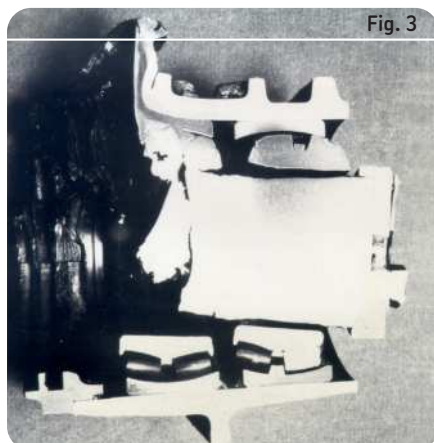
- L'ancienne version, dont il est question ici, est conçue pour une charge par essieu de 20 tonnes et l'entretoise utilisée entre les bagues intérieures des roulements mesure 35 mm.
- Conçue pour une charge par essieu de 22,5 tonnes, la dernière version en date utilise une entretoise de 14 mm entre les bagues intérieures des roulements. Cette entretoise plus courte a entraîné l'utilisation d'un arbre plus court et plus robuste pour permettre cette augmentation de la charge utile.

Il semble que, lors de la révision, ce soit l'entretoise la plus courte qui ait été installée. Par conséquent, les bagues intérieures des roulements n'étaient pas correctement serrées axialement et pouvaient par conséquent se déplacer sur leur portée sur l'arbre vers l'extérieur, ce qui a eu pour effet d'augmenter la flexion de l'arbre. De plus, les bagues extérieures n'étaient pas correctement positionnées dans le palier de la boîte d'essieu, d'où un contact axial au niveau des joints à chicane. Cela a entraîné un échauffement par frottement important, un grippage des roulements, une rupture de l'arbre et le déraillement.

Conclusions

L'installation d'une pièce inappropriée, s'agissant pourtant seulement d'une petite entretoise, a entraîné des coûts élevés (voies, caténaire, heures d'interruption de la circulation, six wagons envoyés à la casse).

Restes de la boîte d'essieu défaillante (en coupe) présentés pour l'analyse de défaillance



Montage de roulements de boîte d'essieu type pour une charge utile par essieu de 20 tonnes

Les deux bagues intérieures des roulements internes et externes sont maintenues en place par une bague à chicane sur l'arbre, une entretoise de 35 mm entre les bagues intérieures et une plaque d'extrémité. La boîte d'essieu est fixée axialement par un couvercle à chicane à joint diamétral du côté intérieur et une plaque d'extrémité du côté extérieur.

Recommandations à destination du client

Améliorer les instructions de maintenance en veillant à éliminer toute ambiguïté.

Actions correctives

Le client a révisé et amélioré les instructions de maintenance pour s'assurer qu'aucun accident similaire ne se reproduise.

Problème de moteur électrique à variateur de vitesse

Contexte

Secteur :	Pâtes et papiers
Application :	Moteur électrique à variateur de vitesse dans la section enrouleur (→ fig. 4) d'une machine à ouate, 400 VCA avec convertisseur de fréquence
Roulements :	Position libre : NU 322 ECM/C3VL024 (isolé) Position fixe : 6322 M/C3VL024 (isolé)
Vitesse :	Variable, 1 000 à 1 500 tr/min
Lubrification :	Graisse SKF LGEP 2 - lubrification manuelle
Problème :	Durée de service moyenne des roulements de seulement 1-2 mois

Observations et description de la détérioration des roulements

Au bout d'un mois seulement de service, le roulement à rouleaux cylindriques présentait une détérioration sévère. (Le roulement à billes n'était pas touché). La machine avait été arrêtée en raison d'un niveau de vibration élevé.

Bague intérieure

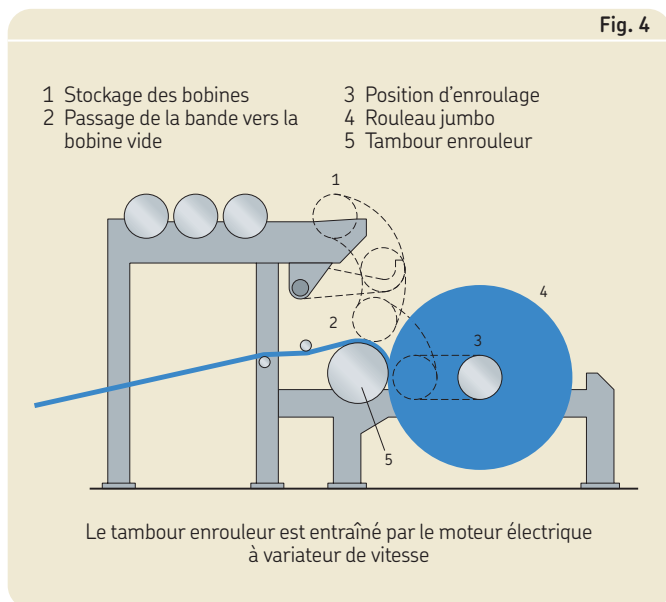
La piste présentait une usure importante. Cette usure était irrégulière, avec des méplats. La piste présentait un aspect gris mat (→ fig. 5a).

Bague extérieure

La piste (zone de charge) présentait une usure importante. Cette usure était irrégulière. Des marques similaires à celles causées par des vibrations (rainurage) étaient visibles. La piste présentait un aspect gris mat (→ fig. 5b).

Le revêtement isolant sur les surfaces extérieures était intact.

Disposition type du rouleau jumbo (mandrin de bobine)



Analyse de la défaillance

L'examen visuel a seulement révélé un motif d'ondulation irrégulier, ressemblant à une usure sévère due à des vibrations.

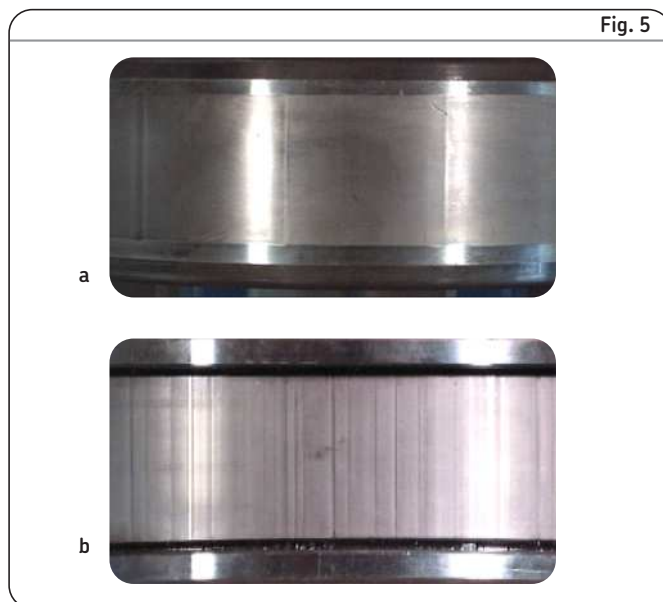
Une inspection plus en détail des bagues détériorées et des discussions avec le client ont permis de conclure qu'il y avait deux causes possibles :

- 1) des vibrations excessives
- 2) le passage du courant à travers les roulements

Cependant, le client a confirmé que des roulements « isolés » étaient utilisés et que toutes les machines étaient correctement supportées par des patins neufs en caoutchouc pour amortir les vibrations.

Aucune des deux causes possibles ne semblait par conséquent se confirmer et le roulement a été renvoyé au laboratoire pour une analyse plus approfondie.

Marques d'usure sévère et de vibration sur les pistes de la bague intérieure (a) et de la bague extérieure (b) du roulement à rouleaux cylindriques



Il a été découpé et l'observation de la section au microscope a permis de tirer les conclusions suivantes :

La surface des pistes présentait de micro-cratères résultant du passage d'un courant électrique destructeur à travers le roulement (passage du courant) (→ fig. 6 et 7).

C'était là la cause du rainurage. Suite à cela, une part importante du matériau était usée, ce qui avait conduit au motif étrange sur les pistes des bagues intérieure et extérieure.

Conclusions

Le mode de défaillance est clairement l'érosion due au passage du courant (ISO 5.4.3).

Recommandations à destination du client

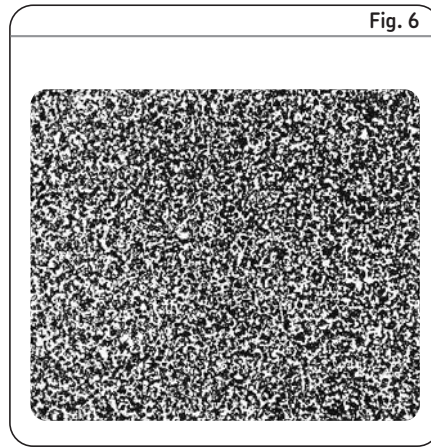
Vérifier l'installation électrique.

Actions correctives

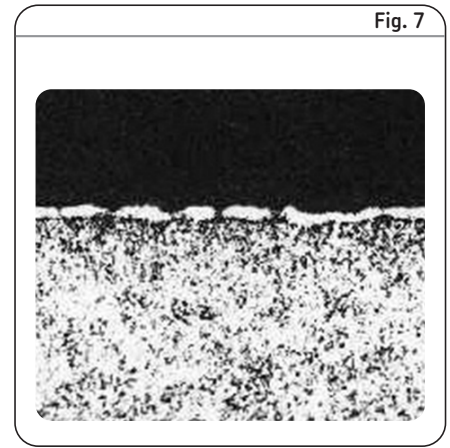
Comme la cause de défaillance identifiée était le passage du courant, le client a procédé à une inspection de l'ensemble de son installation électrique.

L'inspection a révélé qu'au cours d'une des réparations du moteur, le câble de terre avait été déconnecté pour l'intervention sans être reconnecté à l'issue de celle-ci.

Le câble de terre a par conséquent été reconnecté et une paire de roulements isolés a été montée. Aucun autre problème n'a été déploré par la suite.



Vue grossie 150 fois de la surface de la piste de la bague intérieure montrant un nombre très important de microcratères



Vue en coupe grossie 500 fois de la bague intérieure

La fine bande claire en haut (sous la zone noire) est la surface de la piste. Le matériau a re-durci sous l'effet de la chaleur dégagée dans la zone de contact. Sous la zone claire, on aperçoit une fine bande noire de matériau recuit. La partie inférieure correspond à l'acier de dureté normale

Problème rencontré par une briqueterie

Contexte

Industrie :	Construction
Application :	Machine de briqueterie
Roulement :	SKF 24044 CCK/C3W33 – roulement en position fixe
Charges :	Inconnues, mais relativement élevées, avec des chocs
Vitesse :	Inférieure à 100 tr/min
Température :	Environ 30 °C (85 °F)
Lubrification :	Graisse SKF LGEP 2
Relubrification :	30 g toutes les 30 heures
Problème :	Défaillance de roulement prématurée - après 1,5 an de service

Observations et description de la détérioration des roulements

Jeu radial

Après nettoyage et avant démontage, le jeu radial interne mesuré sur le roulement était de 0,900 mm. Sur un roulement neuf, il est compris entre 0,250 et 0,320 mm.

Au moment d'incliner la bague intérieure, les rouleaux sont tombés des alvéoles de la cage.

Bague intérieure

L'alésage ne présentait aucun signe de corrosion de contact et les faces latérales étaient indemnes.

Les pistes présentaient une usure par abrasion sévère. Sur les deux pistes, les cages présentaient une rainure en bord de piste indiquant un contact avec les pistes. Leur aspect était gris mat (→ fig. 8b).

On apercevait des taches de corrosion mais pas d'indentation.

Un démontage du roulement avait laissé des marques de grippage transversales (de même espacement que les rouleaux).

Bague extérieure

Les pistes présentaient une usure par abrasion sévère se traduisant par un aspect gris mat (→ fig. 9b). Il y avait également des marques de grippage transversales (de même espacement que les rouleaux) résultant d'un démontage du roulement.

Une corrosion de contact importante était visible sur la surface extérieure (→ fig. 10), résultant des mouvements de roulage de la bague sous une charge élevée et un support irrégulier.

Les faces extérieures de la bague extérieure présentaient également une corrosion de contact (→ fig. 11), qui confirmaient la piste d'un roulage de la bague.

Rouleaux

Les rouleaux présentaient un aspect gris mat. Des marques de grippage résultant d'un démontage étaient visibles (→ fig. 12).

Cages

Les alvéoles des cages à fenêtres présentaient une usure par abrasion. Les barrettes des cages étaient très usées (→ fig. 13).

Bague de guidage

La bague de guidage ne présentait aucun signe d'usure ou de détérioration.

Graisse

La graisse présentait une forte contamination et une décoloration par rapport à de la graisse fraîche.

Bague intérieure : Usure par abrasion importante sur les pistes et rainure circonférentielle sur les bords des pistes

Fig. 8



Bague extérieure : Usure par abrasion importante sur les pistes et marques de grippage transversales

Fig. 9



Analyse de la défaillance

L'usure par abrasion était très présente dans le roulement. Le jeu des alvéoles de la cage avait considérablement augmenté, ce qui avait conduit à un décrochement de la cage et à la formation d'une rainure en bordure de piste.

De toute évidence, un problème de lubrification lié à la pénétration d'argile à l'intérieur de la cavité du roulement était en cause.

Conclusions

Le mode de défaillance est clairement l'usure par abrasion (ISO 5.2.2).

Recommandations à destination du client

Améliorer le dispositif d'étanchéité pour protéger le roulement. Pour ce faire, il est possible :

- d'effectuer une relubrification quotidienne
- d'utiliser des roulements à rotule sur rouleaux SKF Explorer étanches
- d'utiliser un joint à chicane avec une fonctionnalité de relubrification
- de remplacer la solution d'étanchéité actuelle par des joints Taconite SKF
- d'installer un graisseur en continu pour le dispositif d'étanchéité afin d'accroître encore la durée de service du roulement

Vérifier que les tuyaux de lubrification et raccords de graissage ne sont pas obstrués.

Vérifier la portée du roulement dans le palier et la réparer si besoin.

Actions correctives

Le client a amélioré le dispositif d'étanchéité et réduit les intervalles de relubrification.



Bague extérieure : Corrosion de contact sur la surface extérieure



Bague extérieure : Corrosion de contact sur la face latérale

Rouleau : Aspect mat et gris



Cage : Usure des alvéoles



Problème sur un concasseur à mâchoires

Contexte

Secteur : Industrie minière
Application : Concasseur à mâchoires (→ fig. 14, 15 et 16)
Roulements : SKF 231/500 CAK/C3W33
Problème : Défaillance de roulement prématurée (roulement d'arbre principal, externe)

Le client n'utilisait que des roulements de haute qualité. Les roulements d'arbre principal étaient remplacés tous les cinq ans. Deux ans après la dernière révision, les roulements sont tombés en panne.

Le client a demandé à SKF de déterminer la cause de cette défaillance prématurée.

Observations et description de la détérioration des roulements

Bague intérieure

Les pistes présentaient une usure par abrasion importante (→ fig. 17). Aucune autre marque n'était visible.

Bague extérieure

Les pistes présentaient un écaillage sévère dans une petite partie de la zone de charge. Des marques de vibrations soutenues étaient présentes dans une grande partie de la zone de charge (→ fig. 18).

Il y avait une corrosion de contact sévère sur la surface extérieure correspondant à la zone de charge (→ fig. 19).

Cage

Les alvéoles de la cage présentaient une usure importante et irrégulière (→ fig. 20).

Analyse de la défaillance

L'inspection du roulement a mis en lumière deux problèmes :

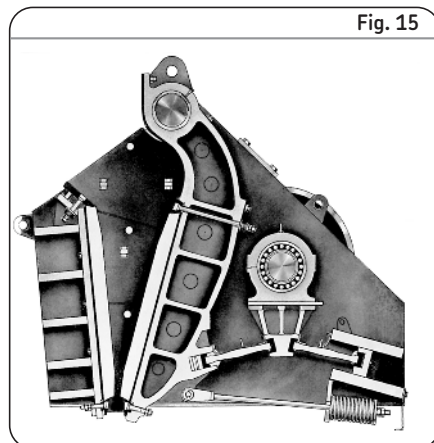
- 1) La bague extérieure présentait une détérioration dans la région de la zone de charge à la fois sur la surface extérieure (corrosion de contact) et sur les pistes (écaillage), ce qui indiquait un problème concernant la portée du roulement dans le palier.

L'usure par abrasion sur les pistes de la bague intérieure était sans doute une détérioration secondaire due à l'écaillage, puisque l'état du lubrifiant était correct.

- 2) L'ondulation sur les pistes de la bague extérieure et l'usure sévère de la cage



Concasseur à mâchoires typique de grandes dimensions



Principe de fonctionnement d'un concasseur à mâchoires à double bascule

indiquait un sérieux problème de vibration en service.

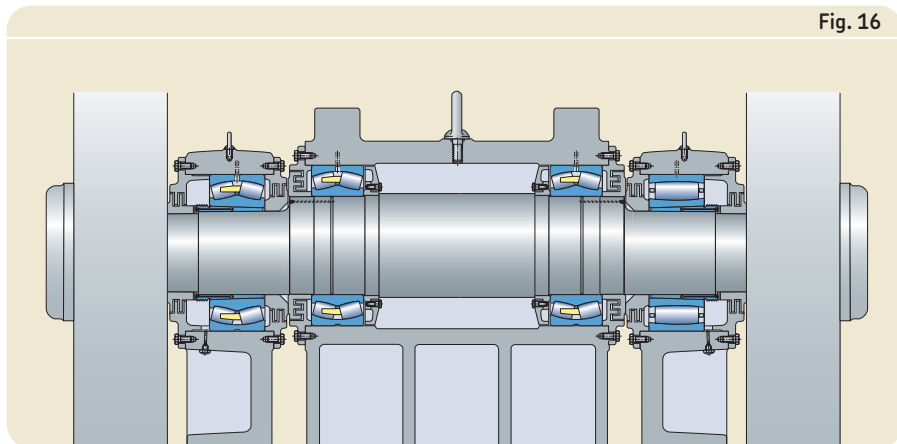
Conclusions

Il est apparu que la corrosion de contact d'une portée de bague extérieure détériorée était la cause de la défaillance (ISO 5.3.3.2).

Recommandations à destination du client

- 1) Vérifier la portée du roulement dans le palier. La réparer si besoin.
- 2) Localiser la source/cause des vibrations en fonctionnement.

Montage de roulement typique de concasseur à mâchoires



Actions correctives

- 1) Une inspection du palier a confirmé que la portée du roulement était usée et ne pouvait plus assurer un support adéquat dans la zone de charge. Cela avait entraîné une corrosion de contact sévère sur la surface extérieure de la bague extérieure et une déformation consécutive des pistes dans la zone de charge. Cette déformation avait elle-même conduit à un écaillage prématuré.
- 2) Une analyse mécanique approfondie de l'application a montré que le matériau n'était pas évacué de manière adéquate, ce qui entraînait un « inversement » du concasseur qui agissait comme un compacteur. C'était là la cause des vibrations excessives et des lourdes charges externes qui avaient accéléré la corrosion de contact et l'ondulation des pistes.

Au cours d'un arrêt planifié, la portée du roulement a pu être réparée et l'évacuation du concasseur a été modifiée. Depuis ces modifications, aucun autre problème n'a été signalé.

Fig. 17



*Bague intérieure :
Usure par abrasion
sur les pistes*

Fig. 18



*Bague extérieure :
Écaillage de la zone de
charge et marques de
vibration sur les pistes,
partie inférieure de
la bague*

Fig. 19



*Bague extérieure :
Corrosion de contact
importante dans la
zone de charge de la
surface extérieure*

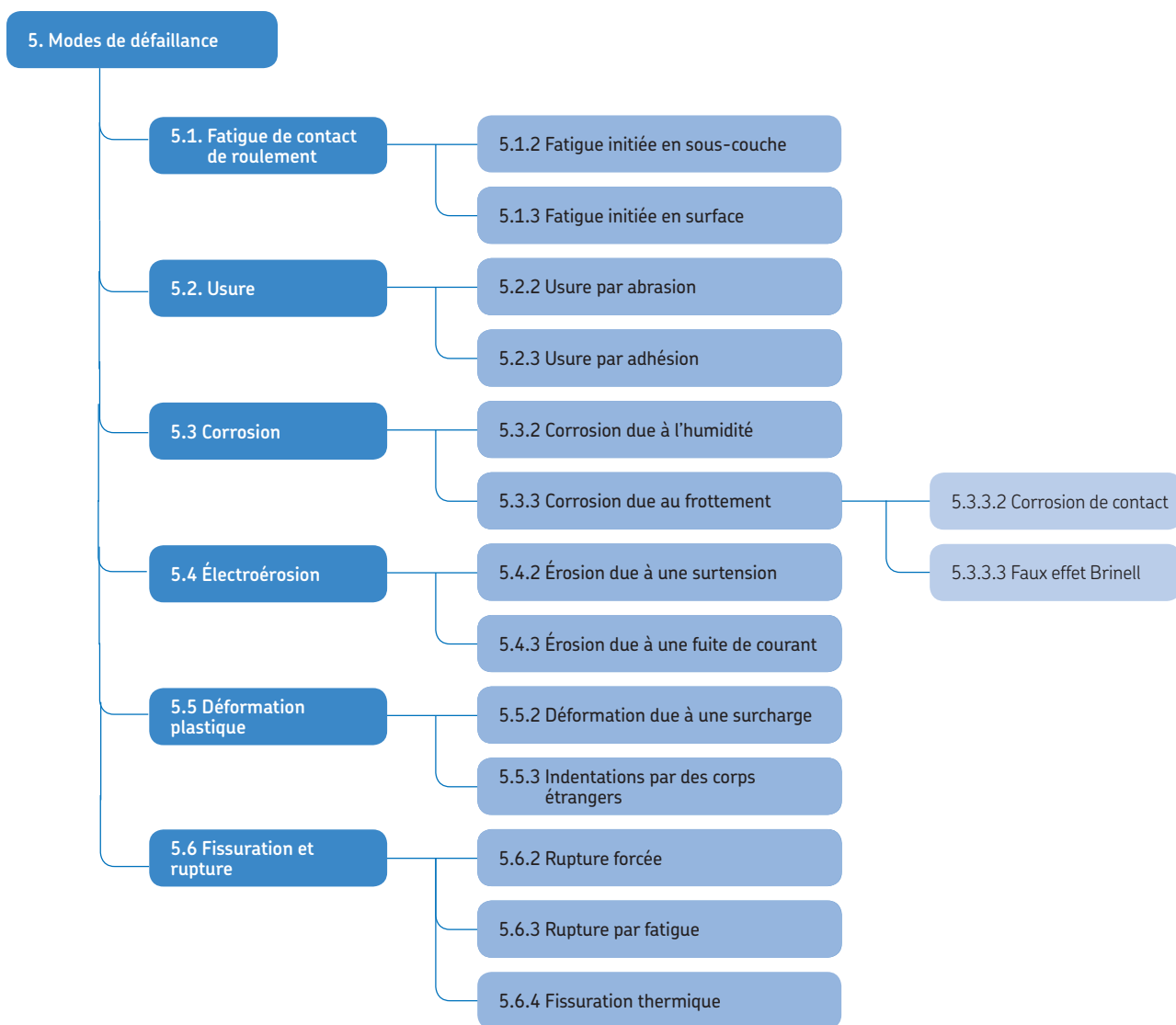
Fig. 20



*Cage : Usure importante
des alvéoles*

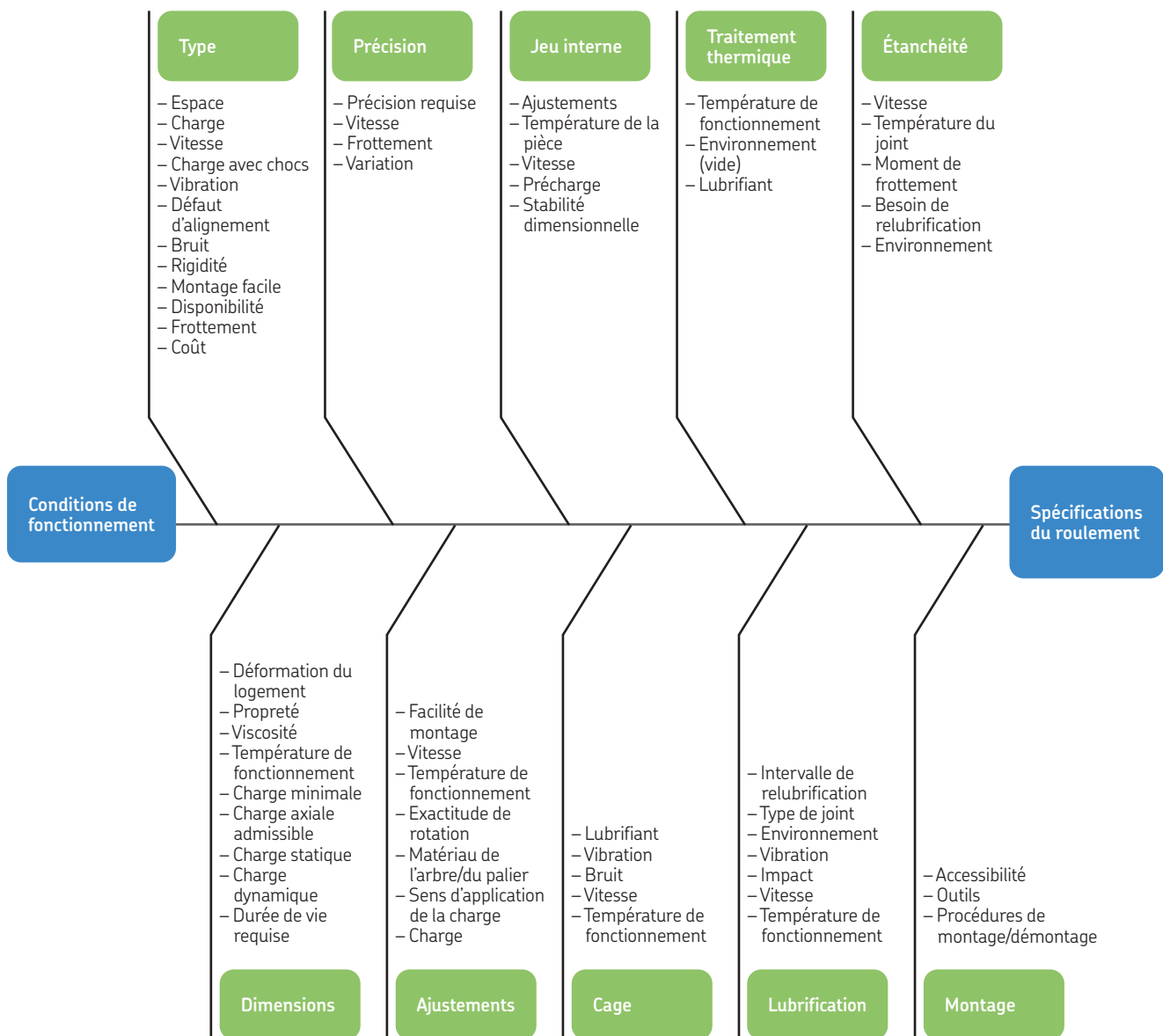
8 Annexes

Annexe A : Classification SKF adaptée à partir de la norme ISO 15243:2017¹⁾



¹⁾ Par rapport à la norme ISO 15243:2004, dans le mode de défaillance 5.5, Déformation plastique, les sous-modes « Déformation due à une surcharge » et « Indentations dues à la manipulation » ont été réunis sous « Déformation due à une surcharge ». Le mode de défaillance 5.4.2 a été corrigé par « Érosion due à une surtension ».

Annexe B : Facteurs déterminants pour la sélection du roulement



Annexe C : Détérioration et défaillances de roulements - modes et causes

Quelles sont les surfaces qui présentent des modifications ?		De quels types sont ces modifications ?	Quelle modification parmi celles indiquées ci-dessous ?	Modes de défaillance ISO associés
Toute surface, sur n'importe quel composant du roulement		Décoloration	Corrosion humide	5.3.2
			Couches colorées et dépôts	5.2.3 / 5.6.4
		Ruptures et fissures	Rupture de la bague sans autre modification apparente dans la zone de rupture	5.6.2
			Rupture de la bague associée à des marques de grippage	5.2.3 / 5.6
			Rupture de la bague associée à une décoloration due à la chaleur	5.2.3 / 5.6
			Rupture de la bague associée à des brûlures de rectification	5.6.3
			Rupture de la bague associée à une détérioration mécanique / par un impact	5.5.2 / 5.6
			Rupture de la bague associée à une corrosion de contact ou de la corrosion due à l'humidité	5.3.2 / 5.3.3.2 / 5.6
Sur des surfaces spécifiques	Sur les surfaces de contact	Usure avec corrosion de contact	Surface rougeâtre	5.3.3.2
			Surface polie	5.2.3
	Sur les pistes et les éléments roulants	Modifications uniquement sur les pistes des bagues ou les éléments roulant	Altération de la surface due au passage des éléments roulants sur des particules (empreintes)	5.5.3
			Altération de la surface due à des détachements de matériau (écaillage)	5.1.2 / 5.1.3
			Usure de surface	5.2.2
			Fatigue initiée en surface	5.1.2
			Altération de la surface, cannelures (aspect brillant/rougeâtre/gris mat dans le fond des cannelures)	5.4.3 / 5.3.3.3
			Altération de la surface, entailles, rainures, grippage	5.5.2 / 5.6
			Marques sous forme de bandes circonférentielles sur les éléments roulants	5.2.2
			Aspect brillant, poli	5.2.2
		Modifications régulièrement espacées sur une partie de la piste d'une (des) bague(s)	Déformations plastiques	5.5.2 / 5.6
			Marques de vibrations à l'arrêt (même espacement que les éléments roulants)	5.3.3.3
			Éraflures	5.5.2
			Marques de corrosion, corrosion caverneuse, marques d'attaque	5.3.2
		Modifications locales à intervalles irréguliers sur une partie de la piste d'une (des) bague(s)	Écaillage (fatigue initiée en sous-couche)	5.1.2
			Altération de la surface : sous forme de marques d'impacts, rainures, rayures et empreintes	5.5.2
			Marques de grippage en un ou plusieurs points de la circonférence	5.2.3
			Décoloration locale (surchauffe)	5.2.3
			Cratères dus au passage du courant	5.4.2
			Corrosion locale	5.3.2
		Sur les cages		Rupture des barrettes, bagues et rivets de la cage
	Usure sur les surfaces de guidage			5.2.2 / 5.2.3

● = corrélation élevée
○ = faible corrélation

	Causes possibles																																			
	Lubrifiant, lubrification						Conditions de service et maintenance								Manipulation et montage					Conception et pièces adjacentes					Fabrication du roulement											
	Quantité de lubrifiant insuffisante	Quantité de lubrifiant excessive	Viscosité trop faible	Additifs inappropriés ou agent épaississant inapproprié	Lubrifiant oxydé	Présence de contaminants solides dans le lubrifiant	Contamination du lubrifiant par l'eau	Charge statique ou dynamique trop élevée	Charge insuffisante	Vitesse excessive	Vitesse insuffisante	Variations rapides de direction de la charge ou de rotation	Exposition à des vibrations	Passage du courant	Source de chaleur externe / refroidissement insuffisant	Maintenance insuffisante	Filtre à huile colmaté / contamination interne	Conditions de stockage inappropriées	Exposition à des vibrations pendant le transport	Réglage inapproprié du jeu ou de la précharge	Précharge radiale ou axiale inappropriée	Défaut d'alignement	Détérioration lors du montage	Erreurs de forme géométrique de la portée sur l'arbre ou dans le palier	Support des bagues irrégulier	Ajustements et tolérances inappropriés	Joint inefficace	Joints usés	Dissipation de la chaleur insuffisante	Assemblage difficile en raison de la conception	Matériau, traitement thermique	Usinage et assemblage	Manipulation			
							●									○		●										○							●	
			○	○					○	○		○			●			●		○	○		○				○				○					
				○	○				○	○		○									○		●									○	●			
			○					○							○						○		●								○			●		
						○															○		●		○							○		●	●	
												○												○	○	○										
						●										○	○	○		○	○		○		●	●	●									
	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	●		●		●	●	○								○	○	○						○				○	○	○	○		●				
	●	○	●	●	●											○													○							
			●					●	●	●		●								●			○													
								●								○					●															
													●	●																						
			●													○																				
																			○				●													
							●									○		○										○	○							
	●	○	●	●	●			○	○											○	○	○	○	●	●	●	○	○	○		○		●	●		
			○					○	●	○	●				○					○				○		○										
	○	○	○	○				○		○		○			●	○		○		○			●			○					○					
														●																						
						●										○		○									○	○								
					●			○	○												○	○	○								○			●		
	●	○	●		●	●			○											○	●	●	●	●			○	○	○							

Annexe D : Collecte des informations

Dans chaque cas de détérioration ou de défaillance d'un roulement, il est très important de collecter toutes les informations utiles pour faciliter l'analyse ultérieure des causes de défaillance.

Un bref résumé des éléments à prendre en compte est donné ci-dessous.

Informations générales

- Entreprise et personnes à contacter.
- Machine – description de l'application.
- Description du problème.

Caractéristiques de fonctionnement

- Dessins et photographiques de la machine avec tous les détails utiles pour faciliter la compréhension du montage de roulements.
- Données relatives à l'application (vitesse, charges, température, méthode de lubrification, lubrifiant utilisé, fréquence de renouvellement du lubrifiant, système d'entraînement, désignation des roulements, ajustements sur l'arbre et dans le palier, solution d'étanchéité, durée de vie des roulements requises et durée de fonctionnement).

Données de surveillance

- Historique de maintenance conditionnelle (relevés de niveaux sonores et vibratoires, de température).
- Historique d'analyse du lubrifiant.

Pendant le démontage

- Consignez toute détérioration observée concernant l'équipement (boulons desserrés, pièces adjacentes détériorées/ usées y compris les joints, et rayures).
- Prélevez des échantillons de lubrifiant au centre du roulement et dans la zone environnante. Stockez ces échantillons dans des contenants propres et étiquetés.
- Marquez l'emplacement de montage de la bague de roulement dans la machine, ainsi que sa position par rapport à l'arbre/palier.
- Prenez des photos et des notes pendant l'opération.
- Démontez le roulement avec précaution et documentez la méthode de démontage appliquée lorsque la détérioration est inévitable.
- Marquez les éléments du roulement.
- Protégez les roulements de la saleté et de l'humidité dans un contenant adapté dans l'attente d'une analyse ultérieure par le personnel SKF. Ne nettoyez pas les roulements !
- Vérifiez les portées de roulement. Indiquez les dimensions et l'aspect.



Astuces pour des photographies réussies (avec smartphone, appareil photo numérique) :

- Prenez des photographies d'ensemble et détaillées (zoom) des différents éléments et fonctionnalités concernés.
- Ne réglez pas l'appareil en mode entièrement automatique et n'utilisez pas le flash. Au lieu de cela, utilisez l'appareil en mode manuel pour contrôler l'exposition et la sensibilité si possible (valeurs ISO).
- Utilisez le mode macro si votre appareil en est pourvu.
- Réglez votre appareil sur la sensibilité ISO native du capteur. Il s'agit souvent de la valeur ISO la plus faible. Une valeur ISO élevée génère du bruit qui peut masquer des détails.
- Utilisez un trépied (→ fig. 1) et le retardateur de votre appareil pour éviter les ombres en cas de sources d'éclairage multiples.
- Il peut être difficile d'effectuer une mise au point correcte sur une surface en acier en raison de l'absence de contraste. Dans ce cas, effectuez la mise au point sur une règle (→ fig. 2) ou un crayon placé à proximité de la zone détériorée. La règle offre l'avantage d'indiquer en outre les dimensions.
- Après avoir pris une photo, vous devez toujours l'observer et l'agrandir pour vérifier la mise au point.



Annexe E : Glossaire

Ce glossaire contient les termes et expressions les plus couramment utilisés en matière de détérioration et de défaillance de roulements. Les termes sont classés dans l'ordre alphabétique. Le cas échéant, la référence à la norme ISO 15243 est mentionnée.

abrasion

Processus d'usure entre deux surfaces de contact, chargées et en mouvement l'une par rapport à l'autre. L'usure est due soit à des particules dures emprisonnées entre les deux surfaces de contact, soit à des protubérances dures sur l'une ou l'autre ou sur les deux surfaces. (ISO 5.2.2)

accumulation (bord accumulé)

Le matériau déplacé fait saillie sur le pourtour d'une *empreinte*. (ISO 5.5.3)

ajustement à force

→ *ajustement serré*

ajustement serré (ajustement à force)

Serrage entre deux pièces comprimées l'une contre l'autre résultant du frottement au niveau de la surface de contact.

altération de la surface

→ *fatigue initiée en surface*

aspect dépoli

Aspect mat sur une piste de roulement dû à une lubrification inappropriée. L'usure se caractérise par un détachement d'éclats métalliques fins. (ISO 5.1.3)

aspérité

Petite protubérance (point haut) sur des surfaces usinées mesurée comme rugosité ou profil de la surface.

attaque

Procédé basé sur l'utilisation de produits chimiques pour révéler la structure d'un métal.

Brinell

→ *Déformation due à une surcharge*

brûlures de rectification

Altération (retrempe, *redurcissement*) de la structure à proximité immédiate de la surface due à un échauffement par frottement excessif lors de la rectification. Visible sur la surface après *décapage*.

cannelures

→ *rainurage*

cannelures parallèles

→ *rainurage*

charge de bord

Charge qui s'exerce depuis le bord d'un ou plusieurs éléments roulants et résulte d'un défaut d'alignement excessif et/ou d'une charge excessive.

contaminant

Particule solide ou liquide qui pénètre dans l'environnement du roulement et nuit à ses performances.

contrainte de contact (contrainte de contact hertzien)

Contrainte en surface lorsque deux corps solides entrent en contact sous une certaine charge.

contrainte de contact hertzien

→ *contrainte de contact*

contrainte résiduelle

Contraintes qui subsistent dans un composant même après l'élimination des causes (fabrication, charges, température).

corrosion

Couche d'oxyde résultant de la réaction chimique avec une surface métallique. (ISO 5.3)

corrosion de contact

Type de détérioration dû au micromouvement entre deux éléments en contact qui entraîne l'oxydation instantanée de débris microscopique et se traduit par une coloration rouge foncé de la surface. (ISO 5.3.3.2)

corrosion due à l'humidité

Réaction chimique qui se produit lorsque de l'eau ou un autre agent chimique se condense sur une surface métallique où il ou elle entre en interaction avec l'oxygène (oxydation). (ISO 5.3.3)

cratère

Piqûres macroscopiques, ressemblant à des cratères, qui se forment sur les pistes et les éléments roulants lors du passage d'un courant électrique dommageable à travers le roulement. (ISO 5.4)

creusement

marquage d'une surface par un autre composant qui, sous l'action d'une charge, est forcé à glisser contre elle. (ISO 5.5.2)

défaillance

Défaut ou *détérioration* qui empêche un roulement d'assurer sa fonction.

défaut

Défaut du matériau ou du produit introduit lors de la fabrication ou de l'assemblage d'un roulement ou de ses composants.

déformation

Altération de la forme normale d'un objet. Le résultat peut être définitif (*déformation plastique*) ou temporaire (*déformation élastique*).

déformation élastique

Changement de forme forcé d'un composant qui n'entraîne pas de contrainte supérieure à sa limite d'élasticité. Le composant retrouve sa forme d'origine une fois la force de déformation supprimée.

déformation plastique

Déformation *permanente* d'un élément sans enlèvement de matière. Ce type de détérioration s'observe en présence d'une charge supérieure à la limite d'élasticité du matériau. (ISO 5.5)

détérioration

Toute modification subie par un composant qui compromet son bon fonctionnement.

écaillage

Perte de petites écailles de matériau due à la *fatigue* (*initiée en sous-couche* ou de *fatigue*). (ISO 5.1)

écaillage avancé

Type de *fatigue initiée en surface* résultant d'une lubrification inappropriée. La détérioration se manifeste par le détachement d'une mince couche de métal. (ISO 5.1.3)

électroérosion

Macro- ou microcratères résultant d'une fusion localisée lors du passage de courants électriques dommageables élevés à travers les contacts roulants d'un roulement. (ISO 5.4)

empreinte→ *indentation***entaille**

Déformation plastique en creux causée par la compression (statique ou sous l'effet d'un choc) d'un objet dur, potentiellement coupant, contre une surface d'un élément de contact.

érosion

Perte progressive de matériau résultant de l'interaction mécanique entre une surface solide et des *contaminants*.

érosion due à une surtension

Gros cratères dans les pistes et les éléments roulants pouvant s'accompagner d'une coloration ou d'une carbonisation du lubrifiant sous l'effet d'une surchauffe localisée. (ISO 5.4.2)

érosion due à une fuite de courant

Altération des surfaces de contact roulant causée par le passage d'un courant électrique. (ISO 5.4.3)

fatigue

Fragilisation (modifications de la structure métallurgique) des surfaces de contact des éléments roulants et/ou des pistes dans un roulement due à une accumulation de contraintes ou de défauts du matériau.

fatigue de contact roulant

Fatigue initiée en surface ou *initiée sous la surface* qui s'opère dans un roulement en raison de cycles de contraintes répétitifs en fonctionnement. (ISO 5.1)

fatigue initiée en surface (altération de la surface)

Détérioration due à une lubrification inappropriée en ce qui concerne l'épaisseur de film et/ou la propreté du lubrifiant et qui a conduit à un contact métal contre métal et, par conséquent, à des *micro-fissures* ou à un *micro-écaillage* en surface. (ISO 5.1.3)

fatigue initiée en sous-couche

Écaillage de la surface d'une piste résultant de fissures en sous-couche qui se sont propagées jusqu'à la surface. (ISO 5.1.2)

faux effet Brinell

Creux permanents dans les pistes de même espacement que les éléments roulants dus à un micromouvement des éléments roulants induit par des vibrations tandis que le roulement est à l'arrêt. L'aspect est le même que dans le cas d'une *surchauffe* (Brinell), sans

toutefois l'*accumulation* de matière sur le pourtour des creux. (ISO 5.3.3.3)

fissuration thermique

Fissures dans une bague de roulement résultant de températures excessives associées à ces *contraintes résiduelles* élevées. Ces températures excessives sont généralement le résultat d'un échauffement par frottement dû à un glissement entre des surfaces sous charge. (ISO 5.6.4)

fissure

Discontinuité dans la masse du matériau sans séparation complète résultant de l'exposition à des contraintes. Voir également *microfissure* et fissure de *meulage*. (ISO 5.6)

fissure de rectification

Fissure due à un échauffement local suivi d'un refroidissement rapide pendant la rectification.

formation en ailes de papillon

Aspect typique en forme d'ailes de papillon résultant de l'*attaque* de la structure du matériau initiée au niveau d'*inclusions* (oxyde).

fragment

Petite partie qui s'est détachée d'un corps plus gros.

frottement

Force résistive qui s'exerce lorsqu'un objet se déplace au contact d'un autre objet et que ce contact est soumis à une charge.

grippage

Le mouvement ou la rotation du roulement est devenu impossible, en raison, la plupart du temps, d'un blocage ou soudage par frottement de ses composants.

grippage→ *usure par adhésion***halo**

Petit cercle de couleur plus claire que la zone environnante.

inclusion

Corps étranger indésirable présent dans le matériau de la matrice. Voir également *macro inclusion*.

indentation (empreinte)

Détérioration due à la compression d'un composant *solide* contre la surface entraînant une déformation (plastique) permanente. Phénomène observé dans les roulements suite

au passage des éléments roulants sur des *contaminants* solides ou des débris de défaillance qui laissent une marque dans les pistes. Les empreintes peuvent présenter des arêtes vives (issues de particules métalliques), être arrondies (issues de débris tendres) ou il peut s'agir d'une indentation multi-fragments (issue de débris cassants). Le fini de surface initial peut être visible au fond de l'empreinte et le matériau déplacé forme un bord en relief autour de l'empreinte (*accumulation*). (ISO 5.5.3)

labourage→ *stries***macro-inclusion**

Impureté ou particule, généralement une inclusion de scories résultant soit d'une oxydation locale, soit de l'emprisonnement de particules de revêtement réfractaire lors du taraudage de l'acier, et qui est visible sur une surface polie et décapée observée sous un grossissement 10x ou inférieur ou grâce aux ultrasons.

marque de broutage

Marque en forme de nervure résultant d'un film lubrifiant inapproprié combiné à des vibrations.

micro-écaillage

Écaillage *microscopique* des *aspérités* sur les surfaces de contact.

microfissure

Fissure microscopique qui peut se développer à la surface d'un élément de roulement ou en sous-couche.

microglissement (microglissement de contact)

Glissement partiel entre des surfaces en contact dans des roulements en raison des caractéristiques géométriques.

microglissement de contact→ *microglissement***ovalisation**

Écrasement diamétral d'une bague de roulement qui a pour conséquence de rendre celle-ci ovale.

patinage

Type d'*usure par adhésion*. Mouvement de glissement d'un élément roulant sur une piste en fonctionnement, sous charge, conduisant à une altération de la surface qui se traduit par un aspect poli et des éclats.

piquage

Terme générique qui se rapporte à un type de détérioration locale se traduisant par de petits trous, cratères ou cavités. Les piqures peuvent avoir plusieurs causes : *fatigue initiée en surface*, *corrosion électroérosion*, *indentations par des corps étrangers*.

piqûres électriques

Microcratères résultant du passage de courants électriques dommageables faibles à travers les contacts roulants d'un roulement. (ISO 5.4)

poli miroir

→ *polissage*

polissage

Enlèvement ou aplanissement des aspérités et autres défauts de surface pour obtenir une surface plus lisse.

polissage (poli miroir)

Action de *lissage*, *déformation plastique cumulative* qui conduit au gommage d'*aspérités*, altérant ainsi la surface d'origine telle que fabriquée dans une zone de glissement ou de roulement en lui conférant un aspect plus poli. (ISO 5.1.3)

rainurage (cannelures, cannelures parallèles)

Cannelures qui se développent à partir de cratères dus au passage du courant électrique. Ce type d'altération s'observe sur les pistes des roulements à billes et à rouleaux, ainsi que sur les rouleaux, mais pas sur les billes. Les cannelures sont parallèles à l'axe de roulement et, en général, régulièrement espacées. (ISO 5.4.3)

rayage adhésif

Type d'*usure par adhésion*, détérioration locale due au soudage en phase solide entre des surfaces de glissement, sans fusion locale de la surface. (ISO 5.2.3)

rayure

→ *strie*

redurcissement

Modification métallurgique qui s'opère en cas d'échauffement local à une température supérieure ou égale à la limite à laquelle l'austénite se forme, suivi d'un refroidissement rapide.

région sombre (DER, zone sombre, DEA)

Une région sombre est une zone en sous-couche où une accumulation de contraintes a entraîné des modifications de la structure

métallurgique, avec une coloration noire du matériau *attaqué*. (ISO 5.1.2)

rodage

Processus permettant la stabilisation du frottement et de l'échauffement par frottement dans le cas d'un roulement neuf ou d'une nouvelle application.

roulage

Rotation relative entre une bague de roulement et sa portée sur l'arbre ou dans le palier.

rupture

Propagation d'une *fissure* aboutissant à une séparation complète. (ISO 5.6)

rupture par fatigue

Rupture d'une bague ou d'un autre composant de roulement suite à la propagation d'une fissure de fatigue. (ISO 5.6.3)

rupture forcée

Rupture résultant d'une concentration de contraintes dépassant la résistance à la traction du matériau. (ISO 5.6.2)

sillon

Rayure longue et profonde sur la surface d'une piste. (ISO 5.5.2)

strie (labourage, rayures)

Strie (rainure) sur une bague de roulement ou un élément roulant résultant soit de particules dures enrobées dans des composants plus tendres, comme la cage, qui, en fonctionnement, frottent contre un rouleau ou une piste, soit du râclage de composants du roulement entre eux au moment de l'assemblage. (ISO 5.5.2)

surcharge (faux effet Brinell, Brinell)

Séries d'*empreintes* permanentes dans les pistes d'un roulement, de même espacement que les éléments roulants, dues à une charge supérieure à la limite de charge statique du matériau. Les *empreintes* sont représentatives de la forme des éléments roulants et sont entourées d'une *accumulation* formée par le matériau déplacé. (ISO 5.5.2)

surface mate

Surface non réfléchissante résultant d'une *usure par abrasion*. (ISO 5.2.2)

trace de fonctionnement

Changement d'aspect partiel d'une zone d'un roulement dû au contact avec un autre élément du roulement, par ex. les éléments roulants et une piste.

usure

Enlèvement progressif de matière sur une surface. (ISO 5.2) **usure par abrasion**

Enlèvement progressif de matière sur une ou plusieurs surfaces sous l'effet de l'*abrasion* (ISO 5.2.2)

usure par adhésion (grippage)

Ce type de détérioration se produit lorsque deux surfaces, soumises toutes deux à une charge, glissent l'une contre l'autre dans des conditions de lubrification médiocre. Le grippage entraîne un transfert de matériau d'une surface à l'autre, laissant un aspect « pelé ». (ISO 5.2.3)

usure par frottement

Type d'*usure par adhésion*. Un soudage en surface localement entraîne un détachement de matériau qui laisse de grandes cavités sur l'une des surfaces. (ISO 5.2.3)

usure par polissage

Forme extrêmement douce d'*usure par abrasion* qui se traduit par une surface extrêmement polie, voire réfléchissante. (ISO 5.2.2)

vieillessement de la cage

Perte des propriétés mécaniques des cages en polymère qui s'opère au fil du temps. Des températures élevées et des lubrifiants agressifs peuvent accélérer ce vieillissement. De plus, au contact de l'ammoniac, les cages embouties en laiton peuvent présenter un vieillissement prématuré.

vrai effet Brinell

→ *Déformation due à une surcharge*

zone sombre (DEA)

→ *région sombre*

® SKF, CARB, INSOCOAT et SENSORMOUNT sont des marques déposées du Groupe SKF.

™ SKF Explorer est une marque du Groupe SKF.

© Groupe SKF 2017

Le contenu de cette publication est soumis au copyright de l'éditeur et sa reproduction, même partielle, est interdite sans autorisation écrite préalable. Le plus grand soin a été apporté à l'exactitude des informations contenues dans cette publication, mais SKF décline toute responsabilité pour les pertes ou dommages directs ou indirects découlant de l'utilisation du contenu du présent document.

PUB BU/I3 14219/2 FR · Juin 2017

Cette publication remplace la publication PI 401 E.

Certaines images utilisées sont sous licence de Shutterstock.com.