



KOLBENSCHMIDT



TOUT SAVOIR

DOMMAGES SUR LES COUSSINETS





GRUPE MOTORSERVICE

QUALITÉ ET SERVICE AUPRÈS D'UN UNIQUE FOURNISSEUR

Le groupe Motorservice est l'organisation commerciale en charge des activités internationales Aftermarket de la société Rheinmetall. C'est l'un des premiers fournisseurs de composants de moteurs pour le marché indépendant des pièces de rechange.

Avec les marques haut de gamme Kolbenschmidt, Pierburg, TRW Engine Components ainsi que la marque BF, Motorservice propose à ses clients commerçants et garagistes une gamme étendue et variée de très grande qualité.

RHEINMETALL

DES TECHNOLOGIES AU SERVICE DE LA MOBILITÉ DE DEMAIN

Équipementier automobile présent dans le monde entier, Rheinmetall se place, grâce à son savoir-faire dans les domaines de l'alimentation en air, de la réduction des émissions nocives et des pompes ainsi que dans le développement, la fabrication et la fourniture de pistons, de blocs-moteurs et de coussinets, en tête de ces marchés respectifs.

Le développement des produits se déroule en étroite coopération avec des constructeurs automobiles renommés.



KOLBENSCHMIDT



PIERBURG



Rédaction :

Motorservice, Technical Market Support

Mise en page et production :

Motorservice, Marketing

Toute reproduction, duplication ou traduction, en totalité ou en partie, nécessite notre accord écrit préalable et l'indication de la source.

Sous réserve de modifications et de variations dans les illustrations. Toute responsabilité est exclue.

Editeur :

© MS Motorservice International GmbH

Responsabilité

Les informations contenues dans la présente brochure ont fait l'objet de recherches méticuleuses. Toutefois, des erreurs peuvent s'y être glissées, certaines informations peuvent avoir été mal traduites ou omises, ou bien avoir changé depuis la date de rédaction. Par conséquent, nous ne garantissons pas l'exactitude, l'intégralité, l'actualité ou la qualité des informations transmises et déclinons toute responsabilité quant à celles-ci. Nous déclinons toute responsabilité quant aux dégâts directs ou indirects, matériels ou non matériels émanant de l'utilisation ou de la mauvaise utilisation d'informations, ou d'éventuelles informations erronées ou incomplètes contenues dans la présente brochure, à moins qu'une faute volontaire ou une négligence particulièrement grave puisse nous être imputée. Nous déclinons également toute responsabilité quant aux dommages causés par un niveau de connaissances techniques spécialisées insuffisant, des connaissances insuffisantes en matière de réparation ou une expérience insuffisante de la part du réparateur de moteurs ou du mécanicien. La validité des procédés techniques et des instructions de réparation décrits pour les générations de moteurs futures ne pouvant être déterminée ici, elle doit être jugée dans chaque cas par le réparateur de moteurs ou par le garage.

TABLE DES MATIÈRES		PAGE
1.	GÉNÉRALITÉS	5
1.1	Paliers dans le moteur	5
1.2	Coussinets de ligne et coussinets de bielle dans le système rotatif	6
1.3	Fonctions des coussinets	7
1.4	Structure des coussinets	8
1.5	Dépose des coussinets en cas de dommage	10
2.	USURE PAR FRICTION MIXTE	12
2.1	Introduction	12
2.2	Usure de rodage d'adaptation	13
2.3	Érosion	14
2.4	Grippage	16
2.5	Cas particuliers	18
2.5.1	Contact des bords unilatéral	20
2.5.2	Contact des bords unilatéral alterné	22
2.5.3	Contact des bords bilatéral	24
2.5.4	Large trace d'usure au milieu du coussinet dans la direction de la circonférence	26
2.5.5	Usure en forme de bande au milieu du coussinet	28
2.5.6	Usure de zones opposées des surfaces de séparation	30
2.5.7	Usure bilatérale au niveau des surfaces de séparation	32
2.5.8	Zone d'usure resserrée au sommet de la coquille de coussinet	34
2.5.9	Fines bandes sans usure sur les bords du coussinet	36
3.	DOMMAGES DUS À DES PARTICULES	38
3.1	Introduction	38
3.2	Formation de stries	40
3.3	Incorporation	42
3.4	Trace de migration de crasse	44
3.5	Inclusions au dos du coussinet	46
4.	ÉROSION ET CAVITATION	48
4.1	Érosion	48
4.2	Cavitation	49
5.	DOMMAGES PAR FATIGUE	52
5.1	Introduction	52
5.2	Fissures et arrachements de la couche de glissement	54
5.3	Fissures et arrachements du métal d'appui	55
6.	DOMMAGES PAR SURCHAUFFE	56
6.1	Introduction	56
6.2	Fissures de chaleur	57
6.3	Fusions de la couche de roulement	58
6.4	Décolorations de la couche de roulement ou du dos du coussinet	59
7.	CORROSION	60
7.1	Corrosion de friction / rouille d'ajustage	60
7.2	Corrosion chimique	62
8.	DOMMAGES SUR LES RONDELLES DE GUIDAGE	64
9.	GLOSSAIRE	66

À PROPOS DE CETTE BROCHURE

Cette brochure donne un aperçu des différents types de dommages que peuvent subir les demi-coquilles de coussinets et les rondelles de guidage présentes dans les moteurs. Elle constitue également, pour le professionnel, une aide pour le diagnostic et la détermination des causes des pannes.

Les causes des pannes n'étant pas toujours évidentes, leur identification nécessite une approche globale lors de l'analyse des dommages d'un moteur. De nouvelles pannes ne sont pas rares après la réparation d'un moteur. Ceci est dû au fait que des composants endommagés ont certes été remplacés, mais que la cause de la panne n'a pas été éliminée.

Compte tenu de la grande complexité de l'action conjuguée des différents composants d'un palier de moteur (voir Fig.), il n'est généralement pas aisé d'identifier la cause de la panne.

Très souvent, celle-ci ne se situe pas dans le coussinet proprement dit, mais dans l'environnement de celui-ci. Bien que ce soit généralement le coussinet qui subisse le plus gros dommage, le seul remplacement des coussinets endommagés ne suffit fréquemment pas pour éliminer la cause de la panne.

Pour la rectification professionnelle d'un moteur, il faut donc commencer par identifier la cause effective du dommage afin de pouvoir prendre les bonnes mesures.

Le dommage typique est représenté pour chaque cas à l'aide de coquilles de coussinet appropriées. Noter que différents dommages peuvent se produire avec différents matériaux. Compte tenu des différents aspects que peut revêtir un dommage, des divergences sont possibles par rapports aux illustrations contenues dans la brochure.

01 Alésage du boîtier (exemple : bielle) :

- Rigidité (élasticité et solidité)
- Déformation thermique
- Tolérances de fabrication
- Qualité de la surface
- Couples de serrage des vis

02 Tourillon :

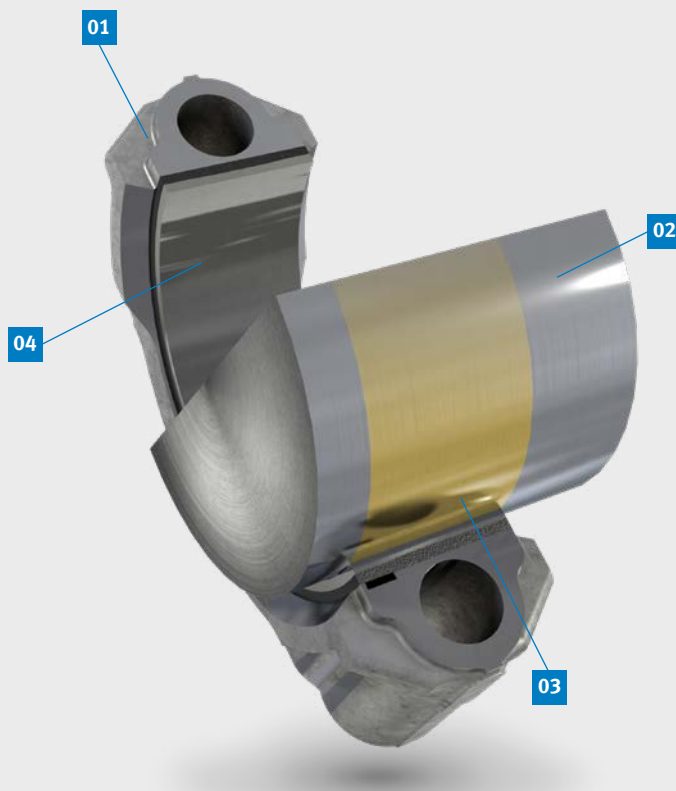
- Matériau (par exemple arbre en fonte ou en acier)
- Rigidité (élasticité et solidité)
- Déformation thermique
- Tolérances de fabrication
- Qualité de la surface

03 Lubrification :

- Lubrifiant (viscosité, additifs)
- Alimentation en huile (niveau d'huile, pression d'huile, pompe à huile, conduites d'huile, filtre à huile)
- Degré d'encrassement

04 Coquille de coussinet :

- Matériau (capacité de charge, résistance à l'usure, comportement en mode dégradé, capacité d'incorporation)
- Tolérances de fabrication
- Qualité de la surface



1. GÉNÉRALITÉS

1.1 PALIERS DANS LE MOTEUR

Les paliers d'un moteur sont illustrés par le moteur six cylindres représenté. Il comporte sept coussinets de ligne, dont un est un palier axial. Les coussinets de bielle, un par cylindre, se situent respectivement entre les coussinets de ligne.

Les autres paliers, tels que les bagues d'arbre à cames, les bagues de bielle et les coussinets pour arbres compensateurs ne sont généralement pas réalisés avec des demi-coquilles de coussinet, mais avec des bagues de coussinet.

Cette brochure est principalement axée sur les demi-coquilles de coussinet utilisées dans le système rotatif comme paliers de tige de bielle et de vilebrequin.



01 Coussinets de bielle



02 Rondelles de guidage /
coussinets de ligne ou
coussinets de butée



03 Coussinets de ligne



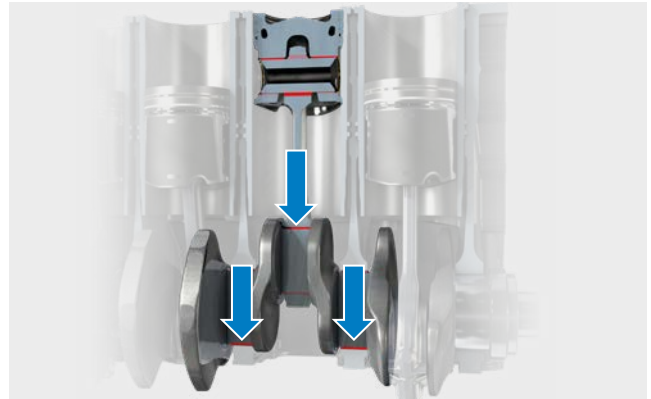
04 Bagues de bielle

1.2 COUSSINETS DE LIGNE ET COUSSINETS DE BIELLE DANS LE SYSTÈME ROTATIF

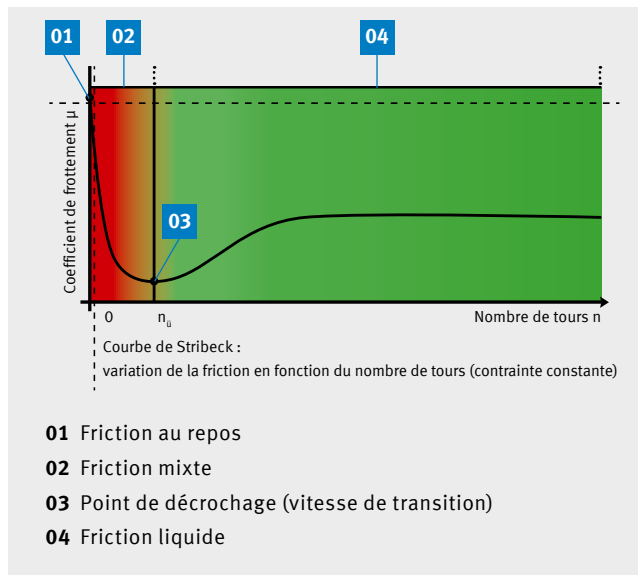
Les coussinets de bielle relient la tige de bielle au vilebrequin. On distingue les coquilles de coussinet côté tige et côté chapeau, les coquilles de coussinet côté tige étant nettement plus sollicitées que celles côté chapeau. Par leur intermédiaire, la force d'allumage produite par la combustion est transmise au vilebrequin. Sur les moteurs à essence, la coquille de coussinet côté chapeau est elle aussi fortement sollicitée en raison des forces d'inertie élevées dues aux nombres de tours plus élevés que sur un moteur diesel. Les coussinets de bielle sont alimentés en huile depuis le coussinet de ligne, par le vilebrequin, au travers d'alésages.

Les paliers du vilebrequin sont des coussinets de ligne. Là aussi, le coussinet se compose d'une coquille de coussinet supérieure et d'une coquille de coussinet inférieure. Sur les coussinets de ligne, la coquille de coussinet inférieure est plus fortement sollicitée car elle absorbe les forces d'allumage. Les forces transmises au vilebrequin par une bielle sont absorbées par plusieurs coussinets de ligne, ceux-ci étant par conséquent moins sollicités que les coquilles de coussinet de bielle côté tige. La coquille de coussinet de ligne supérieure comporte une gorge de lubrification qui amène l'huile aux coussinets de bielle au travers d'alésages dans le vilebrequin.

Afin que les forces axiales produites par exemple lors de l'actionnement de l'embrayage puissent également être absorbées, des rondelles de guidage ou des coussinets composites sont utilisés comme paliers axiaux.

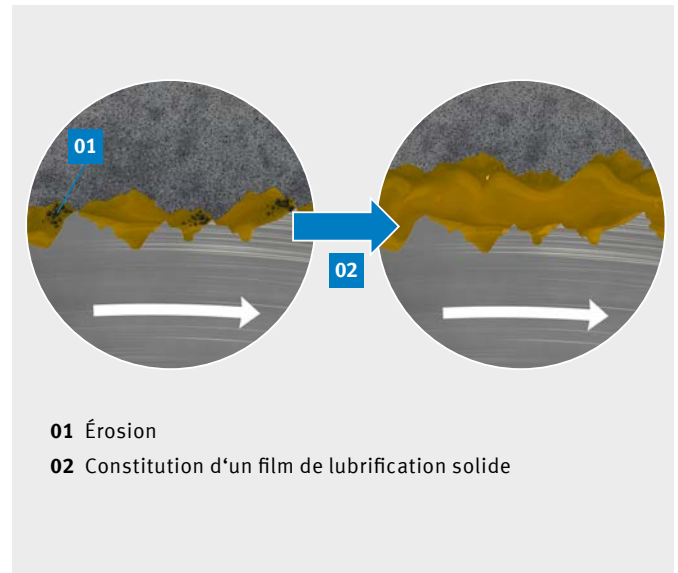


1.3 FONCTIONS DES COUSSINETS



La fonction principale des coussinets consiste à absorber et à transmettre les forces entre des composants en mouvement relatif. Ils doivent également réduire la friction pour permettre un mouvement rotatif pratiquement exempt d'usure. Dans tout coussinet, il se forme en cours de fonctionnement des forces de friction qui s'opposent au mouvement rotatif et produisent ainsi de la chaleur. Un film de lubrification est nécessaire entre le coussinet et le tourillon pour réduire ces forces et évacuer la chaleur due à la friction. En l'absence de film de lubrification, le contact direct entraîne une friction sèche responsable d'usure et d'érosion du coussinet.

Les coussinets hydrodynamiques, dans lesquels un film de lubrification solide se forme sous le seul effet du mouvement relatif entre la coquille de coussinet et le maneton, traversent jusqu'à la vitesse de décrochage une plage de friction mixte.



Aux faibles nombres de tours, l'effet hydrodynamique ne suffit pas pour séparer complètement les surfaces. Un contact solide partiel se produit entre les surfaces de glissement, d'où un risque de dommage du coussinet. Ce n'est qu'aux nombres de tours élevés que les forces de friction diminuent et qu'un film de lubrifiant permanent se forme. Il se produit une friction liquide / friction fluide et les deux surfaces de glissement sont complètement séparées. Pour pouvoir garantir un fonctionnement sûr des coussinets, la pression du lubrifiant produite dans l'interstice doit être suffisante pour absorber les forces agissant sur le coussinet sans que les surfaces de glissement se touchent. C'est là que se situe le point de fonctionnement idéal des coussinets. Toutefois, cette forme de friction produit elle aussi de la chaleur, d'où la nécessité d'une lubrification suffisante pour assurer la dissipation thermique.

1.4 STRUCTURE DES COUSSINETS

D'après la norme DIN 50282 (« Le comportement tribologique des matériaux métalliques de paliers lisses – termes significatifs »), le comportement tribologique du matériau d'un palier lisse peut être caractérisé par des notions comme le comportement au rodage, la capacité d'incorporation, le comportement en mode dégradé, la résistance à l'usure et la capacité d'adaptation. Les exigences que doit satisfaire le coussinet sont par conséquent déterminantes pour le choix du matériau.

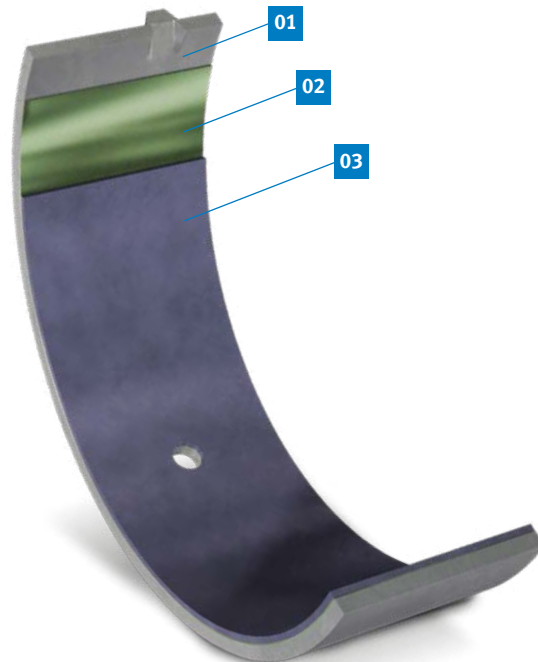
On distingue deux familles différentes de matériaux de paliers lisses.

COUSSINETS À DEUX COMPOSANTS

- Matériaux composites acier-aluminium

Les coussinets à deux composants sont constitués d'un dos d'acier, d'une couche intermédiaire en aluminium pur et du matériau d'appui plaqué. Dans la plupart des cas, le matériau utilisé est un alliage d'aluminium additionné d'étain, de cuivre et de silicium.

Vue de la constitution du coussinet



- 01 Dos d'acier
- 02 Couche intermédiaire (si nécessaire)
- 03 Matériau d'appui



Acier-aluminium

Matériau d'appui : aluminium

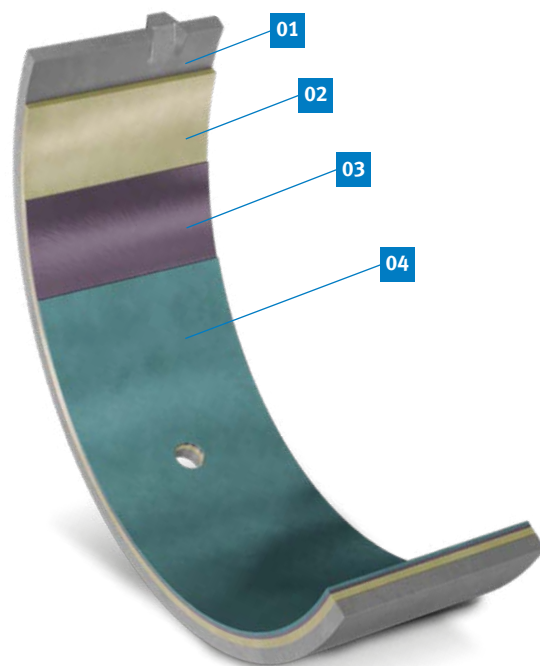
COUSSINET À TROIS COMPOSANTS

- Matériaux composites acier-bronze ou acier-laiton frittés / coulés avec un revêtement
- Matériaux composites acier-aluminium avec un revêtement

Selon le domaine d'application et les exigences spécifiques, le revêtement des coussinets à trois composants est une couche de glissement supplémentaire, à savoir une couche sputter, une couche galvanisée ou un vernis antifriction. Le métal d'appui (alliage d'aluminium, de bronze ou de laiton) est plaqué, coulé ou fritté sur le dos d'acier. Au besoin, une couche intermédiaire en nickel ou en alliage de nickel appliquée entre le matériau d'appui et la couche de roulement (revêtement) fait office de barrière de diffusion.

Différents matériaux peuvent donc être employés pour les coussinets, selon les exigences. Fréquemment, un matériau différent est utilisé pour la coquille de coussinet la plus fortement sollicitée et pour la coquille de coussinet opposée. Dans le cas d'un moteur en V, les coquilles de coussinet de bielle sont, par exemple, réalisées côté tige par une demi-coquille de coussinet avec un revêtement sputter et côté chapeau par une demi-coquille de coussinet en matériau composite acier-aluminium sans revêtement.

Vue de la constitution du coussinet



- 01 Dos d'acier
- 02 Matériau d'appui
- 03 Couche intermédiaire (si nécessaire)
- 04 Couche de roulement (revêtement)



Galvanisation

Matériau d'appui : bronze
Couche intermédiaire
Couche de roulement : galvanisation



Vernis antifriction

Matériau d'appui : aluminium ou bronze
Couche de roulement : vernis antifriction



Sputter

Matériau d'appui : laiton ou bronze
Couche intermédiaire (dans le cas du bronze)
Couche de roulement : sputter

1.5 DÉPOSE DES COUSSINETS EN CAS DE DOMMAGE

Les indications suivantes doivent être prises en compte pour la dépose des coquilles de coussinet en cas de dommage :

- Le siège et la position des coquilles de coussinet dans le passage des coussinets de ligne doivent être inscrits pour permettre une meilleure compréhension de la façon dont le dommage s'est produit. En plus de l'aspect du coussinet, le siège est souvent instructif quant à la façon dont le dommage s'est produit. En cas de flexion du vilebrequin, des traces d'usure sont par exemple présentes principalement sur le premier et le dernier coussinets de ligne le long du passage.
- Les conditions de fonctionnement (durée, type de contrainte) et d'autres facteurs comme, par exemple, l'huile employée, doivent être documentés pour permettre une meilleure estimation du dommage.
- Les anomalies constatées sur d'autres composants moteur, par exemple sur le vilebrequin, doivent être documentées. Dans la plupart des cas, des dommages sont visibles sur le partenaire de glissement antagoniste du coussinet. Souvent, les dommages d'un coussinet sont également consécutifs à des dommages d'autres composants moteur.
- Afin que des analyses puissent être réalisées par la suite, il est recommandé de prélever un échantillon de l'huile écoulée et de conserver le filtre à huile. Des résidus de particules peuvent être retrouvés et analysés, ce qui peut renseigner sur les causes possibles d'une panne.
- Les couples nécessaires au desserrage des vis du moteur doivent être documentés. Si les vis ne sont pas serrées au bon couple, des mouvements relatifs peuvent se produire entre la coquille de coussinet et l'alésage du boîtier.



Serrage des vis selon les instructions du constructeur



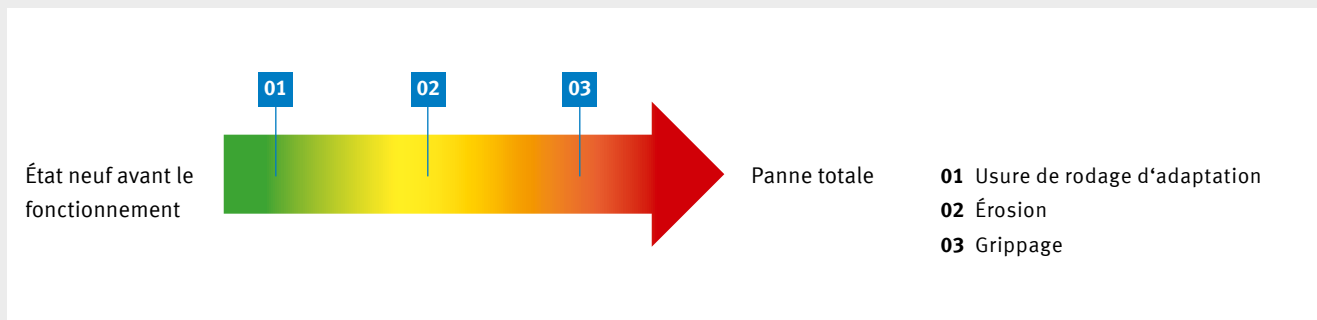
Documenter le siège et la position des coussinets



Comparaison du vieux coussinet et du coussinet neuf

2. USURE PAR FRICTION MIXTE

2.1 INTRODUCTION



« L'usure est une perte progressive de matière à la surface d'un corps solide, due à des causes mécaniques, c'est-à-dire au contact et au mouvement relatif d'un corps antagoniste solide, liquide ou gazeux. » (DIN 50320)

Dans le cas des coquilles de coussinet, l'usure est due au contact métallique consécutif à la friction mixte entre le coussinet et le tourillon.

Ceci est le cas, par exemple, à chaque démarrage et arrêt d'un moteur. Entre l'arrêt et la vitesse de décrochage de l'arbre, les coussinets utilisés traversent la plage de friction mixte. Dans cette plage, la capacité de charge du film de lubrifiant ne suffit pas toujours pour séparer complètement les partenaires de glissement (voir chapitre : « Fonctions des coussinets »). Les matériaux résistants à l'usure jouent par conséquent un rôle important dans le cas des véhicules avec start / stop automatique. Aux faibles nombres de tours et si la contrainte est importante, il est également possible que la friction liquide ne soit pas atteinte et que le coussinet s'use. Des écarts de géométrie consécutifs à des erreurs de montage ou des déformations des manetons et du passage de coussinets peuvent également être responsables d'une usure.

Au cours des premières heures de service d'un coussinet, les partenaires de glissement s'adaptent entre eux. Les pics de rugosité et le profil de rugosité s'aplanissent. Cette usure de rodage d'adaptation est tout à fait souhaitable et ne constitue pas un mauvais fonctionnement du coussinet. Si la friction mixte s'intensifie, l'usure de rodage d'adaptation normale se transforme en érosion puis en grippage et la panne devient totale.

2.2 USURE DE RODAGE D'ADAPTATION

DESCRIPTION

- Traces de portée brillantes et lisses dans la zone de charge principale
- Transitions d'entrée et de sortie douces
- Structure d'usinage du coussinet encore reconnaissable



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium (sans revêtement)

Une bande d'usure brillante est reconnaissable au milieu du coussinet tandis qu'aucune trace de fonctionnement n'est visible au niveau du dégagement et des bords. La structure d'usinage du coussinet est encore reconnaissable.

ANALYSE

Au cours des premières heures de service d'un coussinet, les pics de rugosité sont lissés et le profil de rugosité aplani par le contact entre le coussinet et le tourillon dans la zone de friction mixte. L'usure se produit essentiellement dans la zone de charge principale du coussinet ou aux zones de divergences de forme macroscopiques (voir chapitre : « 2.5 Cas particuliers »).

L'usure de rodage d'adaptation est souhaitable et ne constitue donc pas un dommage du coussinet.



REMARQUE

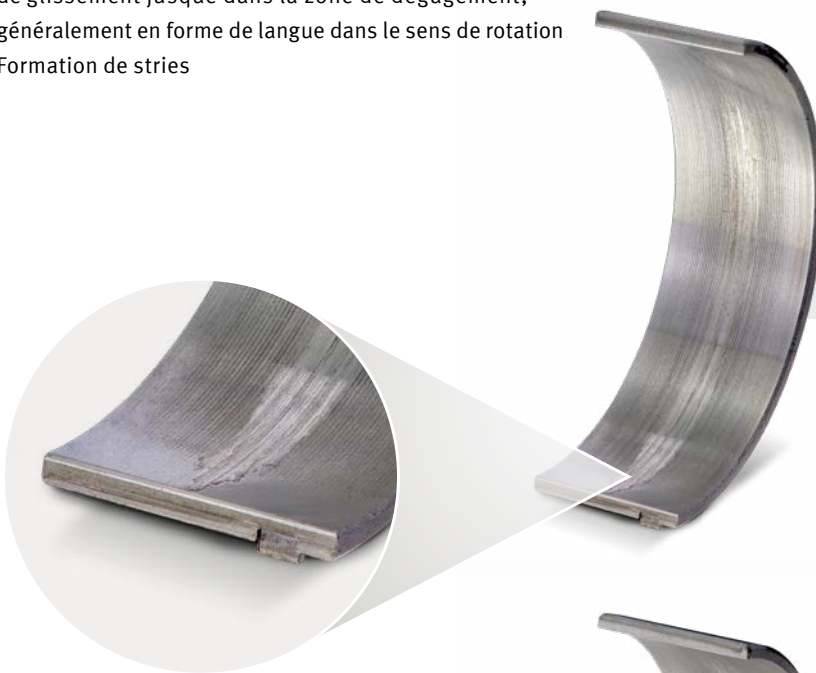
Le fonctionnement du coussinet n'est pas altéré.

Toutefois, si l'usure de rodage d'adaptation s'intensifie, par exemple suite à un défaut d'alignement ou de forme persistant, il peut se produire des érosions, des grippages ou des dommages par fatigue.

2.3 ÉROSION

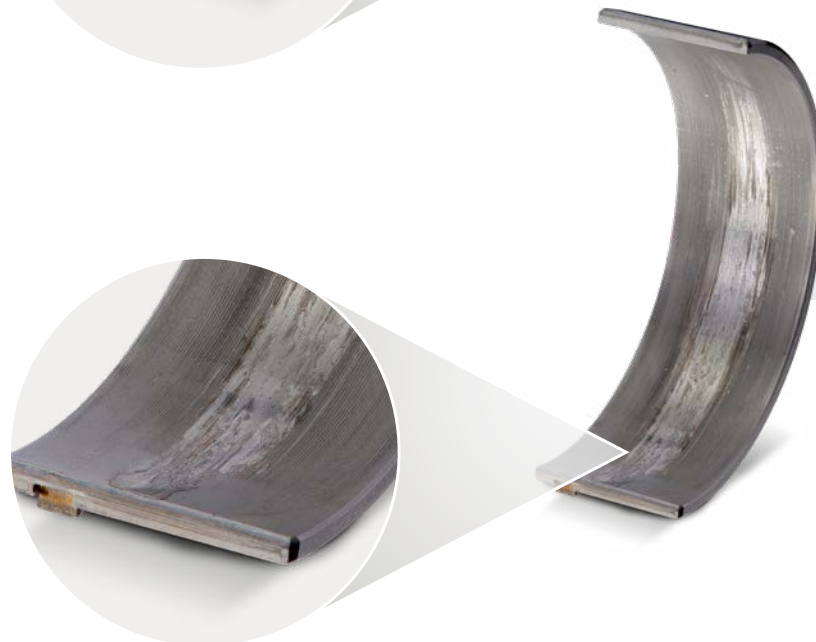
DESCRIPTION

- Traces de friction mixte brillantes et lisses, surtout dans la zone de charge principale
- Décalages de la couche de roulement ou de la couche de glissement jusque dans la zone de dégagement, généralement en forme de langue dans le sens de rotation
- Formation de stries



Coquille de coussinet de bielle en matériau composite acier-aluminium côté chapeau

Une trace de friction mixte nettement brillante, accompagnée d'une formation de stries, est reconnaissable au milieu du coussinet. La marque de portée est décalée jusque dans la zone de dégagement.



Coquille de coussinet de bielle en matériau composite acier-laiton avec revêtement sputter côté tige

Une trace de friction mixte brillante accompagnée en partie d'une formation de stries est reconnaissable. La couche sputter est décalée jusque dans la zone de dégagement. La zone où la couche sputter est déjà grippée est fondue.

ANALYSE

Les érosions peuvent résulter de traces de frottement lorsque l'effet de la friction mixte s'intensifie. Si cette situation est provisoire, elles peuvent à nouveau être aplanies, le fonctionnement du coussinet n'est pas altéré outre mesure. Toutefois, ceci est très difficile à évaluer.

Si la situation de friction mixte perdure, l'érosion se solidifie et des stries peuvent se former sur le maneton. Les conséquences en sont des grippages sur les coquilles de coussinet concernées, la coquille de coussinet se soudant au maneton sous l'effet de la contrainte thermique.

CAUSES POSSIBLES

- Orifices d'huile pas dégagés : la cause peut en être un montage incorrect des coquilles de coussinet ou une obstruction des orifices d'huile, ce qui est souvent le cas avec les biocarburants
 - Interstice de lubrification trop étroit, empêchant un film de lubrifiant solide de se former – cause : écarts de forme et de géométrie de l'arbre ou du maneton ou flexion du vilebrequin
 - Interstice de lubrification trop grand : la pression hydrodynamique nécessaire à la formation d'un film de lubrification solide n'est pas atteinte
 - Niveau d'huile ou pression d'huile trop bas
 - Filtre à huile encrassé
 - Pompe à huile défectueuse
 - Fuite de conduites d'huile
 - Surcharge des coussinets : contrainte supérieure à celle prévue – causes : par exemple tuning par puce électronique ou grippage du piston
 - Action de particules : des particules pénètrent dans l'interstice du coussinet et provoquent des érosions sur le maneton et le coussinet. En cas d'incorporation ou de formation de stries, les bords se relèvent – conséquence : forte augmentation de la friction mixte
-

REMÈDE

Les érosions peuvent évoluer en grippages des coussinets. Il est donc important de remplacer les coussinets et d'éliminer la cause :

- Vérifier si tous les orifices d'huile sont dégagés et s'il n'y a pas d'obstruction
- Contrôler le jeu de coussinet effectif : s'il ne se situe pas dans les tolérances, des erreurs de forme et de géométrie sont fréquemment en cause (voir chapitre : « 2.5 Cas particuliers »)
- Vérifier si le filtre à huile est en état de marche et respecter toujours les instructions du constructeur lors du changement du filtre à huile et de l'huile
- Contrôler le niveau d'huile et la pression d'huile, les rectifier si nécessaire
- Vérifier si la pompe à huile est en état de marche
- Rechercher les fuites éventuelles sur les conduites d'huile
- Vérifier la contrainte exercée sur les différents coussinets
- Examiner l'ensemble du jeu de coussinets à la recherche d'incorporations de particules ou de rayures : le cas échéant, des particules ont possiblement entraîné la formation d'érosions (voir chapitre : « 3. Dommages dus à des particules »)

2.4 GRIPPAGE

DESCRIPTION

- Zones d'arrachage de matériau
- Forte formation de stries et déformation
- Dégagement ainsi que rugosité et fragmentation
- Baisse de la cote d'écartement visible à l'œil nu en comparaison avec les coquilles de coussinet voisines intactes
- Caractéristiques de surchauffe : des fusions du matériau d'appui et des décolorations sont par exemple fréquentes en cas de grippages



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

On constate une fusion et un déplacement du matériau d'appui au-delà du bord du coussinet de même qu'une fragmentation de la surface avec des zones d'arrachement du matériau.

ANALYSE

Les températures élevées dans les zones de forte friction mixte entraînent des soudages locaux entre le maneton et le coussinet. Ces soudages se cassent à nouveau et le matériau d'appui moins dur que celui du vilebrequin est arraché. Un manque aigu de lubrifiant en est la cause. La hausse de température ainsi provoquée entraîne des dommages par surchauffe, une

manifestation secondaire fréquente des grippages des coussinets. Des dommages dus à l'action des particules ou des érosions peuvent être occasionnés aux coussinets voisins par les résidus d'érosion entraînés dans le circuit de lubrifiant. Les érosions précèdent un grippage des coussinets.

CAUSES POSSIBLES

- Orifices d'huile pas dégagés : la cause peut en être un montage incorrect des coquilles de coussinet ou une obstruction des orifices d'huile, ce qui est souvent le cas avec les biocarburants
- Interstice de lubrification trop étroit, empêchant un film de lubrifiant solide de se former – cause : écarts de forme et de géométrie de l'arbre ou du maneton ou flexion du vilebrequin
- Interstice de lubrification trop grand : la pression hydrodynamique nécessaire à la formation d'un film de lubrification solide n'est pas atteinte
- Niveau d'huile ou pression d'huile trop bas
- Filtre à huile encrassé
- Pompe à huile défectueuse
- Fuite de conduites d'huile
- Surcharge des coussinets : contrainte supérieure à celle prévue – causes : par exemple tuning par puce électronique ou grippage du piston
- Action de particules : des particules pénètrent dans l'interstice du coussinet et provoquent des érosions sur le maneton et le coussinet. En cas d'incorporation ou de formation de stries, les bords se relèvent – conséquence : forte augmentation de la friction mixte

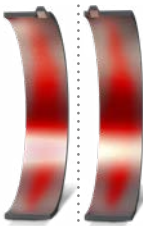
REMÈDE

Les grippages figurent parmi les plus graves des dommages des coussinets. Le coussinet est détruit et doit être remplacé. D'autres composants moteur peuvent être endommagés si le coussinet continue d'être utilisé.

- Vérifier si tous les orifices d'huile sont dégagés et s'il n'y a pas d'obstruction
- Contrôler le jeu de coussinet effectif : s'il ne se situe pas dans les tolérances, des erreurs de forme et de géométrie sont fréquemment en cause (voir chapitre : « 2.5 Cas particuliers »)
- Vérifier si le filtre à huile est en état de marche et respecter toujours les instructions du constructeur lors du changement du filtre à huile et de l'huile
- Contrôler le niveau d'huile et la pression d'huile, les rectifier si nécessaire
- Vérifier si la pompe à huile est en état de marche
- Rechercher les fuites éventuelles sur les conduites d'huile
- Vérifier la contrainte exercée sur les différents coussinets
- Examiner l'ensemble du jeu de coussinets à la recherche d'incorporations de particules ou de rayures : le cas échéant, des particules ont possiblement entraîné la formation d'érosions (voir chapitre : « 3. Dommages dus à des particules »)

2.5 CAS PARTICULIERS

Dans certains cas, les coquilles de coussinet présentent une marque de portée particulière. Les pictogrammes ci-après permettent de faire le rapprochement entre l'aspect possible d'un dommage et le type de dommage.

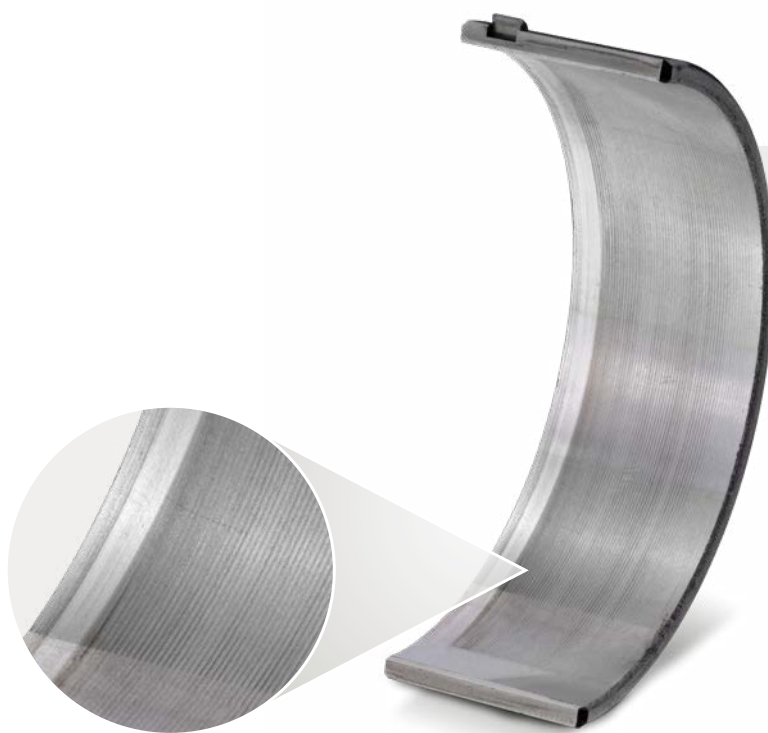
Coquille de coussinet inférieure	Coquille de coussinet supérieure	Chapitre
		2.5.1 Contact des bords unilatéral • Sur le même côté de la coquille supérieure et de la coquille inférieure
		2.5.2 Contact des bords unilatéral alterné • Sur le côté diagonalement opposé de la coquille supérieure et de la coquille inférieure • Différentes zones peuvent être plus ou fortement touchées
		2.5.3 Contact des bords bilatéral • Sur les deux côtés de la coquille supérieure et de la coquille inférieure
		2.5.4 Large trace d'usure au milieu du coussinet • Généralement de même importance sur la coquille supérieure et la coquille inférieure • Pas d'usure marquée dans les coquilles supérieures des coussinets de ligne en raison de la rainure d'huile
		2.5.5 Usure en forme de bande au milieu du coussinet • Généralement de même importance sur la coquille supérieure et la coquille inférieure • Pas d'usure marquée sur les coquilles de coussinet de ligne supérieures avec rainure d'huile

Coquille de coussinet inférieure	Coquille de coussinet supérieure	Chapitre
		2.5.6 Usure de zones opposées des surfaces de séparation
		2.5.7 Usure bilatérale au niveau des surfaces de séparation
		2.5.8 Zones d'usure resserrées au sommet de la coquille de coussinet
		2.5.9 Fines bandes sans usure sur les bords du coussinet • Peuvent être unilatérales ou bilatérales

2.5.1 CONTACT DES BORDS UNILATÉRAL

DESCRIPTION

- Bande d'usure brillante, claire, d'un côté sur le bord
- Au niveau du contact des bords : manifestations de fatigue du matériau ou érosions reconnaissables dans les cas graves
- Caractéristiques de surchauffe telles que décolorations par la contrainte thermique ou dépôt de calamine au niveau du contact des bords au dos du coussinet



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

Une usure unilatérale du bord est visible. L'usure se présente sous la forme d'une usure de rodage d'adaptation. Le fonctionnement du coussinet n'est pas altéré.

ANALYSE

L'interstice de lubrification au bord du coussinet est trop réduit si bien que le film de lubrification n'est pas pleinement solide, d'où une friction mixte locale. Si le manque de lubrifiant perdure, la chaleur due à la friction entraîne une hausse de la température. Les conséquences peuvent en être des dommages par surchauffe comme des décolorations sombres du dos du coussinet. Cette hausse de la température intensifie le manque de lubrifiant et

le phénomène s'auto-amplifie jusqu'aux premières érosions et aux dommages par fatigue dus à la pression superficielle accrue. Selon l'intensité de l'usure aux bords, ceci peut être considéré comme tout à fait habituel. Pendant le fonctionnement, le vilebrequin subit une flexion qui se répercute principalement sur les coussinets de ligne extérieurs. Les coussinets extérieurs présentent par conséquent un contact des bords plus important.

CAUSES POSSIBLES

- Meulage conique du maneton (Fig. 1)
- Alésage du logement conique (Fig. 2)
- Rayon d'arrondissement trop grand d'un côté (Fig. 3)
- Flexion du vilebrequin : le vilebrequin n'a pas été équilibré lors de la pose ou se déforme en fonctionnement sous l'effet de la contrainte mécanique
- Désalignement de l'alésage du logement en raison de couples de serrage incorrects des vis lors de l'assemblage du moteur ou d'une déformation excessive du passage des coussinets de ligne due à la température en cours de fonctionnement
- Décalage axial des coquilles



Fig. 1 : Meulage conique du maneton



Fig. 2 : Alésage du logement conique

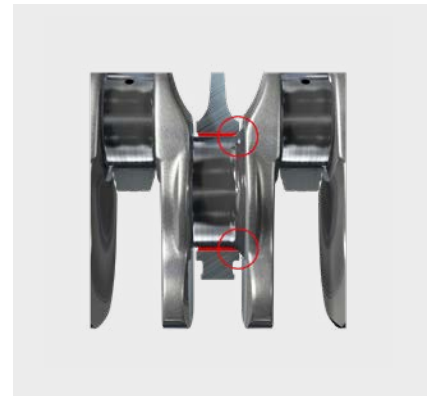


Fig. 3 : Rayon d'arrondissement trop grand d'un côté

REMÈDE

Selon la progression de l'usure, les coussinets qui présentent un contact des bords peuvent encore être utilisés.

Si ce dommage s'intensifie au bout de quelques heures de service seulement, des mesures doivent être prises pour en constater les causes :

- Contrôler si la géométrie du vilebrequin est correcte : cote, circularité, cylindricité, ondulation, rugosité de surface
- Contrôler si l'alésage de base du passage des coussinets est correct : cote, circularité, cylindricité, surface
- Lors du montage, équilibrer le vilebrequin et contrôler la contrainte exercée sur le vilebrequin
- Contrôler l'alignement de l'alésage de coussinet de ligne : lors de l'assemblage d'un moteur, respecter toujours les couples de serrage prescrits de même que l'ordre de serrage des vis – le refroidissement du moteur doit être suffisant durant le fonctionnement car des températures excessives peuvent également être responsables de déformations
- Contrôler l'angle des tiges de bielle avant le montage

2.5.2 CONTACT DES BORDS UNILATÉRAL ALTERNÉ

DESCRIPTION

- Bande d'usure brillante, claire – du côté opposé sur la coquille supérieure et la coquille inférieure
- Au niveau du contact des bords : manifestations de fatigue du matériau reconnaissables ou érosions possibles
- Caractéristiques de surchauffe telles que décolorations par la contrainte thermique ou dépôt de calamine au niveau du contact des bords au dos du coussinet



Coquille de coussinet de bielle en matériau composite acier-laiton avec revêtement sputter côté tige



Coquille de coussinet de bielle en matériau composite acier-aluminium côté chapeau

Le décalage diagonal de la marque de portée est reconnaissable. L'usure est d'intensité différente en différentes zones du bord. Le fonctionnement du coussinet n'est pas altéré.

ANALYSE

L'interstice de lubrification au bord du coussinet est trop réduit si bien que le film de lubrification n'est pas pleinement solide, d'où une friction mixte locale. Si le manque de lubrifiant perdure, la chaleur due à la friction entraîne une hausse de la température.

Les conséquences peuvent en être des dommages par surchauffe comme des décolorations sombres du dos du coussinet. Cette hausse de la température intensifie le manque de lubrifiant et le phénomène s'auto-amplifie jusqu'aux premières érosions et aux dommages par fatigue dus à la pression superficielle accrue.

CAUSES POSSIBLES

- Désalignement du maneton ou du carter (Fig. 1)
- Rayons d'arrondissement incorrects de l'arbre
- « Vacillement » de la tige de bielle (déformée ou vrillée) (Fig. 2)
- Déformation du carter de vilebrequin



Fig. 1 : Désalignement



Fig. 2 : « Vacillement » de la tige de bielle

REMÈDE

Selon la progression de l'usure, les coussinets qui présentent un contact des bords peuvent encore être utilisés.

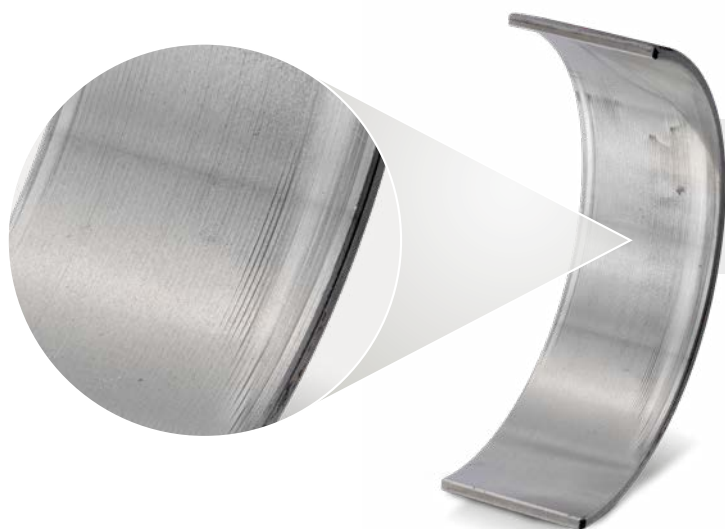
Si ce dommage s'intensifie au bout de quelques heures de service seulement, des mesures doivent être prises pour en constater les causes :

- Contrôler si la géométrie du vilebrequin est correcte : cote, circularité, cylindricité, ondulation, rugosité de surface
- Contrôler si l'alésage de base du passage des coussinets est correct : cote, circularité, cylindricité, surface
- Lors du montage, équilibrer le vilebrequin et contrôler la contrainte exercée sur le vilebrequin
- Contrôler l'alignement de l'alésage de coussinet de ligne : lors de l'assemblage d'un moteur, respecter toujours les couples de serrage prescrits de même que l'ordre de serrage des vis – le refroidissement du moteur doit être suffisant durant le fonctionnement car des températures excessives peuvent également être responsables de déformations
- Contrôler l'angle des tiges de bielle avant le montage

2.5.3 CONTACT DES BORDS BILATÉRAL

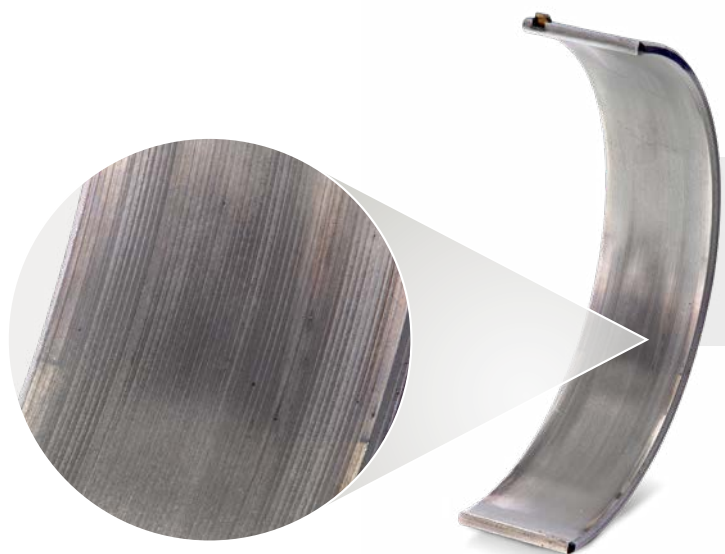
DESCRIPTION

- Bande d'usure brillante, claire – des deux côtés sur les bords
- Au niveau du contact des bords : manifestations de fatigue du matériau reconnaissables ou érosions possibles
- Caractéristiques de surchauffe telles que décolorations par la contrainte thermique ou dépôt de calamine au niveau du contact des bords possibles au dos du coussinet



**Coquille de coussinet de bielle
côté chapeau en matériau
composite acier-aluminium**

Contact des bords bilatéral à son stade initial – usure sous forme d'usure de rodage d'adaptation.



**Coquille de coussinet de bielle
côté tige en matériau composite
acier-laiton avec revêtement
sputter**

Contact des bords bilatéral à son stade initial – usure sous forme d'usure de rodage d'adaptation.

ANALYSE

L'interstice de lubrification au bord du coussinet est trop réduit si bien que le film de lubrification n'est pas pleinement solide, d'où une friction mixte locale. Si le manque de lubrifiant perdure, la chaleur due à la friction entraîne une hausse de la température. Les conséquences peuvent en être des dommages par surchauffe comme des décolorations sombres du dos du coussinet. Cette hausse de la température intensifie le manque de lubrifiant et

le phénomène s'auto-amplifie jusqu'aux premières érosions et aux dommages par fatigue dus à la pression superficielle accrue dans cette zone. Le contact des bords bilatéral se produit souvent dans la plage de charge principale d'un coussinet. Selon l'intensité de l'usure, ceci peut être considéré comme normal et ne constitue pas une altération du fonctionnement.

CAUSES POSSIBLES

- Maneton de forme concave (Fig. 1)
- Alésage du logement concave (Fig. 2)
- Trop grand rayon d'arrondissement entre le maneton et le flasque du vilebrequin (Fig. 3)
- Trop grand jeu axial, « vacillement » de la tige de bielle
- Meulage conique du maneton (Fig. 4)



Fig. 1 : Maneton de forme concave



Fig. 2 : Alésage du logement concave



Fig. 3 : Trop grand rayon d'arrondissement

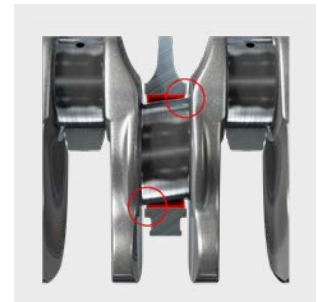


Fig. 4 : Meulage conique du maneton

REMÈDE

Selon la progression de l'usure, les coussinets qui présentent un contact des bords peuvent encore être utilisés.

Si ce dommage s'intensifie au bout de quelques heures de service seulement, des mesures doivent être prises pour en constater les causes :

- Contrôler si la géométrie du vilebrequin est correcte : cote, circularité, cylindricité, ondulation, rugosité de surface
- Contrôler si l'alésage de base du passage des coussinets est correct : cote, circularité, cylindricité, surface
- Lors du montage, équilibrer le vilebrequin et contrôler la contrainte exercée sur le vilebrequin
- Contrôler l'alignement de l'alésage de coussinet de ligne : lors de l'assemblage d'un moteur, respecter toujours les couples de serrage prescrits de même que l'ordre de serrage des vis – le refroidissement du moteur doit être suffisant durant le fonctionnement car des températures excessives peuvent également être responsables de déformations
- Contrôler l'angle des tiges de bielle avant le montage

2.5.4 LARGE TRACE D'USURE AU MILIEU DU COUSSINET DANS LA DIRECTION DE LA CIRCONFÉRENCE

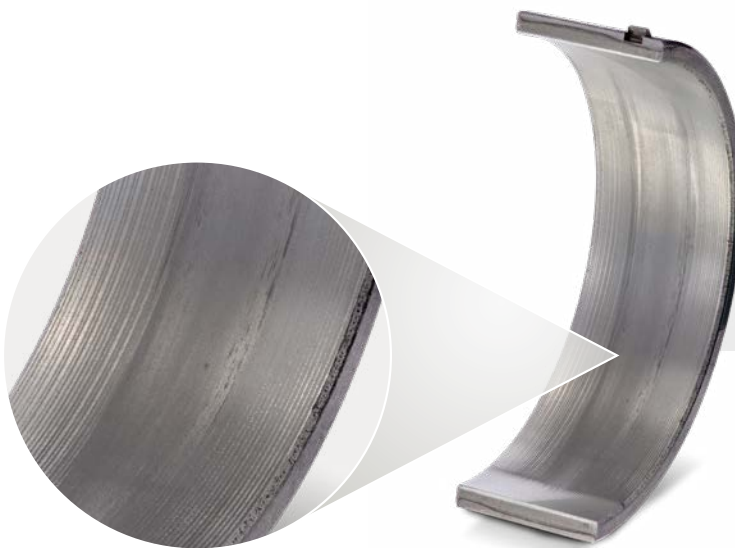
DESCRIPTION

- Forte trace d'usure au milieu du coussinet dans la direction de la circonférence
- Usure moindre des bords du coussinet
- Déplacements locaux de matériau dans la direction de la circonférence
- Dans les cas graves : manifestations de fatigue du matériau et érosions visibles



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

Des traces d'usure nettes s'estompant vers le dégagement sont reconnaissables au milieu du coussinet. Elles touchent déjà la couche de roulement sous forme d'érosions.



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

Une marque de portée importante s'estompant vers le dégagement est reconnaissable au milieu du coussinet. La forme de la marque de portée correspond encore à une usure de rodage d'adaptation.

ANALYSE

L'interstice de lubrification au milieu du coussinet est trop réduit si bien que le film de lubrification n'est pas pleinement solide, d'où une friction mixte locale. Si le manque de lubrifiant perdure, la chaleur due à la friction entraîne une hausse de la température.

La hausse du niveau de température intensifie le manque de lubrifiant. Ce phénomène s'auto-amplifie jusqu'à l'apparition des premières érosions et de dommages par fatigue suite à une pression superficielle accrue dans cette zone.

CAUSES POSSIBLES

- Forme trop convexe du maneton (Fig. 1)
- Alésage du logement convexe (Fig. 2)
- Manque de lubrifiant



Fig. 1 : Forme trop convexe du maneton



Fig. 2 : Alésage du logement convexe

REMÈDE

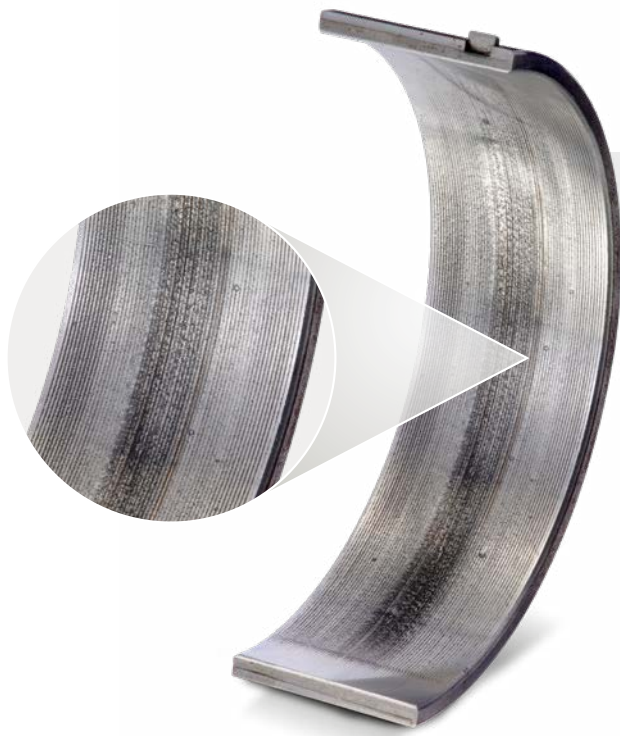
Selon la progression de l'usure, les coussinets peuvent encore être utilisés. Lorsque des érosions se forment ou que des manifestations de fatigue du matériau deviennent visibles, ils doivent être remplacés et des mesures doivent être prises pour en identifier les causes :

- Contrôler si la géométrie du vilebrequin est correcte : cote, circularité, cylindricité, ondulation, rugosité de surface
- Contrôler si l'alésage de base du passage des coussinets est correct : cote, circularité, cylindricité, surface
- Lors du montage, équilibrer le vilebrequin et contrôler la contrainte exercée sur celui-ci
- Contrôler l'alignement de l'alésage de coussinet de ligne : lors de l'assemblage d'un moteur, respecter toujours les couples de serrage prescrits de même que l'ordre de serrage des vis – le refroidissement du moteur doit être suffisant durant le fonctionnement car des températures excessives peuvent également être responsables de déformations
- Contrôler l'angle des tiges de bielle avant le montage
- Contrôler le système de lubrifiant (voir chapitre : « 2.3 Érosion »)

2.5.5 USURE EN FORME DE BANDE AU MILIEU DU COUSSINET

DESCRIPTION

- Usure en forme de bande au milieu du coussinet dans le prolongement de la rainure d'huile – sur le coussinet de bielle dans les deux coquilles de coussinet au niveau de l'orifice d'huile sur le maneton
- Avec en partie des éraflures périphériques
- Usure moindre des bords du coussinet
- Zone d'usure étroitement limitée
- Dans les cas graves : manifestations de fatigue du matériau et érosions visibles



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

Des bandes nettement délimitées sont reconnaissables au milieu du coussinet. Ceci correspond à la forme de la rainure d'huile présente dans la coquille de coussinet de ligne supérieure. Les traces d'usure se présentent sous la forme d'une usure de rodage d'adaptation.

ANALYSE

Cette forme d'usure peut être due à un orifice d'huile absent ou insuffisamment arrondi (Fig. 1). L'usure est très marquée dans la coquille inférieure des coussinets de ligne ou dans les deux coquilles des coussinets de bielle au niveau de l'orifice d'huile sur le maneton.

L'usure « en peigne » (Fig. 2) est une autre cause susceptible de produire le même dommage. Elle est la conséquence de la moindre usure du maneton au niveau de la rainure d'huile.

Étant donné qu'il n'y a pas de contact métallique entre le maneton et le coussinet en raison de la rainure d'huile, il ne s'y produit pas d'érosion de la matière et une élévation se forme sur le maneton. Cette élévation entraîne une usure en forme de bande dans la coquille de coussinet sans rainure d'huile. Les deux phénomènes peuvent entraîner des érosions et des dommages par fatigue.

CAUSES POSSIBLES

- Arrondi de l'orifice d'huile absent ou insuffisant (Fig. 1)
- Un couplage de matériaux défavorable du coussinet et du maneton entraîne une usure moindre du maneton au niveau de la rainure d'huile (Fig. 2)

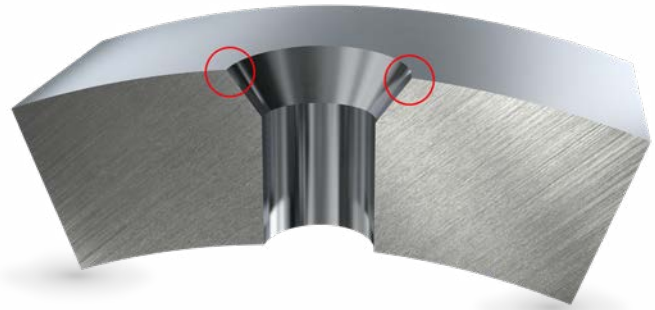


Fig. 1 : Arrondi de l'orifice d'huile absent ou insuffisant

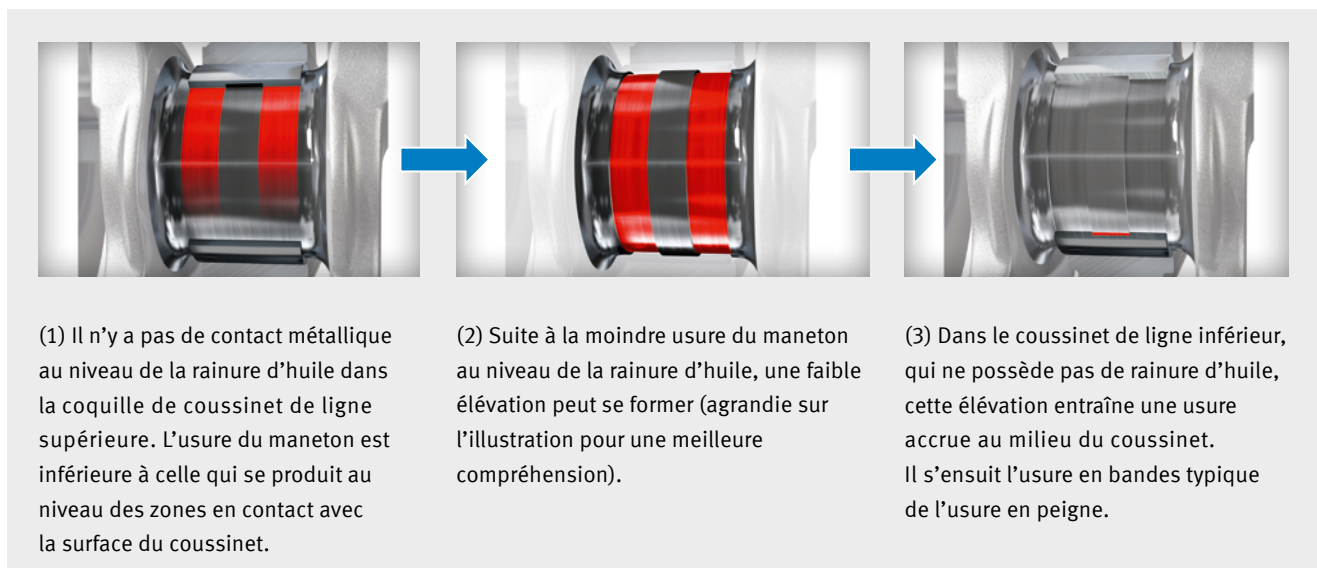


Fig. 2 : Couplage de matériaux défavorable du coussinet et du maneton

REMÈDE

Selon la progression de l'usure, les coussinets peuvent encore être utilisés. Lorsque des érosions se forment ou que des manifestations de fatigue du matériau deviennent visibles, ils doivent être remplacés et des mesures doivent être prises pour en identifier les causes :

- Contrôle et retouche de la sortie de l'orifice d'huile
- Vérifier si le tourillon présente une élévation au niveau de la rainure d'huile
- Contrôler le couplage des matériaux du maneton et du coussinet (dureté du vilebrequin / coussinet)
- Contrôler la rugosité du maneton

2.5.6 USURE DE ZONES OPPOSÉES DES SURFACES DE SÉPARATION

DESCRIPTION

- Traces d'usure importantes au niveau des dégagements diagonalement opposés
- Usure sensiblement moindre du sommet de la coquille de coussinet
- Dans les cas graves : manifestations de fatigue du matériau et érosions visibles



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

Une usure marquée est visible dans le dégagement tandis que le sommet du coussinet est nettement moins usé.

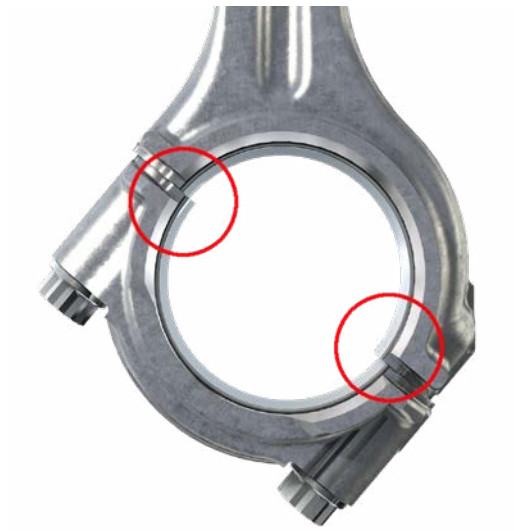
ANALYSE

Lorsque les coquilles de coussinet portent à cet endroit, on est en présence d'un défaut grave. L'usure peut être due à un décalage des coquilles de coussinet entre elles suite à une erreur de montage. Le jeu du coussinet est localement trop faible en raison du déport du chapeau, si bien que le film de lubrification n'est pas pleinement solide, d'où une friction mixte par endroits. Si le manque de lubrifiant perdure, la chaleur due à la friction entraîne une hausse de la température.

Cette hausse de la température intensifie le manque de lubrifiant et le phénomène s'auto-amplifie jusqu'aux premières érosions et aux dommages par fatigue dus à la pression superficielle accrue.

CAUSES POSSIBLES

- Montage d'un mauvais chapeau de palier
- Chapeau de palier monté tourné de 180 degrés
- Utilisation d'un outil inapproprié ou de mauvaises vis d'ajustage
- Ordre de serrage incorrect ou couple de serrage incorrect des vis



REMÈDE

Le coussinet doit être remplacé et la cause éliminée car il n'est pas prévu pour être utilisé dans cette zone :

- Veiller à la correspondance entre les coquilles de coussinet et les cylindres
- Monter les vis adaptées uniquement avec l'outil approprié
- Serrer les vis en respectant les couples de serrage et l'ordre de serrage prescrits par le constructeur
- Contrôler l'alésage de base : la cote, la circularité, la cylindricité, la surface doivent respecter des tolérances précises

2.5.7 USURE BILATÉRALE AU NIVEAU DES SURFACES DE SÉPARATION

DESCRIPTION

- Traces d'usure importantes au niveau des deux dégagements sur la coquille supérieure et la coquille inférieure
- Usure nettement moindre du sommet des coquilles de coussinet
- Dans les cas graves : manifestations de fatigue du matériau et érosions visibles



ANALYSE

Lorsque les coquilles de coussinet portent à cet endroit, on est en présence d'un défaut grave. L'aspect peut être dû à un alésage de base de forme ovale en hauteur. Le jeu du coussinet s'en trouve réduit au niveau de la surface de séparation, si bien que le film de lubrification n'est pas pleinement solide, d'où une friction mixte dans les dégagements. Si le manque de lubrifiant perdure, la chaleur due à la friction entraîne une hausse de la température.

Cette hausse de la température intensifie le manque de lubrifiant et le phénomène s'auto-amplifie jusqu'aux premières érosions et aux dommages par fatigue dus à la pression superficielle accrue dans cette zone.

CAUSES POSSIBLES

- Déformation ovale de l'alésage du logement suite à une contrainte thermique ou mécanique
- Tige de bielle avec un œil de bielle ovale : tige de bielle usagée remontée sans avoir subi les retouches nécessaires
- Serrage des vis incorrect lors de la réalisation de l'alésage de base



REMÈDE

- Contrôler la contrainte sur l'alésage du logement
- Contrôler l'alésage de base : la cote, la circularité, la cylindricité, la surface doivent respecter des tolérances précises – les pièces usagées doivent éventuellement être retouchées avant d'être montées à nouveau
- Serrer les vis en respectant les couples de serrage et l'ordre de serrage prescrits par le constructeur

2.5.8 ZONE D'USURE RESSERRÉE AU SOMMET DE LA COUILLE DE COUSSINET

DESCRIPTION

- Traces d'usure resserrées au sommet de la coquille
- Plus fortement marquées dans la coquille la plus sollicitée
- Dans les cas graves : manifestations de fatigue du matériau et érosions visibles



Coquille de coussinet de ligne supérieure en matériau composite acier-aluminium

Traces d'usure reconnaissables au niveau du sommet sous la forme de l'usure de rodage d'adaptation. Aucune trace de fonctionnement n'est visible dans la partie restante de la surface de glissement du coussinet.

ANALYSE

L'aspect peut être dû un alésage de base de forme ovale en largeur. Le jeu du coussinet s'en trouve réduit au niveau du sommet, si bien que le film de lubrification n'est pas pleinement solide, d'où une friction mixte par endroits. Si le manque de lubrifiant perdure, la chaleur due à la friction entraîne une hausse de la température.

Cette hausse de la température intensifie le manque de lubrifiant et le phénomène s'auto-amplifie jusqu'aux premières érosions et aux dommages par fatigue dus à la pression superficielle accrue dans cette zone.

CAUSES POSSIBLES

- Tassement de la bielle ou des surfaces d'appui
- Serrage des vis incorrect lors de la réalisation de l'alésage de base
- Contrainte de pression extrême sur la bielle



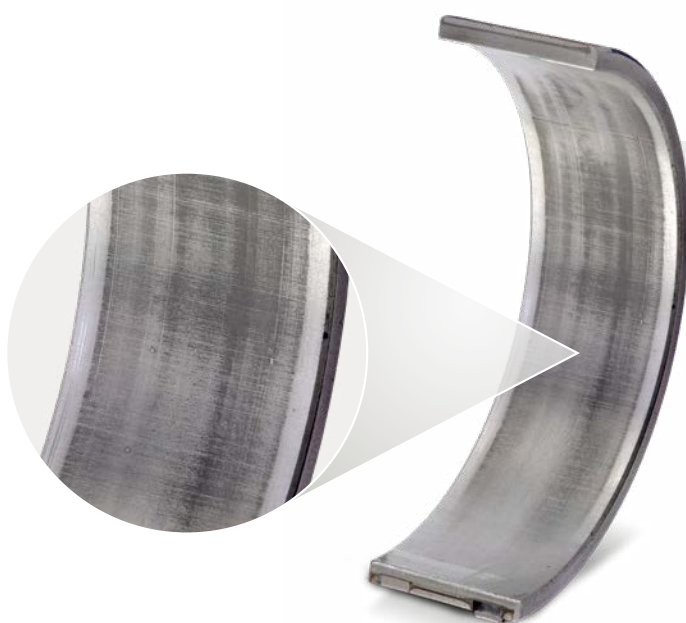
REMÈDE

- Contrôler si l'alésage de base du passage des coussinets est correct : cote, circularité, cylindricité, surface
- Serrer les vis en respectant les couples de serrage et l'ordre de serrage prescrits par le constructeur
- Contrôler la contrainte exercée sur la bielle

2.5.9 FINES BANDES SANS USURE SUR LES BORDS DU COUSSINET

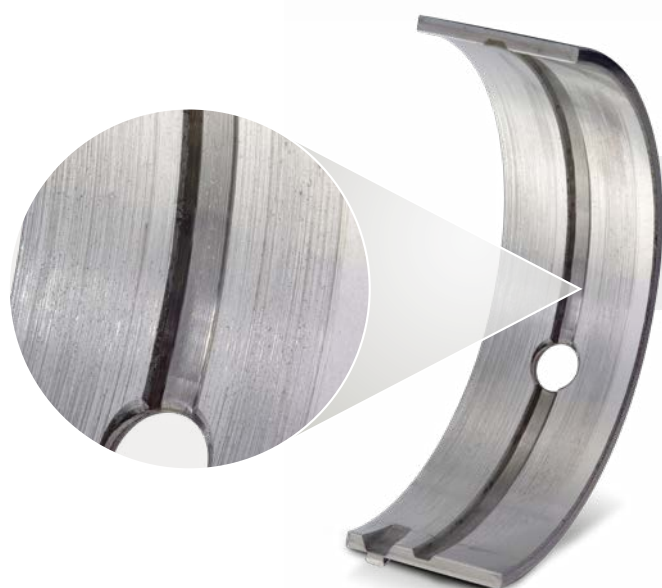
DESCRIPTION

- Fines bandes sans usure sur les bords du coussinet
- Pas de traces de frottement visibles dans cette zone
- Structure d'usinage provenant de la fabrication encore reconnaissable dans cette zone
- Délimitation nette reconnaissable entre la bande sans usure et la zone usée



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

Deux bandes sans usure sont reconnaissables aux bords sans traces de portée visibles. Le reste du coussinet présente une décoloration légèrement noirâtre, possible conséquence de la corrosion ou de l'usure.



Coquille de coussinet de ligne supérieure en matériau composite acier-aluminium

Une bande sans usure est reconnaissable au bord sans traces de portée visibles. Le reste du coussinet présente une formation de stries marquée.

ANALYSE

Le dépassement axial unilatéral (Fig. 1) ou bilatéral (Fig. 2) de la coquille de coussinet produit de fines bandes sans usure aux bords, qui ne présentent pas l'aspect typique d'une usure de rodage d'adaptation. Dans ces zones, quel que soit le nombre de tours du maneton, il n'y a jamais de contact métallique.

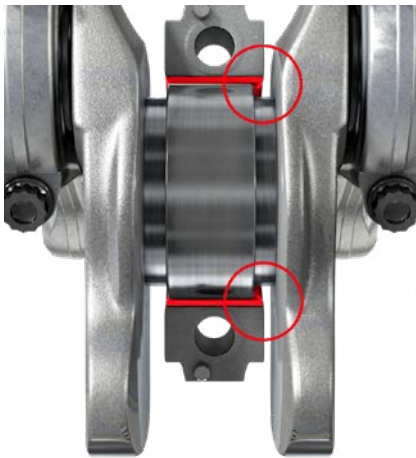


Fig. 1 : Dépassement axial unilatéral

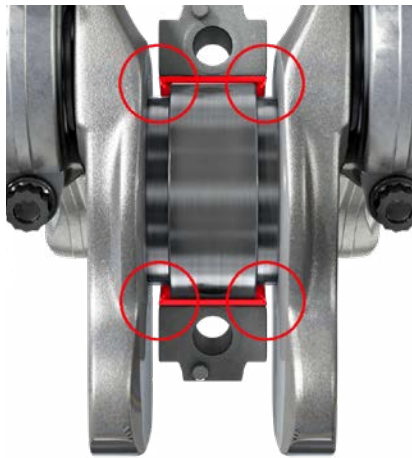


Fig. 2 : Dépassement axial bilatéral

CAUSES POSSIBLES

- Différence de géométrie du maneton
- Choix d'une mauvaise largeur du coussinet
- Jeu de montage (décalage arbre / maneton)

REMÈDE

Selon la progression de l'usure, les coussinets peuvent encore être utilisés. Lorsque des érosions se forment ou que des signes de fatigue du matériau deviennent visibles, ils doivent être remplacés et des mesures doivent être prises pour en identifier les causes :

- Contrôler si la géométrie du vilebrequin est correcte avant la pose : cote, circularité
- Remplacer le vilebrequin ou monter de nouveaux coussinets adaptés à la géométrie du vilebrequin

3. DOMMAGES DUS À DES PARTICULES

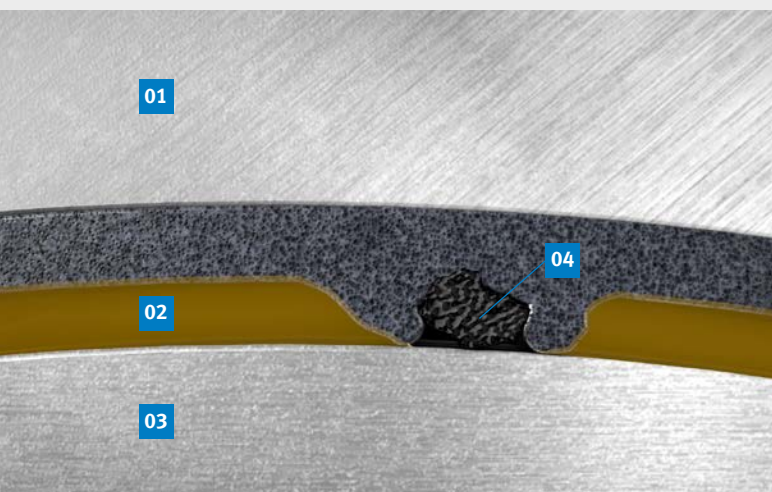
3.1 INTRODUCTION

Lorsque des particules étrangères pénètrent dans l'interstice de lubrification entre le coussinet et le tourillon, le danger de dommage du coussinet est important. Compte tenu des très faibles épaisseurs du film de lubrification, des particules même de petite taille peuvent nuire au fonctionnement et provoquer une friction mixte. Elles peuvent être incorporées dans la couche de glissement ou de roulement et être ainsi rendues « inoffensives ». Les bords alors soulevés sont aplanis par le contact de l'arbre. Les particules plus épaisses que la couche de glissement ou de roulement ne peuvent pas être entièrement incorporées. La partie qui dépasse occasionne une usure du tourillon en forme de stries. Les stries importantes réduisent la durée de vie prévue et peuvent favoriser les grippages du coussinet.

Des particules peuvent entrer dans le bloc-moteur et se déposer dès la fabrication ou lors de la rectification d'un moteur. Ceci peut se produire par exemple lors du sablage ou du grenaillage d'un bloc-moteur. Mais des particules de crasse peuvent également être « produites » durant le fonctionnement (par exemple de la suie ou de la calamine).

Un entretien insuffisant du système de lubrification ou des facteurs externes extrêmes favorisent également l'apport de crasse dans le circuit de lubrifiant. Des coussinets voisins endommagés ou d'autres composants moteur endommagés peuvent eux aussi faire entrer des particules dans le circuit d'huile.

D'une manière générale, le danger de dommages dus à des particules est plus grand pour le coussinet de ligne que pour le coussinet de bielle. Les coussinets de bielle sont alimentés en huile provenant des coussinets de ligne au travers d'alésages du vilebrequin, si bien que l'huile traverse d'abord les coussinets de ligne. Les particules de grande de taille sont incorporées dans le coussinet de ligne et n'accèdent généralement pas au coussinet de bielle.



- 01 Dos d'acier
- 02 Film d'huile
- 03 Arbre
- 04 Particules



Une analyse du coussinet et un prélèvement d'échantillon de l'huile peuvent être utiles pour déterminer l'origine des particules.

CAUSES POSSIBLES

- Manque de propreté lors du montage : de la crasse peut entrer dans le bloc-moteur en cas d'inattention ou de nettoyage insuffisant des composants de moteur lors du montage
- Les résidus tels que les copeaux métalliques ou la limaille restée en place au moment de la fabrication ou d'une rectification peuvent former dans le bloc-moteur des dépôts qui se détachent en cours de fonctionnement – ces dépôts proviennent souvent de composants comme le radiateur d'huile, insuffisamment nettoyés lors d'une rectification du moteur
- Dommages sur les joints au niveau du moteur : si un joint est surchargé ou détérioré lors du montage, il ne remplit plus sa fonction et peut laisser passer des particules
- Mauvais entretien du système de lubrification : le dépassement des intervalles d'entretien ou les filtres à huile bouchés peuvent entraîner un encrassement de l'huile
- Cavitation : des particules sont arrachées du matériau d'appui et emportées par l'huile – selon leur taille, elles peuvent entraîner la formation de stries ou de fines incorporations dans le coussinet voisin
- Grippage : les composants moteur grippés (pistons, coquilles de coussinet) introduisent une grande quantité de particules dans le circuit de lubrifiant, particules qui peuvent endommager d'autres composants
- Dommages par fatigue : en cas d'arrachements de matériau sur des composants moteur, le matériau arraché peut être amené dans les coussinets par l'huile et y occasionner des dommages

REMÈDE

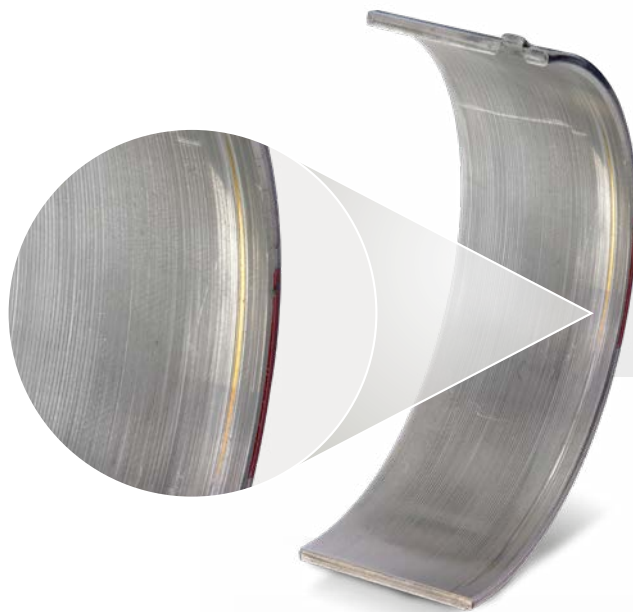
Il est généralement possible de continuer d'utiliser les coussinets en dépit de la formation de stries ou de particules incorporées. Toutefois, ceci dépend de l'importance du dommage. En présence, par exemple, de nombreux gros enfoncements de particules avec des traces de friction mixte déjà naissantes dues à des élévations du matériau, il est recommandé de remplacer le coussinet. Les fins enfoncements de particules ne gênent pas le fonctionnement du coussinet. Toutefois, la cause doit être recherchée dans les deux cas :

- Nettoyage de tous les composants avant le montage : il est important de rincer tous les orifices d'huile de l'arbre et du carter et de nettoyer les surfaces de siège des coussinets avant la mise en service afin d'éliminer les petits copeaux et particules issus de la fabrication ou de la rectification – les canaux d'huile des composants montés, par exemple du radiateur d'huile et du turbocompresseur, doivent eux aussi être soigneusement nettoyés
- Contrôler le bon fonctionnement des joints
- Changer toujours le filtre à huile et l'huile conformément aux indications du constructeur : veiller à respecter les intervalles d'entretien et utiliser toujours de l'huile et un filtre à huile de bonne qualité
- Filtration de l'air d'aspiration : entretenir régulièrement le filtre, le remplacer si nécessaire
- Inspecter les autres composants moteur à la recherche de dommages tels que cavitation, fatigue ou grippage – les dommages des coussinets dus aux particules sont souvent des dommages secondaires
- Si l'influence de particules n'est pas constatée, une analyse des coquilles de coussinet endommagées et un échantillon d'huile peuvent fournir une réponse : si des particules sont encore incorporées dans le coussinet ou présentes dans l'huile, leur composition chimique peut être déterminée – s'il s'agit par exemple de matière provenant du vilebrequin, une recherche plus détaillée des dommages peut être effectuée sur celui-ci

3.2 FORMATION DE STRIES

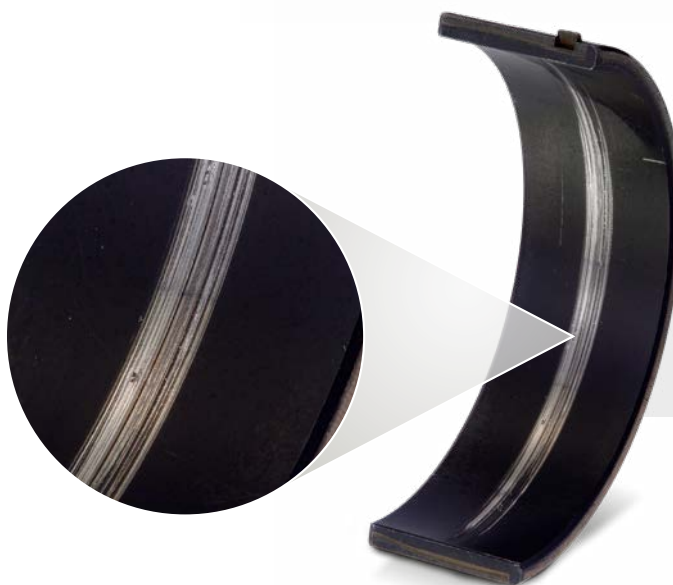
DESCRIPTION

- Cavités comparables à des traits avec des élévations du matériau sur les bords
- Élévations partiellement aplanies par l'usure, claires et brillantes
- Souvent associée à la formation de stries ou à l'incorporation de particules dans le vilebrequin ou des coussinets voisins



**Coquille de coussinet de bielle
côté tige en matériau composite
acier-laiton avec revêtement
sputter**

La strie atteint la couche de laiton. Des traces d'usure claires se sont formées à côtés des stries suite aux élévations lissées.



**Coquille de coussinet de ligne
inférieure en matériau composite
acier-aluminium avec revêtement
polymère**

Les stries vont jusqu'à la couche d'alliage d'aluminium.

ANALYSE

Les particules qui entrent dans l'interstice de lubrification et qui ne sont pas incorporées dans le matériau d'appui traversent plusieurs fois l'interstice de force en causant des stries. Selon l'épaisseur des bords alors relevés, ceux-ci ne peuvent pas être lissés au cours du fonctionnement et il se produit une hausse de la température au contact avec l'arbre suite à la friction mixte accrue.

Ceci entraîne fréquemment des érosions et des grippages.

La formation de stries peut également être la conséquence d'effets de friction mixte. Toutefois, les stries sont alors fines et plates et présentes sur les deux partenaires de glissement.

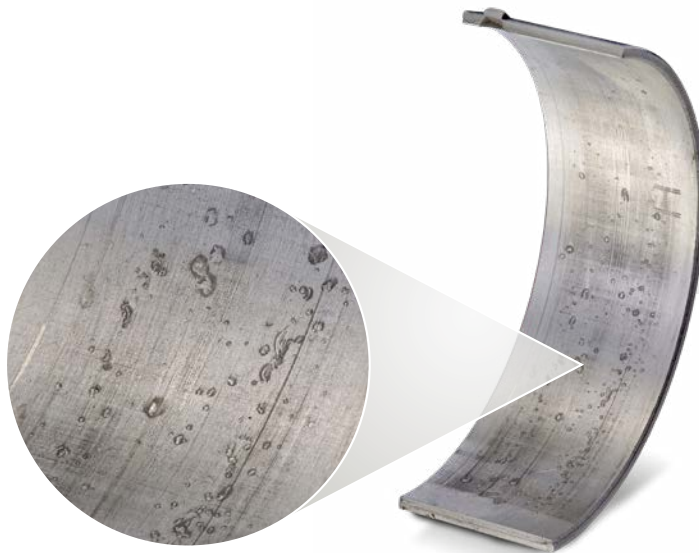
REMÈDE

Le coussinet doit être remplacé en présence de stries avec de fortes élévations sur les bords. En revanche, les coussinets peuvent encore être utilisés en présence de stries dont les élévations sont aplanies et si une autre action de particules n'est pas à craindre.

3.3 INCORPORATION

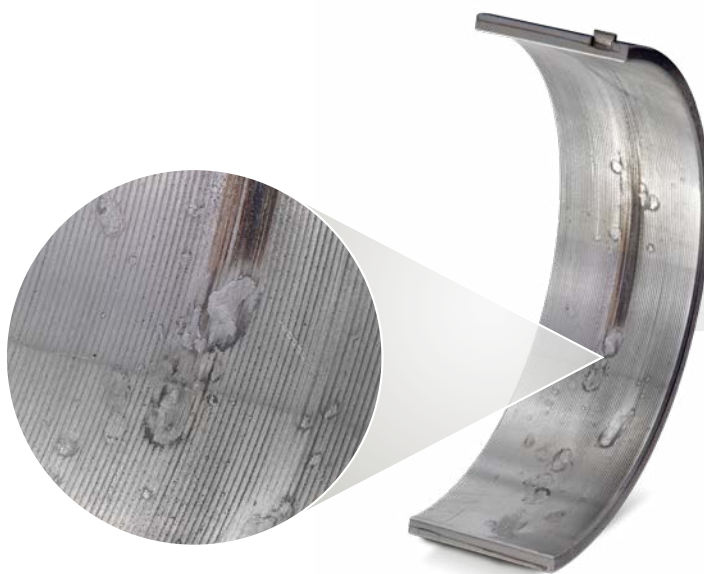
DESCRIPTION

- Cicatrisations sur la surface
- Enfoncements de particules (particules en partie encore présentes) entourées d'une élévation encore visible sous la forme d'un point clair brillant suite à l'usure
- Souvent associées à la formation de stries dans le maneton et le coussinet
- Dans les cas graves, des érosions partant des incorporations sont visibles



Coquille de coussinet de bielle côté chapeau en matériau composite acier-aluminium

De fins enfoncements de particules et des formations de stries isolées sont visibles.



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

Des enfoncements de particules importants sans particules incorporées sont visibles. Les particules ont entraîné des élévations du matériau qui ont provoqué une érosion au milieu du coussinet.

ANALYSE

Les particules qui entrent dans l'interstice de lubrification peuvent être incorporées dans le matériau d'appui. Selon l'épaisseur de la couche de glissement / de roulement, on distingue l'incorporation en profondeur et l'incorporation superficielle.

Dans le cas de l'incorporation en profondeur, les particules sont entièrement intégrées dans la couche de glissement / de roulement. Ceci est uniquement possible si les particules sont plus petites que l'épaisseur de la couche. Le matériau d'appui relevé sous l'effet de l'incorporation est aplati par l'usure provoquée par les contacts suivants avec l'arbre.

L'incorporation est superficielle lorsque les particules sont plus petites que l'épaisseur du revêtement. Les particules sont incomplètement incorporées et dépassent de la surface du coussinet.

Elles produisent une usure et la formation de stries à la surface du maneton. Les élévations des bords ou les dépassements de particules non entièrement incorporées nuisent à la formation du film de lubrifiant, des situations de friction mixte sont possibles. L'usure « en laine » est une autre conséquence possible. Les particules incorporées s'incrudent dans la surface de l'arbre et enlèvent du matériau (laine de copeaux). Les particules détachées, incorporées de façon répétée, font progresser le dommage du coussinet et une panne totale du maneton et du coussinet est souvent inévitable.

Les incorporations de particules peuvent donc avoir comme conséquences des érosions et des grippages.

REMÈDE

En présence de grandes incorporations de particules associées à un début d'usure du maneton et du coussinet, le coussinet doit être remplacé. Si les incorporations de particules sont fines, avec des élévations qui ont été aplanies et si une autre action de particules n'est pas à craindre, le fonctionnement du coussinet n'est pas altéré.

3.4 TRACE DE MIGRATION DE CRASSE

DESCRIPTION

- Enfoncements isolés qui se suivent, formant des traces aux extrémités desquelles des particules peuvent encore être incorporées
- Généralement de biais par rapport au bord
- Partant des rainures d'huile ou des orifices de lubrification
- Souvent associées à la formation de stries dans le maneton et à la formation de stries / l'incorporation de particules dans le coussinet



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

Une trace de migration de crasse partant de la surface de séparation est apparue. Plusieurs grands enfoncements de particules successifs, de biais, sont visibles. Quelques particules encore incorporées sont présentes.

ANALYSE

Les particules très grandes et dures qui entrent dans l'interstice de lubrification ne peuvent pas être incorporées dans le matériau d'appui. Elles sont alors poussées à travers l'interstice de lubrification, mais restent à chaque fois accrochées. Le dommage part fréquemment des rainures d'huile ou des orifices d'huile car c'est là que les particules ont été introduites. Les élévations importantes le long de la trace de migration entraînent des érosions et des grippages.

REMÈDE

En présence d'élévations importantes le long de la trace de migration ou de signes d'érosion, le coussinet doit être remplacé. Toutefois, si les élévations sont aplanies et si une autre action des particules n'est pas à craindre, les coussinets peuvent encore être utilisés.

3.5 INCLUSIONS AU DOS DU COUSSINET

DESCRIPTION

- Divergence limitée localement de la marque de portée
- Point d'usure clair dans la surface de glissement
- Résidus de particules / enfoncements fréquents au dos d'acier du coussinet
- Dans les cas graves, fortes traces de friction mixte sous la forme d'érosions et manifestations de fatigue reconnaissables dans la surface de glissement du coussinet



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

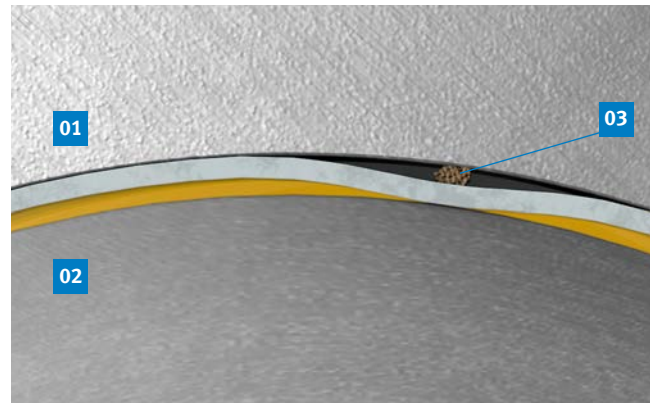
Une nette divergence de la marque de portée et une usure ponctuelle dans la surface de glissement sont reconnaissables. Le point de pression a été formé par des particules au dos du coussinet.



Vue du dos du coussinet

ANALYSE

La crasse ou les résidus d'huile (calamine) au dos du coussinet donnent naissance à des zones de pression locales reconnaissables sur la surface de glissement du coussinet. À l'intérieur du coussinet, la pression provoque une usure accrue par rapport au reste du coussinet. Celle-ci est reconnaissable sous la forme d'une divergence visible, souvent claire et brillante, par rapport à la trace de portée. Suivant l'importance des zones de pression, les conséquences peuvent en être des érosions et des grippages de même que des manifestations de fatigue.



- 01 Boîtier
- 02 Arbre
- 03 Particule

REMÈDE

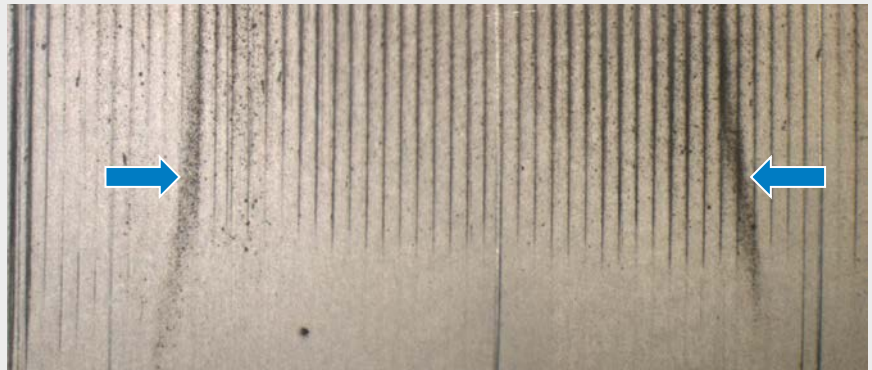
Selon la progression de l'usure de la couche de roulement, le coussinet peut encore être utilisé ou non. Lorsque des érosions ou des manifestations de fatigue telles que des fissures ou des arrachements se produisent au niveau du point de pression, le remplacement du coussinet est conseillé car une panne totale est à craindre. Le matériau arraché peut occasionner des dégâts secondaires au coussinet ou à un coussinet voisin.

4. ÉROSION ET CAVITATION

4.1 ÉROSION

DESCRIPTION

- Formation de stries fines dans la direction du flux d'huile
- Rugosité et fragmentation de la couche de roulement / de la couche de glissement



ANALYSE

L'érosion est une forme d'enlèvement de matière par abrasion, due aux forces d'écoulement de l'huile. Cet effet est renforcé par d'infimes particules présentes dans l'huile, par exemple de résidus de combustion ou de frottement. Souvent, l'érosion est également la conséquence d'une cavitation car des particules se détachent alors du matériau et entrent dans le système de lubrification. L'érosion agresse la surface du matériau et provoque son

activation chimique, ce qui favorise la corrosion. De même, la résistance à l'endurance du matériau est influencée négativement car la fragmentation de la surface peut entraîner des fissures. Des phénomènes de fatigue apparaissent.

En raison de l'utilisation d'huiles fluides, l'érosion est de plus en plus fréquente.

CAUSES POSSIBLES

- Nombres de tours élevés et faibles jeux des coussinets
- Utilisation d'huiles moteur inappropriées avec, par exemple, des additifs manquants ou incorrects
- Minuscules particules dans le flux d'huile : les particules peuvent provenir de différentes parties du moteur et découler, par exemple, d'une combustion incomplète ou d'une cavitation

REMÈDE

- Maintenir la température de l'huile à une valeur basse grâce à un refroidissement suffisant
- Effectuer toujours les changements du filtre à huile et de l'huile conformément aux indications du constructeur : veiller à respecter les intervalles d'entretien et utiliser toujours de l'huile et un filtre à huile de bonne qualité

4.2 CAVITATION

La cavitation est causée par le passage du lubrifiant à travers l'interstice du coussinet. La pression de vapeur de l'huile utilisée joue à cet égard un rôle déterminant.

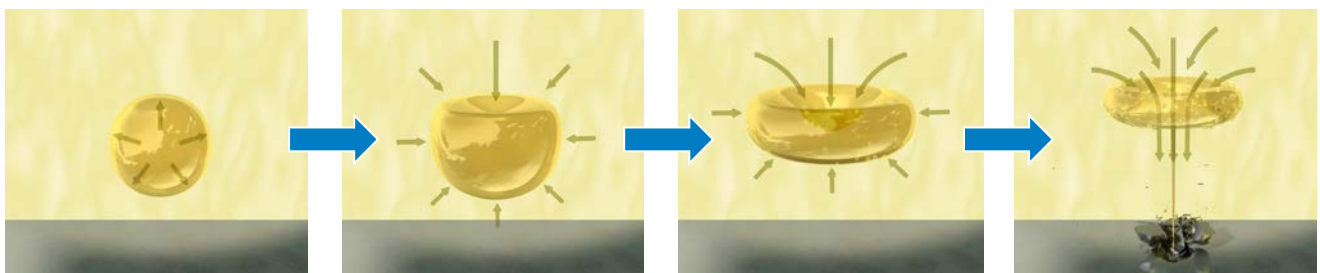
Au sens strict, la cavitation n'est que le processus physique de production de bulles de vapeur dans un liquide qui, en tant que tel, n'occasionne pas de dommage au coussinet. C'est l'érosion par cavitation qui décrit le dommage correspondant, c'est-à-dire une érosion de la matière typique due à l'implosion des bulles de vapeur dans des zones situées sous la pression de vapeur (cavitation $\leftrightarrow$ érosion par cavitation).

Dans certains cas, en dépit de leurs modes d'apparition différents, il est difficile de distinguer la cavitation, l'érosion et la corrosion. Des formes transitoires complexes, comme l'érosion par cavitation ou la corrosion par érosion sont également fréquentes.

Ceci s'explique par le fait que la cavitation et l'érosion agressent les couches anticorrosives et les activent chimiquement, ce qui peut entraîner une corrosion.

DESCRIPTION

Si la pression de vapeur de l'huile utilisée n'est pas atteinte, il se forme des bulles de gaz et de vapeur qui sont emportées par l'écoulement. Ceci est appelé cavitation. Lorsque la pression statique augmente à nouveau, les bulles implosent et il se produit de forts coups de bélier appelés microjets de même que des températures élevées. Les coups de bélier entraînent des d'arrachements et une érosion de la matière, l'érosion par cavitation.



Une bulle de cavitation se forme et grandit

L'implosion commence

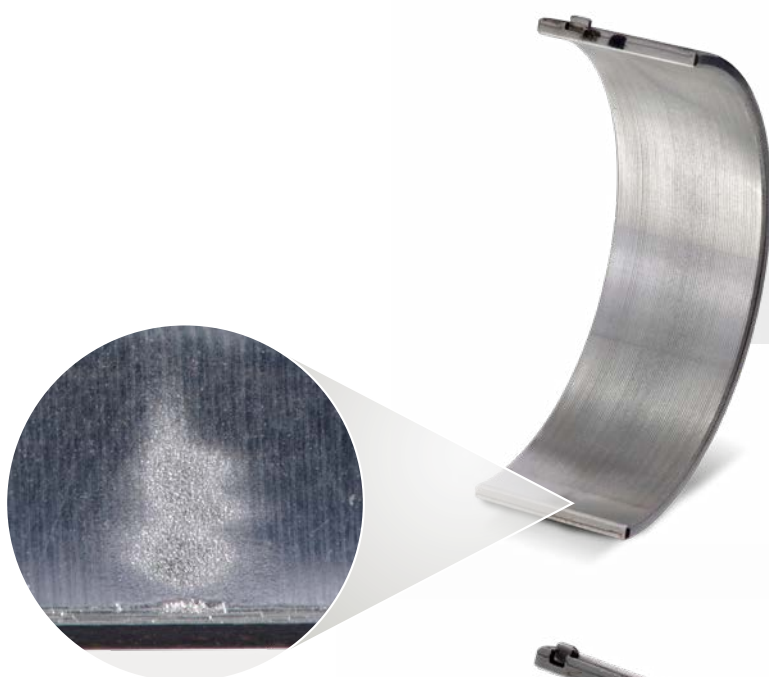
Un microjet se forme

Le microjet transperce la bulle de cavitation et rencontre la surface

DESCRIPTION

- Cavitation dans le dégagement : arrachement ponctuel ou en forme de champignon dans le dégagement en direction de la surface de séparation, zone nettement rugueuse et mate
- Cavitation à la sortie de la rainure d'huile : arrachement en forme de champignon à la sortie de la rainure d'huile, zone rugueuse et mate

La cavitation peut également se produire ailleurs sur le coussinet, par exemple au sommet. Ces formes sont toutefois beaucoup plus difficiles à différencier de l'érosion et de la corrosion. Il n'y a généralement pas d'arrachements de matière comme avec les formes ci-dessus, mais des zones rendues légèrement rugueuses qui peuvent être dues tant à l'érosion qu'à la corrosion.



**Coquille de coussinet de bielle
côté chapeau en matériau
composite acier-aluminium**

Cavitation dans le dégagement : une nette érosion de la matière est reconnaissable – la zone paraît mate par rapport au matériau environnant.

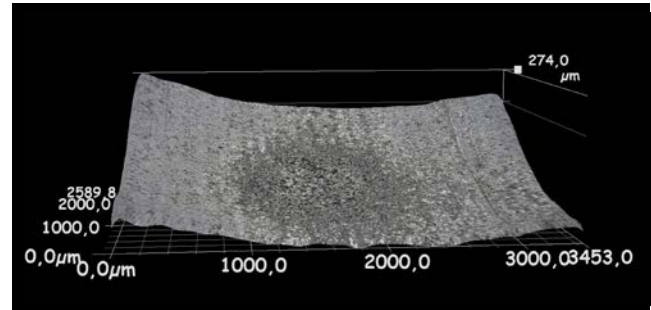


**Coquilles de coussinet de ligne
supérieures en matériau
composite acier-aluminium**

Cavitation à la sortie de la rainure d'huile : un arrachement du matériau d'appui en forme de champignon est visible. La zone est sensiblement plus mate et rugueuse que le matériau environnant.

ANALYSE

Les coups de bélier occasionnés par la désintégration de bulles de gaz et de vapeur à proximité de la surface du coussinet entraînent des arrachements de matériau (voir chapitre : « 4. Érosion et cavitation »). La cavitation va fréquemment de pair avec l'érosion et la corrosion et peut entraîner la formation de stries fines dans le coussinet ou dans les coussinets voisins.



Mesure en 3D – cavitation

CAUSES POSSIBLES

Les températures ou les éléments à bas point d'ébullition peuvent favoriser la cavitation.

- Éléments présents dans l'huile : eau, carburant, résidus d'érosion et crasse
- Pression d'huile trop basse : pertes de pression imprévues (par exemple avec une pompe à huile défectueuse) ou pression réglée sur une valeur trop basse
- Pression de vapeur de l'huile utilisée trop basse
- Augmentation de température dans le coussinet (par exemple en cas de manque d'huile)
- Les huiles à basse viscosité augmentent le risque de cavitation
- Les couches creuses / inclusions (par exemple dépôts de calamine) au dos du coussinet peuvent entraîner des vibrations de la coquille de coussinet et occasionner ainsi une cavitation

Cavitation par vibrations ou aspiration :

- l'interstice de lubrification est trop grand, d'où une baisse de la pression hydrodynamique dans l'interstice du coussinet
- Vibrations du vilebrequin : le mouvement du maneton provoque unilatéralement une baisse de la pression par effet d'aspiration
- Vibrations de l'alésage du logement (généralement à l'œil de bielle) suite à la déformation ou la flexion – la pression diminue dans le film d'huile

Cavitation par écoulement :

- des ruptures des surfaces (orifices d'huile, rainures d'huile) et des dérivations du flux d'huile peuvent entraîner une baisse de la pression

REMÈDE

Les coussinets présentant une cavitation ne doivent pas être remplacés. Selon l'importance de la cavitation, la durée de vie peut être réduite suite à la modification de la dynamique du coussinet. Toutefois, une panne totale n'est pas à craindre.

- Utiliser des huiles de qualité et changer régulièrement l'huile et le filtre conformément aux indications du constructeur
- Contrôler la pression d'huile et la rectifier si nécessaire
- Utiliser une huile ayant une pression de vapeur supérieure : cependant, l'huile doit être compatible avec tous les composants moteur, prendre conseil auprès du constructeur si nécessaire

- Contrôler l'interstice de lubrification et réajuster éventuellement le jeu du coussinet
- Contrôler la contrainte que subit le moteur sous l'effet des vibrations
- Vérifier si l'huile contient du carburant dilué

5. DOMMAGES PAR FATIGUE

5.1 INTRODUCTION

Une fatigue se produit en cas de dépassement local de la résistance à l'endurance du matériau. Des premières fissures se forment (Fig. 1), continuent de grandir sous l'effet de cisaillement et forment un réseau de fissures (Fig. 2). Des arrachements du métal d'appui se produisent ensuite (Fig. 3). Le réseau de fissures et les arrachements amoindrissent la solidité du coussinet et une rupture de fatigue peut se produire sous contrainte. Le coussinet lisse n'est alors plus en état de marche et la panne est totale.

Suite aux arrachements de matière, des particules sont introduites dans le système de lubrification. La formation de stries ou l'incorporation de particules sont possibles dans la coquille de coussinet ou dans les coquilles de coussinet voisines. Des érosions et des grippages peuvent également être occasionnés au coussinet ou aux coussinets voisins.

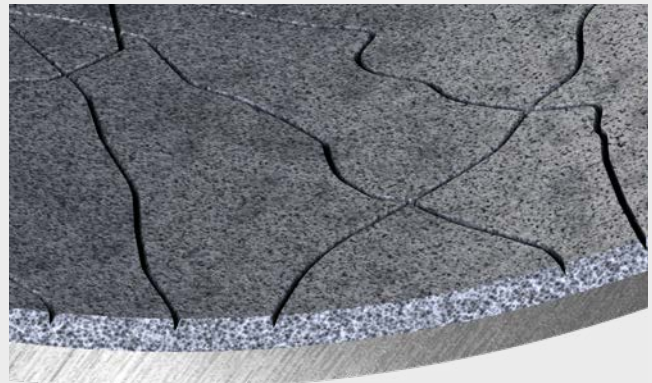


Fig. 1 : Premières fissures

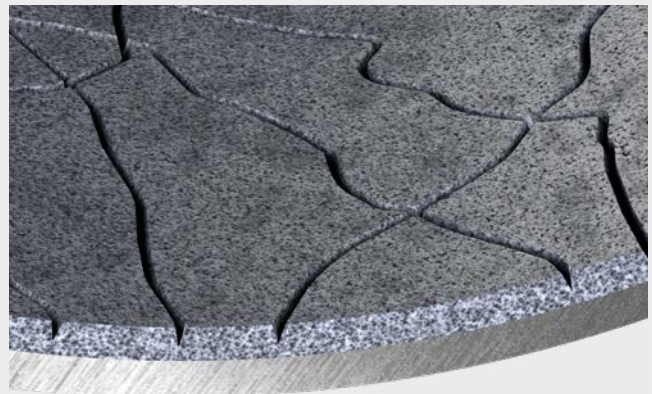


Fig. 2 : Réseau de fissures



Fig. 3 : Arrachements

CAUSES POSSIBLES

Les manifestations de fatigue telles que les arrachements de métal d'appui sont dues à une sursollicitation dynamique. Différentes causes sont possibles :

- Surcharge : si le coussinet subit des forces plus importantes que celles pour lesquelles il est conçu, une fatigue du matériau se produit – les dysfonctionnements de combustion comme le cliquetis augmentent la pression exercée sur le piston, donc sur le coussinet de bielle
- Interstice de lubrification trop étroit – un film de lubrifiant solide ne peut pas se former : la pression du film de lubrification augmente à ces endroits et il se forme des pressions superficielles – ceci peut être dû à des défauts d'alignement et de forme, des défauts de géométrie ou à des erreurs de montage (voir chapitre : « Cas particuliers d'usure par friction mixte »), l'examen des coussinets voisins peut renseigner à ce sujet
- Mauvaise qualité de l'huile ou vieillissement de l'huile : si une huile inappropriée est utilisée ou si la qualité de l'huile est insuffisante suite au vieillissement, la formation du film de lubrifiant peut être altérée
- Vibrations : si, en plus, le coussinet subit des contraintes alternées dues à des vibrations, le danger de fatigue du matériau augmente
- Températures élevées : les températures élevées favorisent la fatigue du matériau d'appui en abaissant sa résistance

REMÈDE

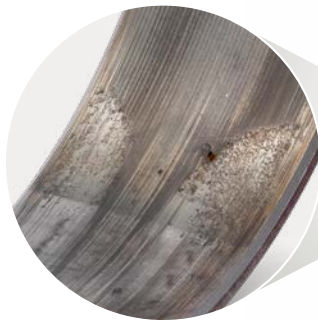
- Contrôler la contrainte des coussinets – le cas échéant, utiliser un coussinet plus résistant à la fatigue
- Contrôler si la géométrie du vilebrequin est correcte : cote, circularité, cylindricité, ondulation, rugosité de surface
- Contrôler si l'alésage de base du passage des coussinets est correct : cote, circularité, cylindricité, surface
- Contrôler l'alignement de l'alésage des coussinets de ligne (respecter les couples de serrage prescrits des vis, refroidir suffisamment le moteur)
- Contrôler l'angle des tiges de bielle avant le montage
- Équilibrer le vilebrequin avant le montage
- Utiliser uniquement l'huile préconisée par le constructeur et respecter les intervalles de vidange d'huile
- Assurer un refroidissement suffisant du moteur

5.2 FISSURES ET ARRACHEMENTS DE LA COUCHE DE GLISSEMENT

Ce type de dommage se produit uniquement sur les coussinets sur lesquels est appliquée une couche de glissement en revêtement polymère / vernis antifriction, galvanisé ou sputter.

DESCRIPTION

- Fines fissures reconnaissables dans la couche de glissement : surtout transversalement au sens de déplacement – évoquant les galeries creusées par un bostryche
- Souvent associées à un contact des bords et à des décolorations de la surface du coussinet



**Coquille de coussinet de bielle
côté tige en matériau composite
acier-laiton avec revêtement
sputter**

Le coussinet présente en direction du dégagement des traces de fatigue sous la forme d'arrachements et de premières fissures allant jusqu'à la couche de laiton.



**Coquille de coussinet de ligne en
matériau composite acier-bronze
avec revêtement galvanisé**

Le contact des bords unilatéral sur les deux coquilles de coussinet a entraîné une fatigue de la couche galvanisée et provoqué le dommage typique évocateur du bostryche.

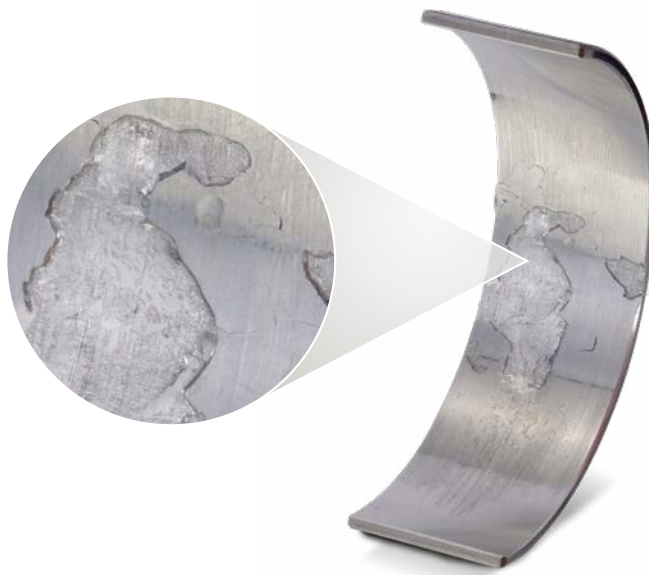


**Causes possibles et remède, voir
chapitre « 5.1 Introduction »**

5.3 FISSURES ET ARRACHEMENTS DU MÉTAL D'APPUI

DESCRIPTION

- Fissures et arrachements ayant l'allure de pavés jusque dans le matériau d'appui
- Bords de l'arrachement arrondis par l'usure en fonction de la durée de fonctionnement



**Coquille de coussinet de bielle
côté tige en matériau composite
acier-aluminium**

Des arrachements et des fissures sont reconnaissables sur des surfaces importantes.



**Causes possibles et remède, voir
chapitre « 5.1 Introduction »**

6. DOMMAGES PAR SURCHAUFFE

6.1 INTRODUCTION

Les dommages par surchauffe résultent de hausses de température importantes dans la coquille de coussinet, généralement associées à une forte friction mixte. C'est pourquoi les érosions ou les grippages sont toujours accompagnés de fissures de chaleur, de décolorations et de fusions.

La dissipation thermique par le lubrifiant joue ici un rôle prépondérant. S'il n'y a plus de dissipation thermique, la panne devient totale. Dès les premières manifestations de la surchauffe, il se produit localement des modifications de la structure et la résistance à l'endurance du matériau baisse. Des fissures de chaleur se forment aux endroits concernés.

CAUSES POSSIBLES

- Dommage secondaire dû à une hausse continue de la température suite à des érosions, des grippages ou des contacts des bords
- Dissipation thermique insuffisante par le lubrifiant (voir chapitre : « 2.3 Érosions »)

REMÈDE

En cas de dommage par surchauffe, il faut remplacer le coussinet et rechercher les causes. En cas de dommage secondaire, la cause du dommage primaire doit être éliminée.

Si aucun autre endommagement du coussinet n'est visible, contrôler le circuit de lubrifiant (voir chapitre : « 2.3 Érosions ») et la contrainte exercée sur le coussinet.

6.2 FISSURES DE CHALEUR

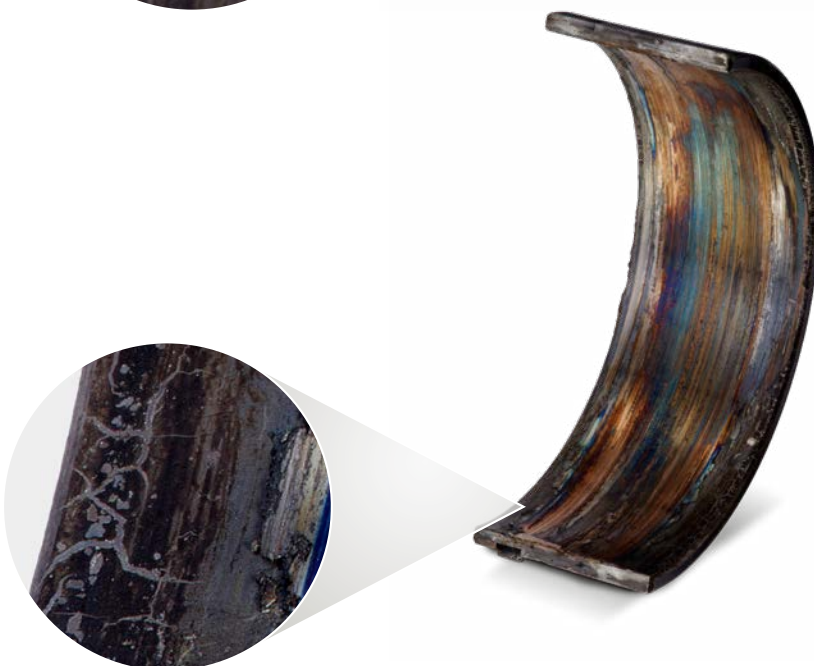
DESCRIPTION

- Réseaux de fissures visibles
- Fusions et décolorations de la coquille de coussinet



**Coquille de coussinet de bielle
côté chapeau et côté tige en
matériau composite acier-bronze
avec revêtement galvanisé**

Des décolorations nettes et des fusions sont visibles sur la couche de roulement des coquilles de coussinet grippées. La formation de fissures est visible surtout au niveau des bords.



**Causes possibles et remède,
voir chapitre « 6.1 Introduction »**

6.3 FUSIONS DE LA COUCHE DE ROULEMENT

DESCRIPTION

- Déplacements de matériau et bavures visibles sur la surface de glissement
- Associées à des fissures de chaleur et des décolorations de la coquille de coussinet



**Coquille de coussinet de bielle
côté chapeau en matériau
composite acierbronze avec
revêtement galvanisé**

Des fusions blanches sont visibles dans
le revêtement galvanisé.



**Causes possibles et remède,
voir chapitre « 6.1 Introduction »**

6.4 DÉCOLORATIONS DE LA COUCHE DE ROULEMENT OU DU DOS DU COUSSINET

DESCRIPTION

- Décolorations bleuâtres à noires dans la couche de roulement ou sur le dos du coussinet
- Associées à des fusions et des détachements / déplacements de matériau



**Coquille de coussinet de bielle
côté tige en matériau composite
acierbronze avec revêtement
galvanisé**

Le dos du coussinet est décoloré en noir
après un grippage du coussinet.



**Coquille de coussinet de bielle
côté chapeau en matériau
composite acierbronze avec
revêtement galvanisé**

La couleur de revenu est reconnaissable
dans la couche de roulement.



**Causes possibles et remède,
voir chapitre « 6.1 Introduction »**

7. CORROSION

7.1 CORROSION DE FRICTION / ROUILLE D'AJUSTAGE

DESCRIPTION

- Cicatrisations à la surface du dos du coussinet ou au niveau de la surface de séparation
- Surfaces rugueuses, mates

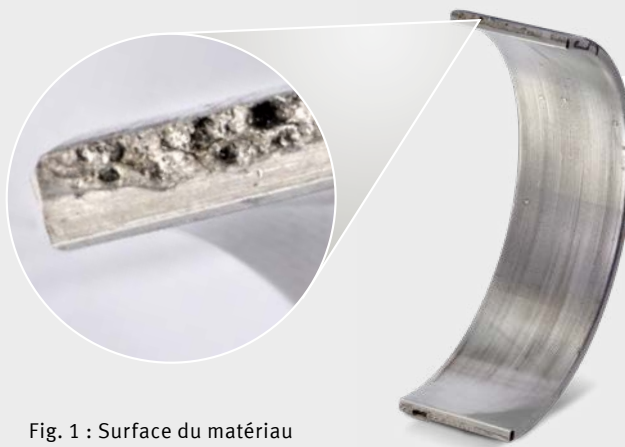


Fig. 1 : Surface du matériau nettement modifiée

Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

Des signes de déplacements de la coquille de coussinet peuvent également être visibles au niveau de la surface de séparation sous la forme d'une corrosion de friction. La surface du matériau est nettement modifiée (Fig. 1).



Coquilles de coussinet de ligne supérieures en matériau composite acier-aluminium

Des traces de corrosion de friction sont nettement reconnaissables, en partie avec des zones où le matériau est arraché (Fig. 2).

Les caractéristiques d'une corrosion de friction de surface sont nettement reconnaissables : avec des zones où le matériau est arraché et des cicatrisations en surface (Fig. 3).

Fig. 2 : Zones d'arrachement partiel du matériau

Fig. 3 : Zones d'arrachement du matériau et cicatrisations

ANALYSE

Si la coquille de coussinet ne repose pas correctement dans le siège de palier, une corrosion de friction se produit en raison des mouvements relatifs (micro-glissements). La chaleur de friction due au déplacement du coussinet ne peut pas être évacuée par le lubrifiant comme c'est le cas à l'intérieur du coussinet mais provoque des surchauffes locales du dos du coussinet. Ces surchauffes entraînent des fusions et les cicatrisations typiques en surface. Des transferts de matériau se produisent entre le dos du coussinet et l'alésage.

Le fluide environnant peut pénétrer dans les surfaces déjà rendues rugueuses et chimiquement activées et accélérer la corrosion.

La corrosion de friction réduit la résistance à l'endurance du matériau en favorisant la formation de microfissures. Des dommages par fatigue peuvent se produire avec comme conséquences des fissures ou des ruptures de fatigue.

CAUSES POSSIBLES

- Précontrainte insuffisante suite à un alésage de base trop grand ou à une coquille de coussinet trop petite
- Dépassement trop faible de la coquille de coussinet : le dépassement de la coquille de coussinet garantit l'ajustement serré grâce à un ajustage serré suffisant
- Déformation du carter : dans le cas des carters moteur en aluminium, une température extrême peut entraîner une déformation différente du carter et de la coquille de coussinet, suite à quoi l'ajustement serré du coussinet devient insuffisant
- Flexion du vilebrequin : la flexion du vilebrequin laisse une marque de portée spéciale sur la surface de glissement du coussinet (voir chapitre : « 2.5 Cas particuliers »)
- Serrage des vis trop faible
- Oscillations ou vibrations du carter ou du vilebrequin qui entraînent des mouvements microscopiques (les oscillations et les vibrations peuvent être favorisées par des inclusions ou des couches creuses)

REMÈDE

Si des signes de rouille d'ajustage sont reconnaissables, le coussinet doit être remplacé car la résistance à l'endurance peut déjà avoir diminué.

- L'alésage de logement et le diamètre extérieur de la coquille de coussinet doivent se situer dans les tolérances pour que le jeu du coussinet prescrit soit respecté
- Dépassement : pour produire l'ajustage serré nécessaire à l'ajustement serré, la coquille de coussinet doit présenter un dépassement suffisant
- Vérifier si l'alésage de logement et le carter sont déformés
- Lors du montage, équilibrer le vilebrequin et contrôler la contrainte exercée sur le vilebrequin
- Serrer les vis en respectant les couples de serrage et l'ordre de serrage prescrits par le constructeur
- Contrôler le moteur à la recherche de vibrations et d'oscillations en fonctionnement

7.2 CORROSION CHIMIQUE

DESCRIPTION

- Décolorations de la surface du matériau, souvent dans la plage de charge principale
- Surface de glissement rugueuse et poreuse



Coquille de coussinet de ligne inférieure en matériau composite acier-aluminium

Un dépôt de produits de corrosion, particulièrement marqué au milieu du coussinet, est visible dans la surface de glissement du coussinet. Le dépôt se manifeste par la formation de taches. Une rugosité de la surface de glissement est reconnaissable en observant la zone corrodée au microscope.

ANALYSE

Les corrosions chimiques sont dues à des réactions entre la coquille de coussinet et l'huile moteur. Cette réaction chimique est déclenchée par des additifs agressifs contenus dans l'huile ou par des contaminations de l'huile en cours de fonctionnement.

L'agression chimique amoindrit la résistance à l'endurance du matériau, ce qui accélère la survenue de dommages par fatigue même sous une faible contrainte.

CAUSES POSSIBLES

- L'usure, la cavitation et l'érosion peuvent favoriser la corrosion en agressant et activant chimiquement la surface du matériau
- Formation d'acides et de sels métalliques suite au vieillissement de l'huile
- Additifs agressifs non autorisés dans l'huile
- Produits de combustion agressifs (soufre, acide sulfhydrique)
- Contamination de l'huile avec de l'eau ou des antigels
- Les températures de service élevées accélèrent les processus chimiques comme le vieillissement de l'huile

REMÈDE

Les coussinets corrodés doivent être remplacés.

- Effectuer toujours la vidange d'huile conformément aux instructions du constructeur
- Utiliser uniquement des huiles de qualité ne contenant pas d'additifs agressifs
- Refroidir suffisamment le moteur

8. DOMMAGES SUR LES RONDELLES DE GUIDAGE

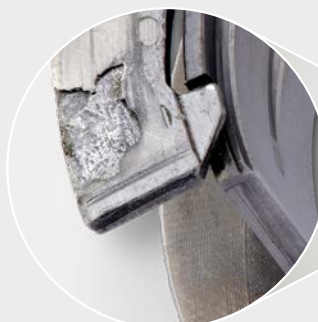
Les rondelles de guidage permettent d'absorber les forces axiales produites par exemple lors de l'actionnement de l'embrayage. Dans le jeu de coussinets de ligne, un palier est par conséquent

toujours soutenu en sens axial. Ceci est réalisé par la mise en place de rondelles de guidage ou par des paliers à collerette ou des coquilles de coussinet de butée prémontés, prêts à poser.

Formation de fissures de bord extérieur à bord extérieur



Arrachement de matériau sur une surface importante au bord extérieur de la rondelle de guidage



CAUSES POSSIBLES

- Jeu axial trop réduit, si bien que la rondelle de guidage est pressée contre le partenaire de glissement
- Contrainte axiale trop élevée
- Contrainte axiale persistante
- Joue de l'arbre trop rugueuse

REMÈDE

- Contrôler le jeu axial du vilebrequin et respecter les tolérances prescrites – le cas échéant, mettre en place une rondelle de guidage avec une sous-cote
- Contrôler la contrainte axiale exercée sur la rondelle de guidage

Usure par glissement

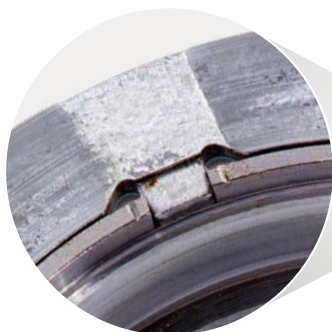
Traces de portée visibles sur la surface de glissement de la rondelle de guidage



État neuf avant le fonctionnement

Usure par glissement avancée

Déplacement de matériau et enlèvement, gorges de lubrification à peine encore présentes



Grippage

Zones de matériau arraché et forte formation de stries, gorges de lubrification plus visibles

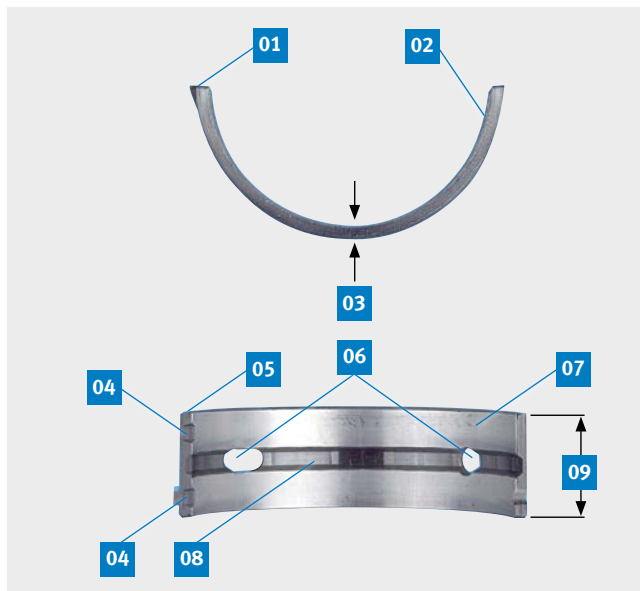


Panne totale

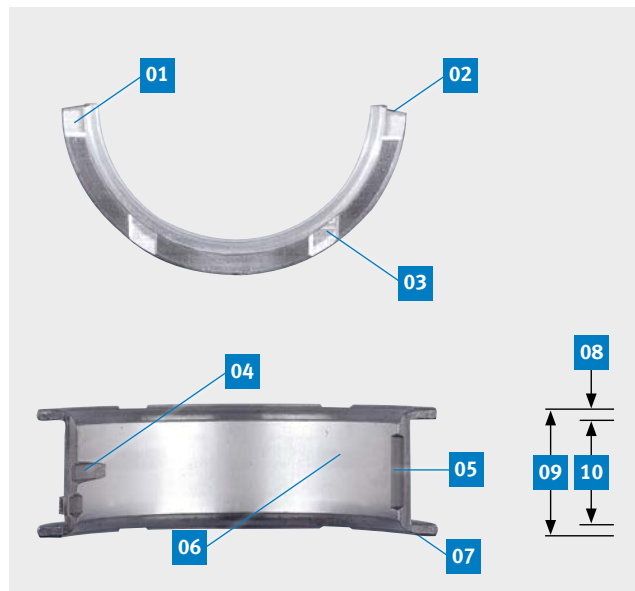


9. GLOSSAIRE

TERMES TECHNIQUES ET DÉNOMINATIONS RELATIVES AUX COUSSINETS



- 01** Surface de séparation
- 02** Dégagement de la surface de glissement
- 03** Épaisseur de paroi
- 04** Ergots de fixation gauche et droit
- 05** Face axiale
- 06** Orifice d'huile
- 07** Surface de glissement
- 08** Rainure d'huile interne
- 09** Largeur du coussinet



- 01** Dégagement sur la face axiale
- 02** Dégagement sur la surface de séparation de la collerette
- 03** Gorge de lubrification sur la face axiale
- 04** Gorge en croissant
- 05** Réserve d'huile
- 06** Surface de glissement
- 07** Face axiale
- 08** Épaisseur de la collerette
- 09** Largeur du coussinet
- 10** Largeur entre collerettes



- 01** Ergot de positionnement
- 02** Gorge de lubrification

EXPLICATION DES TERMES TECHNIQUES

Abrasif

Qui peut meuler / abraser

Abrasion

Enlèvement de la matière par l'énergie cinétique de solides, liquides ou gaz agissant sur la surface.

Ajustage serré et dépassement

Les bagues et les coquilles de coussinet sont fixées dans le carter essentiellement par des ajustages serrés. Dans le cas des coquilles de coussinet, l'ajustage serré est obtenu par le fait que les deux demi-cylindres sont fabriqués avec une longueur circonférentielle supérieure à 180°. La différence entre la cote réelle de la longueur circonférentielle de la coquille de coussinet et la longueur circonférentielle de 180° est appelée dépassement. Le dépassement de la coquille de coussinet détermine directement l'ajustage serré.

Barrière de diffusion

La barrière de diffusion est une fine couche, généralement de Nickel (Ni) ou de nickel chrome (NiCr) chargée d'empêcher la diffusion de l'étain entre la couche de glissement sputter ou galvanisée (couche supérieure du coussinet) et le bronze du coussinet. Une diffusion d'étain modifierait les propriétés mécaniques de la couche de glissement et du métal d'appui.

Bielles fracturées

Les bielles fracturées sont fabriquées dans un premier temps en une seule pièce, puis des encoches de rupture (bielles frittées) ou des encoches laser (bielles en acier) sont réalisées, après quoi les bielles sont séparées en deux pièces (fracturées). Les deux pièces sont vissées lors du montage de la bielle, la cassure spécifique permettant de les réunir avec précision.

Circularité

La circularité d'un élément rotatif dans une coupe (perpendiculaire à son axe réel) est égale à la largeur minimale de la bague entre deux cercles de centre commun. Le centre peut être déplacé librement dans cette coupe de sorte que cette largeur de la bague atteigne la valeur minimale. Tous les points de l'élément se situent entre ces deux cercles.

Côté tige / côté chapeau

Pour pouvoir monter la bielle sur le vilebrequin, le coussinet de bielle se compose d'une coquille de coussinet côté tige et côté chapeau. Après le montage, les vis de bielle serrent la paire de coquilles de coussinet pour former un coussinet parfaitement fermé. La coquille de coussinet côté tige subit une contrainte mécanique nettement supérieure à celle côté chapeau car c'est elle qui transmet au vilebrequin la force des gaz résultant de la combustion. Dans le cas notamment des moteurs diesel fortement suralimentés, des contraintes spécifiques de 100 MPa et plus agissent sur la coquille de coussinet. La coquille de coussinet de bielle côté chapeau a pour fonction de fermer le coussinet.

Dégagement

Partie d'une coquille de coussinet dans laquelle l'épaisseur de paroi se réduit en direction de la surface de séparation. Ceci compense les imprécisions du montage.

Écartement

L'écartement exprime la divergence entre le diamètre extérieur et la forme circulaire idéale au niveau de la surface de séparation. Il représente le retour élastique après la constitution de la forme et est mesuré avant le montage. La précontrainte qui en résulte de la coquille de coussinet facilite le montage grâce à un bon contact avec la paroi d'alésage et l'empêche de tomber ou de tourner.

Épaisseur de paroi

Le jeu du coussinet est réglé par le biais de l'épaisseur de paroi. Étant donné que le diamètre extérieur est donné par l'ajustage serré, le jeu du coussinet peut être adapté relativement au diamètre de l'arbre en faisant varier l'épaisseur de paroi. Il existe, pour les arbres réparés, des coussinets avec différents niveaux de surcote (épaisseurs de paroi supérieures).

Ergots de fixation

Les ergots de fixation sont placés sur les coquilles de coussinet au niveau de la surface de séparation. Ils préviennent par le positionnement axial les erreurs lors du montage.

Érosion

Stade précédant le grippage, occasionné par une friction mixte importante (suite à un manque d'huile de lubrification par exemple). La formation de stries et les traces de friction mixte de même que les déplacements de la couche de glissement sont typiques de l'érosion.

Force axiale

Force qui agit dans la direction d'un axe d'un corps en rotation.

Friction liquide

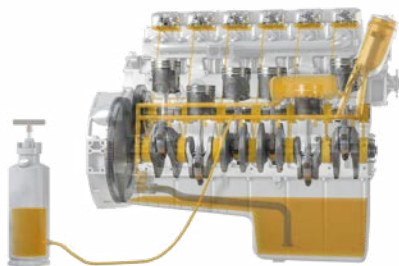
Également appelée friction fluide. Dans le cas des coussinets hydrodynamiques, un film de lubrification solide ne se forme pas aux bas nombres de tours, une friction mixte se produit entre le maneton et le coussinet. La friction liquide souhaitée n'apparaît qu'à la vitesse de décrochage. Un film de lubrification solide se forme alors et l'usure du maneton et du coussinet diminue.

Galvanisation

Procédé de revêtement électrochimique consistant à appliquer par électrochimie des couches galvanisées sur les coussinets finis pour permettre des charges spécifiques jusqu'à env. 100 MPa. Les couches galvanisées ont pour but de faciliter les processus d'adaptation lors du rodage et d'améliorer la compatibilité des particules des coquilles de coussinet ainsi que les capacités de fonctionnement en mode dégradé de celles-ci.

Remplissage avec de l'huile de pression

Afin de prévenir les dommages lors du rodage, par exemple une rotation à sec des coussinets, il est nécessaire de remplir le circuit d'huile avec de l'huile de pression et de le purger avant le premier démarrage du moteur.



Revêtement polymère

Ou vernis antifriction polymère. Celui-ci consiste en une résine polyamide résistant à la température et à l'encrassement, comportant une proportion importante d'agents de charge réduisant la friction et l'usure. Le résultat de cette nouvelle combinaison métal-polymère est une capacité de charge supérieure de 20% à celle des coussinets à deux composants conventionnels, une meilleure résistance à l'usure et une friction inférieure.

Sputter

Les puissances de moteurs élevées exigent, surtout pour les coussinets de bielle, des matériaux d'une résistance à la fatigue nettement plus élevée, d'un taux d'usure réduit en friction mixte et d'une bonne résistance à la corrosion à haute température. Le dépôt physique en phase vapeur (PVD) permet de répondre à ces exigences complexes. Avec ce procédé, des particules très fines sont arrachées, sous vide poussé, d'un matériau donneur afin d'être appliquées uniformément sur la pièce à revêtir à l'aide de champs électromagnétiques. Ces couches de magnétons se caractérisent par une répartition très fine des éléments de structure.

La base de départ est le coussinet à trois composants connu. La structure de base a été conservée. La couche de glissement galvanisée est remplacée par une couche de glissement « sputter ». Les coquilles de coussinet « sputter » sont utilisées principalement sur le côté pression des coussinets de bielle. Les coquilles conjuguées sont des coussinets conventionnels à deux ou trois composants. La bonne position de montage de la coquille de coussinet « sputter » doit être respectée pour garantir la sécurité de fonctionnement.

Start / stop automatique

La fonction start / stop sert principalement à respecter la réduction requise des émissions de CO₂ des moteurs à combustion. En mode start/stop, le moteur s'arrête lorsque le véhicule s'immobilise et redémarre automatiquement pour permettre au véhicule de repartir. Ceci exige des coussinets du moteur une résistance accrue à la friction mixte. À chaque processus de démarrage ou d'arrêt, les coussinets quittent la plage de fonctionnement hydrodynamique et traversent la plage de friction mixte jusqu'au point zéro de la vitesse de glissement. Des couches de glissement spécialement optimisées sont indispensables pour garantir une résistance à l'usure suffisante dans ces conditions tribotechniques extrêmement critiques pour le coussinet.

Surface de séparation

Les surfaces de séparation d'une coquille de coussinet sont les extrémités libres de la section du cylindre creux. Ces surfaces sont obtenues par la séparation de la platine de la bande ou par une retouche correspondante. Lors du montage, la coquille supérieure et la coquille inférieure sont serrées dans le boîtier par l'intermédiaire des surfaces de séparation afin de produire l'ajustage serré grâce au dépassement.

Systèmes de gorges / gorge de lubrification

Les systèmes de gorge sont nécessaires pour répartir le lubrifiant dans le coussinet et permettre l'établissement d'un état de fonctionnement hydrodynamique. Ils sont disposés préférentiellement dans la partie non chargée du coussinet. Les systèmes de gorges assurent également la distribution du lubrifiant aux autres consommateurs.

Trace de portée / marque de portée

Aspect de la surface de glissement du coussinet causé par le contact avec le maneton en cours de fonctionnement.

Vitesse de décrochage

Décrit le point de décrochage, la plage dans laquelle se produit la transition entre la friction mixte et la friction liquide suite à la vitesse de glissement supérieure. Dans les coussinets hydrodynamiques tels que ceux utilisés dans les moteurs à combustion, le fin film de lubrification ne se forme qu'aux vitesses de glissement élevées. Aux faibles vitesses de glissement, ces coussinets doivent supporter la friction mixte avec une proportion importante de friction de corps solides. C'est pourquoi on tente toujours de limiter autant que possible la durée de fonctionnement avec une friction mixte.

TRANSFERT DE SAVOIR-FAIRE LA COMPÉTENCE D'UN EXPERT

FORMATIONS DANS LE MONDE ENTIER

En direct du fabricant

Tous les ans, environ 4 500 mécaniciens et techniciens profitent de nos formations et des séminaires que nous organisons sur place, dans le monde entier, ou dans nos centres de formation de Neuenstadt, Dormagen et Tamm (Allemagne).

INFORMATIONS TECHNIQUES

Des informations issues de la pratique pour la pratique

Avec nos Product Information, Service Information, brochures techniques et posters, vous êtes à chaque instant à la pointe de la technique.

VIDÉOS TECHNIQUES

Transmission des connaissances par vidéo

Dans nos vidéos, vous trouverez des instructions de montage pratiques et des explications système concernant nos produits.



PLEINS FEUX SUR LES PRODUITS EN LIGNE

Nos solutions clairement expliquées

Au travers d'éléments interactifs, d'animations et de clips vidéo, apprenez tout ce qu'il faut savoir sur nos produits pour le moteur.

BOUTIQUE EN LIGNE

Votre accès direct à nos produits

Commande 24 h sur 24. Contrôle rapide de la disponibilité. Recherche produits exhaustive par moteur, véhicule, dimensions, etc.

NEWS

Informations régulières par e-mail

Inscrivez-vous vite en ligne à notre newsletter gratuite pour recevoir régulièrement des informations sur les nouveaux produits, les publications techniques et de nombreux autres sujets.

INFORMATIONS PERSONNALISÉES

Spécialement pour nos clients

Par notre intermédiaire, vous profitez d'informations et de services complets sur notre large gamme de prestations tels que du matériel de promotion des ventes personnalisé, des aides à la vente, un support technique et bien d'autres choses encore.



TECHNIPEDIA

Informations techniques concernant le moteur

Avec Technipedia, nous vous offrons un accès à notre savoir-faire. Vous y trouverez les connaissances techniques de nos experts directement.

L'APPLI MOTORSERVICE

Un accès mobile à notre savoir-faire technique

Vous y trouverez rapidement et facilement les informations et les services les plus à jour relatifs à nos produits.

MÉDIAS SOCIAUX

Toujours à jour





HEADQUARTERS :

MS Motorservice International GmbH

Wilhelm-Maybach-Straße 14-18
74196 Neuenstadt, Germany
www.ms-motorservice.com

MS Motorservice France S.A.S.

Bâtiment l'Etoile – Paris Nord II
40 avenue des Nations
93420 Villepinte, France
Téléphone : +33 149 8972-00
Télécopie : +33 149 8972-01
www.ms-motorservice.fr

www.rheinmetall.com

© MS Motorservice International GmbH – 50003 859-03 – FR – 05/17 (112022)

