

Chapitre 3 Usure des surfaces

I. Mécanismes de dégradation de surface

Les mécanismes de dégradation des matériaux provoquant le détachement des particules des premiers corps (débit source interne) et conduisant à l'usure sont classés selon plusieurs familles dont les principales sont décrites ci-dessous. Ces phénomènes d'usure peuvent, en théorie, se produire simultanément, certains étant prépondérants par rapport à d'autres en fonction du tribosystème étudié.

I.1 Usure par adhésion

Elle est associée à la formation de joints d'adhérence aux points de contact situés sur les aspérités des surfaces de deux corps frottant. La résistance de la jonction adhésive est fonction de la nature physico-chimique des matériaux en contact. Sous l'effet du cisaillement, un transfert de matière entre les deux corps se met en place .

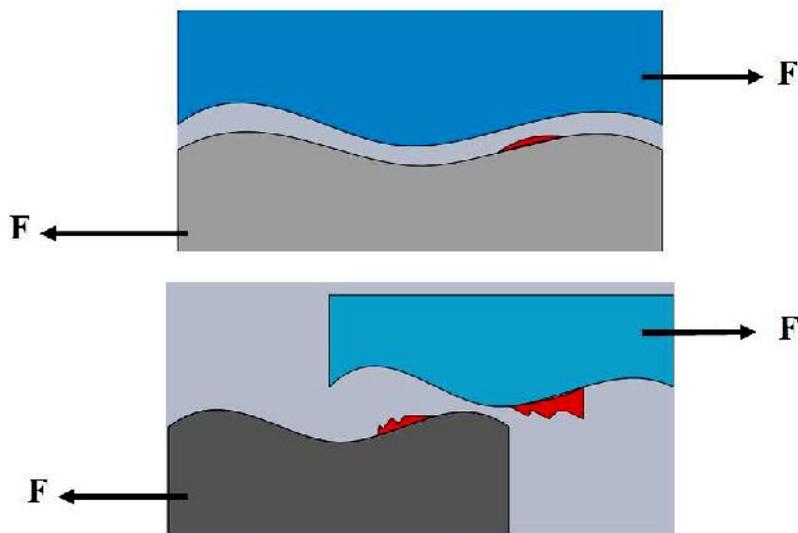


Figure 1: *Phénomènes élémentaires de l'usure adhésive*

Dans le cas de liaisons d'adhésion peu résistantes, le transfert de matière est limité et l'usure reste douce. L'usure adhésive est donc à la fois d'origine mécanique et physicochimique.

I.2 Usure par fissuration

Les contraintes mécaniques générées par le frottement peuvent entraîner la création et la propagation de fissures. Dans le cas des matériaux ductiles (tels que les matériaux métalliques), il est question d'usure par fatigue superficielle ou par délamination. La rupture par fissuration a lieu en sous-couche, parallèle à la surface de frottement, dans les zones où les contraintes de cisaillement sont maximales. A terme, des écailles dues à la propagation des fissures apparaissent dans les zones de frottement (Figure 2).

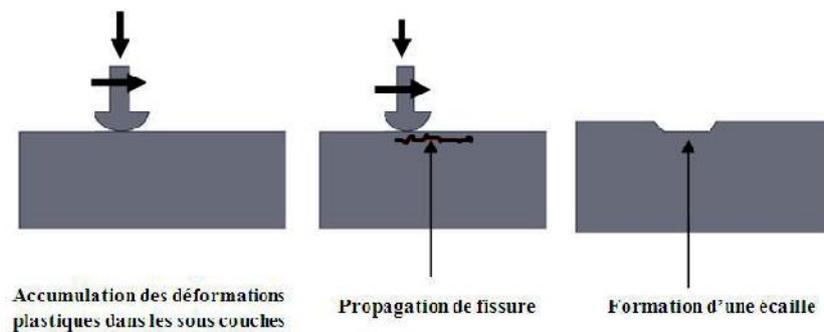


Figure 2: *Usure par fissuration*].

Pour les matériaux à comportement fragile (typiquement les céramiques), les fissures se créent dans les zones où les contraintes en tension sont les plus importantes. Elles sont associées à un dépassement local du seuil de rupture du matériau. Elles se situent à l'arrière du contact et se propagent perpendiculairement à la surface (Figure 3). Il s'agit d'une usure par fracturation.

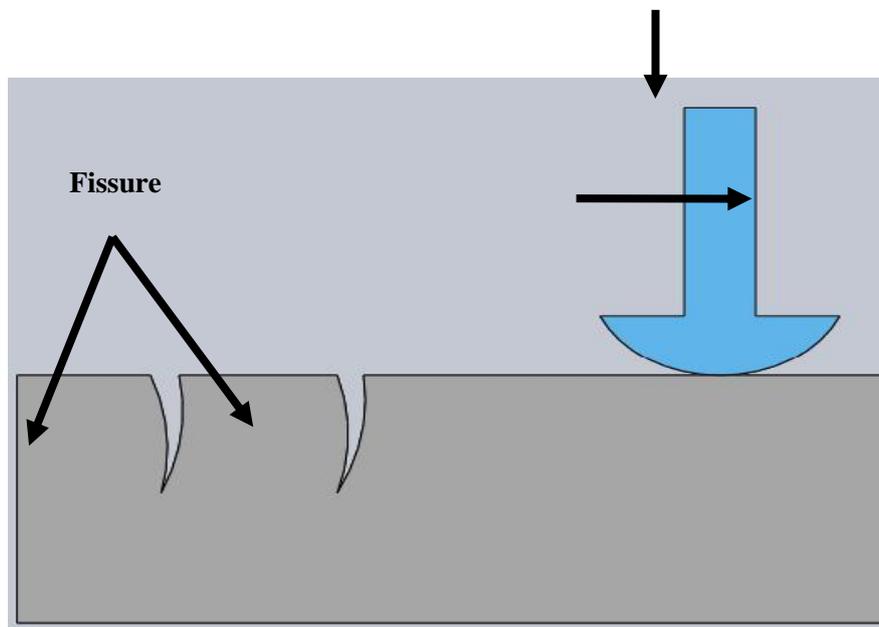


Figure 3: *Usure par fissuration (cas des matériaux fragiles).*

I.3 Usure tribochimique

Cette forme d'usure apparaît lorsque le frottement a lieu dans un environnement réactif pour les matériaux en présence (atmosphère, lubrifiant,...). Dans ce cas, l'usure est régie par la réactivité chimique des premiers ou troisième corps avec l'environnement. Cette réactivité peut être également créée ou activée par l'énergie dissipée en frottement dans l'interface. Il y a tout d'abord création de débris d'usure provenant des premiers corps, initiée par un des mécanismes décrits précédemment (adhésion, abrasion, fatigue). Ensuite, l'oxydation de ces débris peut conduire à la formation d'un film d'oxydes, de faible épaisseur, adhérent au substrat, qui joue un rôle protecteur contre l'usure adhésive.

I.4 Usure abrasive

L'usure abrasive est le résultat d'un déplacement de matière produit par des particules dures ou des protubérances dures. C'est un phénomène très courant qui sévit notamment dans la machinerie des industries. Kato a montré en utilisant une configuration pion - disque que les mécanismes d'usure abrasif dépendent à la fois de la profondeur, de la largeur de la trace et du frottement interfacial. Il a introduit d'une part le degré de pénétration comme étant le rapport entre la profondeur de pénétration h et la demi-largeur de la trace a , et d'autre part le rapport entre la contrainte de cisaillement à l'interface du contact et la contrainte de cisaillement au cœur de l'échantillon (Figure 4).

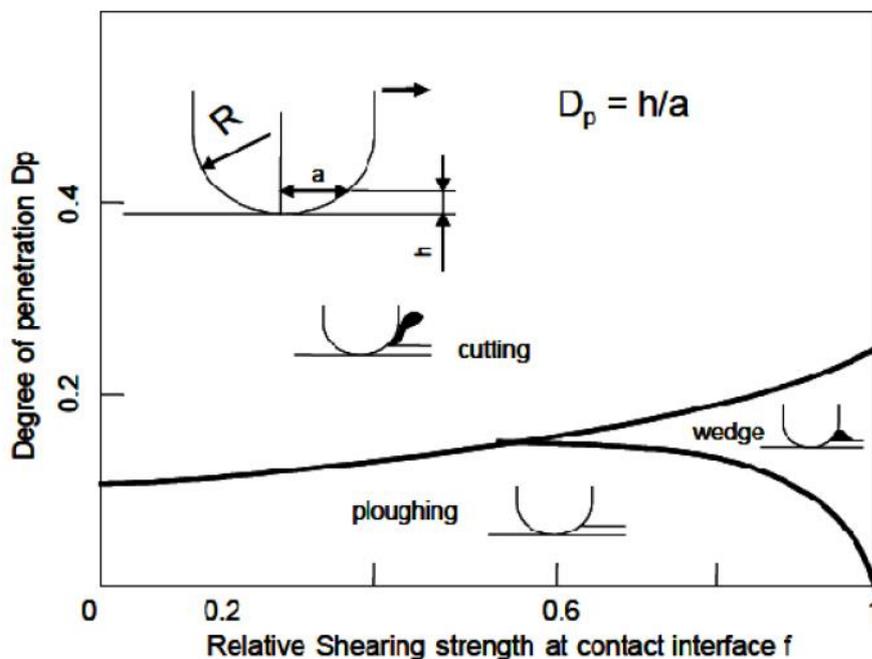


Figure 4: Diagramme des modes d'usure.

Cette figure montre trois types de mécanismes d'usure:

- Coupe (cutting) : caractérisée par un enlèvement de matière. Elle se produit pour des valeurs de degré de pénétration assez élevées. Pour des valeurs supérieures à 0.3, le mécanisme de coupe se manifeste quelle que soit la contrainte de cisaillement relative à l'interface.
- Formation des bourrelets (wedge) : ce mécanisme ne peut se produire que pour une contrainte de cisaillement relative à l'interface supérieure à 0.5 et une degré de pénétration inférieur à 0.3.
- Labourage (ploughing) : ce mécanisme se manifeste pour des faibles degrés de pénétration (inférieur à 0.2) par contre il peut se produire à n'importe quelle valeur de la contrainte de cisaillement relative à l'interface.

Cette carte permet d'identifier les mécanismes d'usure à partir des paramètres de rayage (a , h) et rhéologique (contrainte de cisaillement interfacial relative) pour une configuration pion - disque.

I.4.1. Usure abrasive par déformation plastique

Les particules dures vont déformer plastiquement la surface et conduire à la formation de rainures. L'abrasion introduit des contraintes de cisaillement très élevées sur la surface qui diminuent d'intensité lorsqu'on se dirige vers le cœur du matériau. La déformation et la contrainte observées seront proportionnelles à la profondeur d'indentation des particules abrasives. Mais, la dureté seule ne permet pas d'évaluer la résistance à l'usure d'un matériau car elle ne caractérise pas suffisamment les interactions entre les particules dures et le matériau usé.

I.4.2. Usure abrasive sans déformation plastique

Les contraintes élevées provoquées par les particules d'usure peuvent conduire à une microfissuration des matériaux fragiles. De gros débris d'usure se détachent de la surface, résultat de l'initiation et de la propagation de fissures. Dans ce cas, la vitesse d'usure n'est pas proportionnelle à la charge normale. K.H. Zum gahr a également présenté plusieurs modèles (Figure 5) qui confirment que la perte par usure augmente plus vite que linéairement avec la charge normale appliquée ou la pression de surface.

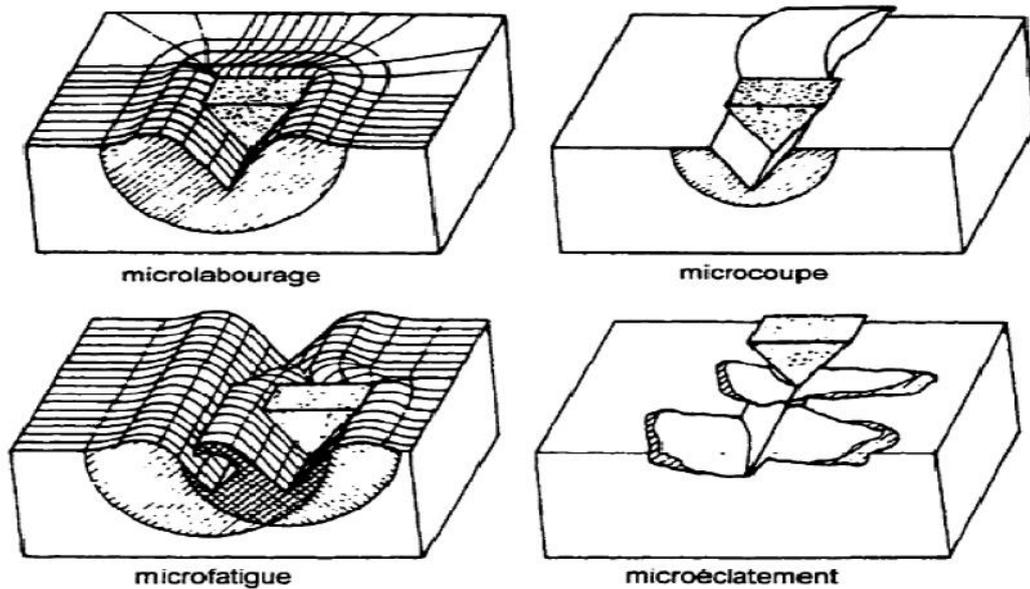


Figure 5 : *Figure schématisant les différents modes d'usure abrasive.*

I.5. Paramètres influençant l'usure abrasive

I.5.1. Caractéristiques des particules abrasives

L'usure abrasive dépend particulièrement de la topographie des surfaces en contact dans le cas d'une abrasion à deux corps ou bien des particules abrasives situées entre les deux surfaces dans le cas d'une abrasion à trois corps. Parmi les caractéristiques principales on cite :

- Dimensions et morphologie des particules abrasives. Les particules possédant des angles aigus provoquent davantage un effet de coupe alors que les particules ayant des angles arrondies ont tendance à provoquer des déformations plastiques ;
 - Quantité et nature de l'abrasif impliqué dans le contact ;
 - Charge appliquant les particules abrasives sur la surface ;
 - Nature, structure du matériau subissant l'abrasion.

I.5.2. Rôle de la porosité

La bibliographie souligne le rôle complexe de la porosité sur la résistance à l'usure. Cependant, ce rôle n'a pas été clairement identifié, du fait de sa forte dépendance avec les conditions d'essais tribométriques. Quelques travaux, qui ne portent pas exclusivement sur les dépôts projetés et sur les matériaux composites, traitent de l'influence de la porosité sur la résistance à l'usure.

En régime lubrifié, l'utilisation de matériaux poreux est courante. En effet, dans ce cas, la rétention de lubrifiant au sein des pores fournit continuellement une lubrification au cours du frottement .

En régime non lubrifié (glissement sec), différentes études sont consacrées à l'influence de la porosité sur la résistance à l'usure mais peu d'entre elles relie son rôle aux mécanismes d'usure. A.A. Hamid et al. rapportent que la présence de pores au sein de matériaux composites diminue l'aire de contact réelle entre les deux matériaux en contact, augmentant ainsi la pression de contact. En conséquence, des fissures apparaissent entre les pores, entraînant la formation de débris d'usure. La résistance à l'usure et le coefficient de frottement s'en trouvent ainsi diminués.

Les dépôts poreux obtenus par projection thermique pour des applications tribologiques s'emploient généralement en régime lubrifié. En effet, le rôle néfaste de la porosité des dépôts projetés a été mis en évidence : la présence de larges pores peut entraîner l'affaissement du dépôt au niveau de ces pores au cours du frottement et la fissuration des splats situés à côté des pores. Néanmoins, une influence positive de la porosité sur la résistance à l'usure de dépôts projetés a également été démontrée. Dans le cas de dépôts à base de carbure de tungstène en contact avec du graphite, les pores servent de réservoirs à débris et sont ainsi remplis de particules abrasives et de débris contenant du graphite. Cela a pour effet de limiter le phénomène d'abrasion par des particules dures et d'augmenter l'effet lubrifiant par la rétention des particules à base de graphite, connu pour ses propriétés lubrifiantes. Cette capacité des pores à piéger les débris d'usure a aussi été observée dans le cas d'alliages ferreux obtenus par frittage. Le remplissage des pores permet d'augmenter la résistance à l'usure de ce matériau poreux en augmentant l'aire de contact réelle et en diminuant la pression de contact. Par conséquent, la déformation plastique et la création de débris deviennent plus difficiles. De plus, le phénomène d'abrasion par des particules dures est réduit par le piégeage des particules abrasives dans les pores empêchant leur agglomération dans le contact. Au contraire, d'autres auteurs ont montré que la présence de pores au sein d'aciers frittés pouvait être à l'origine de fissuration et de création de débris d'usure et ont reporté le rôle néfaste de la porosité sur leurs propriétés tribologiques.

I.5.3. Rôle de la rugosité de surface

La rugosité est un paramètre essentiel lors de contact en frottement. Elle influe sur des facteurs qui régissent le comportement au frottement et à l'usure et, plus précisément, le mode

de contact et le comportement du milieu interfacial (troisième corps). En effet, la rugosité détermine l'aire réelle de contact (le contact s'effectue par les aspérités de surface) et donc la répartition des pressions superficielles. Par exemple, une augmentation de la rugosité de surface permet de diminuer l'aire de contact réelle et par conséquent de limiter les phénomènes d'adhésion. De plus, suivant la forme et l'orientation des rugosités, une rétention ou au contraire une circulation plus aisée du troisième corps (débris d'usure et lubrifiant) pourra avoir lieu. De façon générale, les exigences de rugosité dépendent de la nature des matériaux en présence et du niveau de sollicitation.

I.5.4. Rôle de la dureté de surface

La notion de la dureté en rayage est née, grâce à Réaumur en 1822, avec la définition suivante : la dureté d'un corps est la propriété qu'il possède d'en rayer un autre et ne pas être rayé par lui. La dureté est considérée comme étant la propriété mécanique majeure qui gouverne la résistance à l'usure. Archard a montré que le matériau le plus dur résiste mieux à l'usure abrasive. La corrélation entre dureté et usure abrasive n'est pas simple. La vitesse d'usure est principalement dépendante de la dureté de l'abrasif ainsi que celle du matériau antagoniste. Considérons H_a et H_s , les duretés respectivement des particules abrasives et des surfaces. J.M. Hutchings a montré qu'il y avait une véritable ligne de démarcation entre deux types d'usure soit l'abrasion douce qui se produit lorsque $H_a/H_s < 1,2$ et qui est sensible aux variations de ce rapport, en contraste avec l'usure sévère où $H_a/H_s > 1,2$. Les particules angulaires causent une usure plus importante que celles qui sont sphériques. Au-dessus d'une taille critique, la vitesse d'usure est pratiquement indépendante d'une augmentation de la taille des particules, l'évaluation de la taille des particules reste difficile car ce sont rarement des sphères.

Testez vos connaissances

Exercice 1:

Chaque matériau possède ces propres caractéristiques et cela se matérialise par des critères fonctionnels veuillez remplir le tableau ci-dessous avec les critères correspondant :

| Critères chimiques | Critères physiques | Critères mécaniques | Critères métallurgiques |
|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|
| - | - | | |

- Donnez les principaux paramètres de rugosité et mentionnez-la sur la Figure

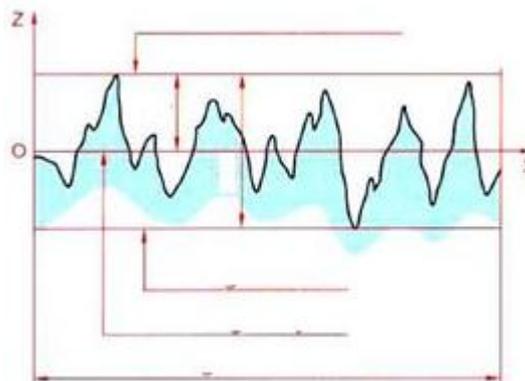


Figure 1

- Quelle sont les 2 types de frottement et quelle est la différence entre eux ?
- Donnez les différents types d'usures étudiées et leur caractéristique ?
- Quelles sont les différents paramètres influençant l'usure abrasive ?