

Dans ce chapitre, nous décrivons les techniques de caractérisation utilisées et la procédure expérimentale suivies durant notre travail.

### I – Matériaux utilisés

Le matériau est un alliage d'aluminium de nuance AU4G revêtue par un dépôt d'acier inoxydable ou de composite céramique obtenu par projection plasma. Ces échantillons ont été élaborés par le laboratoire SPTS (Science des Procédés Céramiques et de Traitements de Surfaces) de l'université de Limoges France. Les conditions de projection sont :

- courant de projection : 500A
- distance de tir : 100 mm
- matériaux de déposition : acier 316L, composite céramique
- épaisseur de la couche ~ 300µm

Le substrat est un alliage d'aluminium Al-4CuMgSi dont la composition chimique nominale % (selon la norme EN 573-1) est donnée par le tableau I. Les caractéristiques mécaniques typiques sont (selon la norme EN 485-2) :

- résistance à la rupture : 225-240MPa
- limite élastique : 125MPa
- allongement à la rupture : 12%

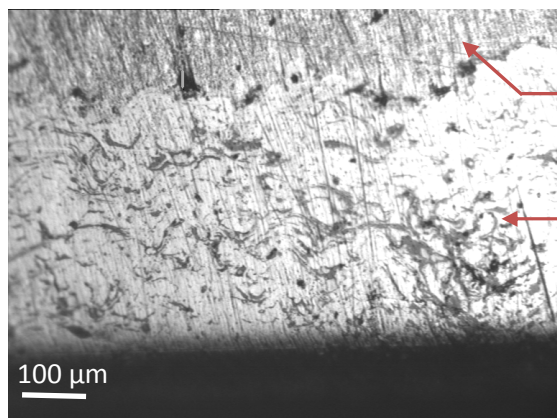
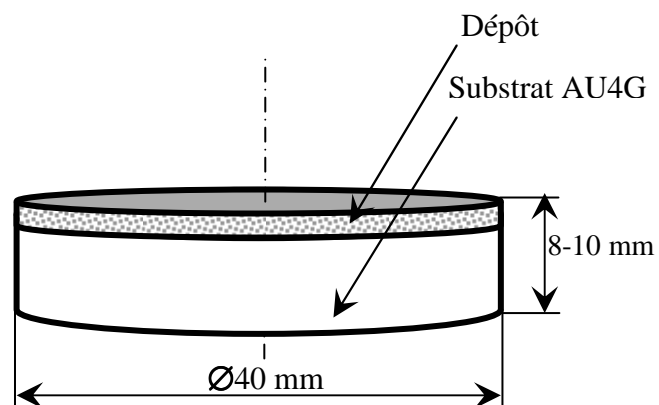
Elément	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Cr	Zn
Comp. %	3,5-4,5	0,4-1	0,2-0,8	0,7	0,4-1	0,1	0,25

Tab. I : Composition chimique de l'alliage AU4G [51]

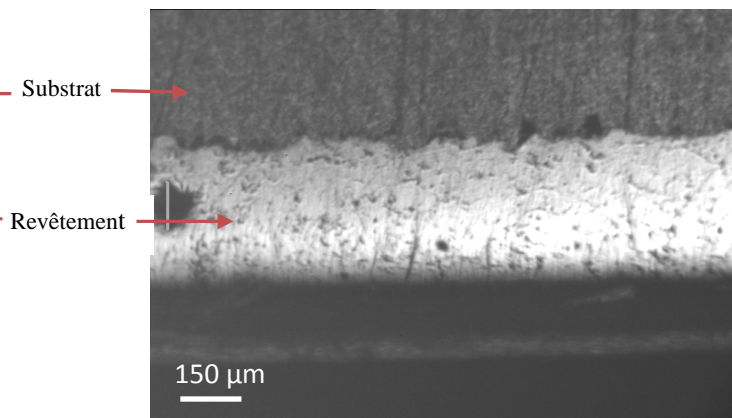
Les deux groupes d'échantillons, dépôt en acier et dépôt en composite céramique, sont livrés sous formes cylindriques de 40mm de diamètre et d'épaisseur variant entre 8 et 10mm. La surface revêtue est rectifiée pour servir de support d'essais tribologiques (Fig. 1). La composition des matériaux de revêtement ne sont données que globalement. L'acier 316L (norme AISI) est un acier austénitique de composition technique : **0,03%C, 17%Cr, 12%Ni et 2,5%Mo**. Le deuxième dépôt est un composite céramique non identifié ni de point de vue quantitatif ni qualitatif. L'intérêt réside dans la comparaison entre la résistance à l'usure des deux dépôts.

La figure 2 donne les micrographies optiques des deux dépôts réalisés.

Fig. 1 : Forme des échantillons livrés



Echantillon d'acier



Echantillon du composite céramique

Fig. 2 : Micrographies optiques des coupes des échantillons

## **II – Technique d'étude de l'usure**

### **1 – Description du dispositif**

Le dispositif d'usure a la forme d'un tribomètre pion sur disque (Fig. 3). L'échantillon représente le disque porté par un plateau. Il est monté sur le plateau par filetage. Ce plateau est animé d'une vitesse de rotation variable entre 60 et 300tr/min. Le pion est une bille d'alumine très dure de 6mm de diamètre fixe durant l'essai est porté par logement sur un levier. Le levier est muni d'une charge déterminée à son extrémité qui assurera la force de contact entre la bille (pion) et le disque (échantillon). La bille est positionnée à un rayon choisi au préalable. Cette configuration permet la variation de la force de contact et la vitesse de glissement entre la bille et la surface. La vitesse de glissement peut être variée par le changement de la vitesse de rotation du plateau ou la variation du rayon de la bille sur le disque (échantillon).

### **2 – Procédure expérimentale**

L'essai d'usure est assuré par le glissement relatif du disque (échantillon) avec la bille (pion) appuyant sur le disque avec une force choisie au préalable. Cette force est sélectionnée moyennant des essais préliminaires visant à fixer les conditions optimales pour un contact stable. Ainsi, la surface usée prendra la forme d'une couronne circulaire, nommée piste, de rayon moyen  $R$ , choisi d'avance, et d'une largeur dépendant de l'enfoncement de la bille dans le dépôt. Les conditions d'essais peuvent être citées comme suit :

- contact ponctuel : bille/dépôt plasma
- force de contact : 30N,
- rayon de la piste : 5, 8, 14 mm,
- vitesse de rotation du plateau : 60tr/min
- durée de l'essai : 30 minutes
- environnement : sec

Ainsi, les essais se dérouleront avec des vitesses relatives de glissement : 32, 50, 88mm/s.

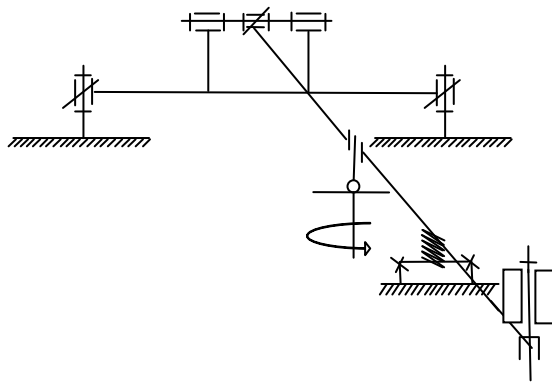


Fig. 3 : Principe de fonctionnement du dispositif d'usure



Fig. 4 : Balance de mesure Sartorius

La tenue à l'usure a été suivie par la pesée des échantillons avant et après chaque essai. L'usure est donnée par le rapport entre la masse perdue  $\Delta m$  au cours de l'essai et la masse avant essai  $m_i$ . On calcule la vitesse d'usure en rapportant la perte de masse au volume perdu par l'échantillon selon la loi d'Archard [62]. Cette loi caractérise l'usure par le coefficient  $K$  nommé vitesse d'usure et donné par :

$$K = V/F_n L$$

tels que :

$F_n$  : force normale de contact,

$L$  : distance parcourue au cours de l'essai,

$V$  : volume perdu.

Compte tenu de la difficulté de la mesure précise du volume de débris détachés (profondeur et largeur de la piste d'usure irrégulières), le volume perdu  $V$  est calculé par le rapport entre la masse perdue  $\Delta m$  et la masse volumique  $\rho$  du matériau détaché (dépôt).

$$V = \Delta m / \rho$$

Par défaut, travail systématique oblige, on a pris les masses volumiques comme suit :

- acier :  $7.8 \text{ g/mm}^3$ ,

- composite céramique :  $3.9 \text{ g/mm}^3$ .

La pesée des échantillons a été effectuée moyennant une balance à affichage digital de type Sartorius dont l'erreur est de  $5/100^\circ \text{ mg}$  (Fig. 4).

### **III – Techniques expérimentales**

#### **1 – Duromètre**

Les essais de dureté ont été effectués sur un duromètre de type ZHU 2.5 permettant de réaliser différentes formes de dureté (Fig. 5). Il est piloté par microordinateur et peut donner le comportement du matériau en portant la variation de la profondeur de pénétration en fonction de la force d'application ou la dureté Martens suivant la loi de pénétration. La plage des charges de ce duromètre est très large. Elle va de 1 $\mu$ N à 500N. Ces performances permettent de prendre la dureté de la couche de revêtement, la dureté du substrat et le profil de dureté substrat couche.

On a réalisé des essais de dureté Vickers avec une charge de 10N et un temps de maintien de 15 secondes.

#### **2 – Dispositif d'indentation**

C'est un dispositif conçu et réalisé par le laboratoire. C'est une colonne d'indentation cyclique basée sur la rotation d'une came qui pousse par son excentrique un pointeau muni à son extrémité active d'un indenteur choisi (Fig. 6). Dans notre cas, on a travaillé avec un indenteur sphérique : bille en acier 100C6 de dureté 58HRC et de diamètre 8mm. Ce dispositif permet de varier la force et la fréquence de percussion.

Les essais ont été réalisés avec des forces de 1 et 5 N sous des fréquences allant de 1 à 10Hz.

L'intérêt d'effectuer ces essais réside dans la recherche d'éventuels endommagements de type fissuration ou décohésion de la couche suite à un chargement cyclique concentré.

#### **3 – Projecteur de profil**

Cet appareil est du type MP320 C'est un instrument optique qui projette l'ombre d'un objet sur une table graduée avec un grossissement 10 ou 100x (Fig. 7). Cet appareil a permis de mesurer facilement et fidèlement la largeur des pistes d'usure. La mesure est assurée par le déplacement d'une règle imprimée suivant deux axes perpendiculaires et un enregistreur micrométrique à affichage digital.



Fig. 5 : Duromètre ZHU 2.5



Fig. 6 : Dispositif d'indentation cyclique



Fig. 7 : Projecteur de Profil

## 4 – Observations métallographiques

### 4 – 1 – Description des appareils

Pour les observations métallographiques, on a utilisé deux microscopes. Le premier est un binoculaire ordinaire pour des observations grossières et sert à la limitation des endommagements majeurs (Fig.8). Le deuxième microscope est un microscope métallographique de type Néophot 21 qui permet des grossissements allant à 1500x (Fig. 9). Ce microscope est doté d'une vision monoculaire ou binoculaire interchangeable, d'une plaque monochromatique, d'une sortie de prise photographique. Ces modes d'observation est assuré par un système optique permettant d'orienter le faisceau optique à volonté. Le microscope est muni aussi d'autres options pour des observations particulières : lumière rasante, lumière polarisée, choix de trois ondes lumineuses, multiplicateur de grossissement et d'un objectif de microdureté.



Fig. 8 : Binoculaire

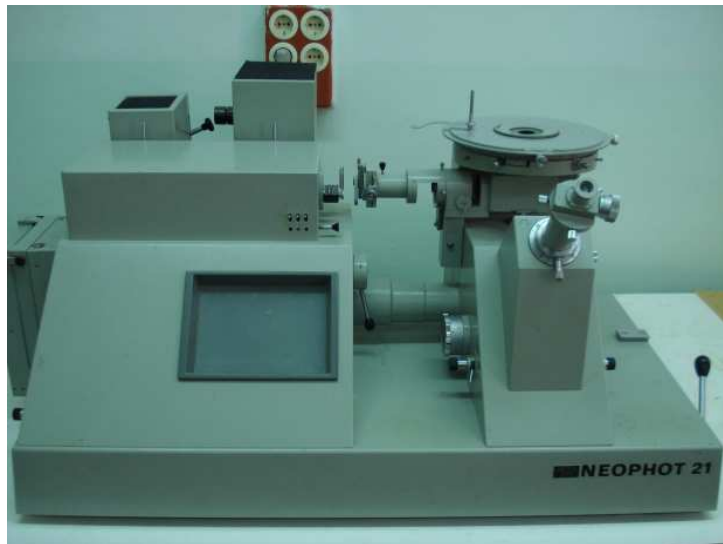


Fig. 9 : Néophot 21

#### 4 – 2 – Préparation des échantillons

Pour les observations métallographiques, les échantillons ont été minutieusement polis au papier verre différents grades jusqu'à 4000 sur une polisseuse rotative. Les échantillons sont ensuite attaqués chimiquement. La solution d'attaque est constituée de 50% alcool éthylique, 45% acide nitrique et 5% acide chlorhydrique. Le temps d'attaque est de l'ordre de 20 secondes. La même préparation est effectuée pour les deux types d'échantillon.