
Résumé

L'utilisation de couches minces pour la fonctionnalisation tribologique des surfaces est largement répandue dans l'industrie. Elle vise à maîtriser l'usure ou le frottement, selon qu'il s'agisse de couches dures ou de lubrifiants solides. Dans le contexte de contacts secs sous vide, où les phénomènes adhésifs sont prédominants, des transferts de matière entre les surfaces interviennent. Ils conduisent à la formation d'une interface qui conditionne le comportement tribologique du contact.

Après une analyse approfondie des dégradations d'une couche mince de TiN en contact avec un acier dans un mécanisme réel, une modélisation expérimentale adaptée a permis de reproduire ces dégradations sur des surfaces modèles dans un tribomètre en environnement contrôlé. La géométrie sphère/plan du contact, avec le revêtement déposé sur la bille, induit une sollicitation continue de ce dernier, accélérant ainsi l'apparition des dégradations. Cette modélisation utilise un tribomètre unique au monde, permettant de réaliser des expériences tribologiques dans toutes les directions du plan et la mesure des forces résistantes aux déplacements dans toutes les directions de l'espace, grâce à son capteur de forces 6 axes. Cette étude expérimentale a mis en évidence les processus de formation et de rupture des jonctions adhésives dans des contacts impliquant des couches minces commerciales de natures variées, qu'elles soient dures (TiN) ou présentant de capacités de lubrification solide (MoS₂ et carbone amorphe hydrogéné a-C:H).

Le comportement tribologique des couches lubrifiantes est comparé à celui de la couche dure de TiN. Une analyse des phénomènes de transfert dans ces contacts met en évidence la distinction entre la durabilité de la couche (arrachement pour les couches dures et usure pour les couches tendres) et la durabilité du contact (caractérisée par l'apparition d'un grippage macroscopique). La durabilité du contact est intrinsèquement liée à l'évolution du matériau interfacial formé lors des transferts de matière entre surfaces, résultant des phénomènes adhésifs. Cette étude met en lumière la diversité et la complexité des modifications de surface induites par le frottement.

Une approche novatrice, basée sur le croisement de traces de frottement, convertit le tribomètre en un outil analytique permettant de dissocier les rôles des différentes modifications de surface sur le comportement tribologique du contact. Cette démarche a été appliquée au cas particulier du frottement d'un acier contre une couche mince de carbone amorphe hydrogéné.

Mots-clés : tribologie, couches minces, environnement contrôlé, durabilité, lubrifiants solides, nitrure de titane (TiN), disulfure de molybdène (MoS₂), Diamond-Like carbon (DLC).

Abstract

The use of thin films for the tribological functionalization of surfaces is widespread in industry. The aim is to control wear or friction, depending on whether the coatings are hard or solid lubricants. In the context of dry contacts under vacuum, where adhesive phenomena predominate, matter transfers between surfaces occur. This leads to the formation of an interface that determines the tribological behavior of the contact.

Following an analysis of the degradations of a thin layer of TiN in contact with steel in a real mechanism, an appropriate experimental modelling was set up to reproduce those degradations on model surfaces in an environment control tribometer. The sphere/plane geometry of the contact, with the coating deposited on the ball, induces a continuous exposure of the coating to friction, thus accelerating the appearance of degradation. This modelling uses a unique tribometer, enabling tribological experiments to be carried out in all directions of the plane and the measurement of displacement resisting forces in all directions of space, thanks to its 6-axis force sensor. This experimental study highlighted the formation and rupture processes of adhesive junctions in contacts involving commercial thin films of various natures, whether hard (TiN) or with solid lubrication capabilities (MoS₂ and hydrogenated amorphous carbon a-C:H).

The tribological behavior of the lubricating coatings is compared with that of the hard TiN coating. An analysis of the transfer phenomena in these contacts highlights the distinction between the durability of the coating (tearing for hard coatings and wear for soft ones) and the durability of the contact (characterized by the appearance of macroscopic seizure). The durability of the contact is intrinsically linked to the evolution of the interfacial material formed during the transfer of matter between surfaces, resulting from adhesive phenomena. This study highlights the diversity and complexity of surface modifications induced by friction.

An original approach, based on the crossing of friction tracks, converts the tribometer into an analytical tool. It allows to dissociate the respective roles of the various surface modifications on the tribological behavior of the contact. This approach has been applied to the specific case of friction between steel and a thin layer of amorphous hydrogenated carbon.

Keywords : tribology, thin coatings, environment control, durability, solid lubricants, titanium nitride (TiN), molybdenum disulfide (MoS₂), Diamond-Like carbon (DLC).