

Département : GMSC

Affaire suivie par : Noël BRUNETIERE

Téléphone : +33 (0)5 49 49 65 31

Mail : noel.brunetiere@univ-poitiers.fr

Chasseneuil, le 22/02/2021

Proposition de thèse / PhD proposal

Titre :	Étude théorique et expérimentale de surfaces nano-texturées en régime de frottement lubrifié
Title :	Theoretical and experimental study of nano-textured surfaces in lubricated friction regime
Mots Clés :	Texturation de surface, lubrification, céramique, garniture mécanique d'étanchéité
Keywords :	Surface texture, lubrication, ceramics, mechanical seal
Directeur 1 :	Noël Brunetière, Institut Pprime, Poitiers noel.brunetiere@univ-poitiers.fr
Directeur 2 :	Pascal Jolly , Institut Pprime, Poitiers pascal.jolly@univ-poitiers.fr
Directeur 3 :	Romain Lucas, IRCER, Limoges romain.lucas@unilim.fr
Financement :	50% Ministère de l'Enseignement Supérieur la Recherche et l'Innovation - 50% Région Nouvelle Aquitaine
Funding :	50% Ministry of Education Research and Innovation - 50% Nouvelle Aquitaine Region
Résumé	La thèse porte sur l'étude de l'impact des surfaces nano-texturées sur le comportement en régime lubrifié dans le cadre du projet TECAP. L'objectif sera de déterminer par modélisation et simulation l'agencement géométrique des textures de surface permettant d'accroître les performances de frottement et de résistance à l'usure en présence d'un fluide lubrifiant et de réaliser une vérification expérimentale sur des garnitures mécaniques. Il s'agira dans un premier temps d'identifier les phénomènes physiques impliqués dans l'interaction entre le fluide et la surface

	<p>aux échelles caractéristiques des motifs (tension de surface, ancrage et déformation des interfaces fluide-air, écoulement du fluide en film mince) en s'appuyant sur les compétences de l'équipe Tribolub de l'Institut Pprime en matière de lubrification des surfaces texturées et de l'axe "Céramiques sous contraintes environnementales" de l'IRCER dans le domaine de la chimie des céramiques. Les phénomènes identifiés seront modélisés et intégrés dans un code de calcul de lubrification afin de réaliser une étude paramétrique permettant d'optimiser la densité surfacique de textures, leur rapport largeur sur profondeur, leur taille caractéristique et leur forme. La dernière étape consistera à évaluer expérimentalement le comportement d'une garniture mécanique dont la surface aura été texturée (réalisation thèse et post doc-projet TECAP).</p>
<p>Abstract</p>	<p>The thesis focuses on the study of the impact of nano-textured surfaces on the behavior in a lubricated regime as part of the TECAP project. The objective will be to determine by modeling and simulation the geometrical arrangement of the surface textures allowing to increase the performance of friction and wear resistance in the presence of a lubricating fluid and to carry out an experimental verification on mechanical seals. . The first step is to identify the physical phenomena involved in the interaction between the fluid and the surface at the characteristic scales of the patterns (surface tension, anchoring and deformation of the fluid-air interfaces, flow of the fluid in thin film) by relying on the skills of the Tribolub team of the Pprime Institute in the lubrication of textured surfaces and of the "Ceramics under environmental constraints" team of IRCER in the field of ceramic chemistry. The identified phenomena will be modeled and integrated into a lubrication calculation code in order to carry out a parametric study to optimize the surface density of textures, their width to depth ratio, their characteristic size and their shape. The last step will consist in experimentally evaluating the behavior of a mechanical seal whose surface has been textured (thesis and post-doc project TECAP realization).</p>

Contexte : Le projet TECAP

Les garnitures mécaniques sont utilisées pour assurer l'étanchéité sur tout type de machines tournantes telles que les pompes, les compresseurs ou encore les moteurs d'avions. En 2018, le marché mondial annuel était estimé à 3,2 milliards de dollars (1). Que ce soit dans les pompes de centrales nucléaires, les turbopompes de lanceurs spatiaux, les pompes cardiaques ou les nombreuses autres applications, leur fiabilité est essentielle pour la sécurité et la santé des utilisateurs et aussi pour des aspects économiques. Un des matériaux le plus couramment utilisé dans ces applications est le carbure de silicium (SiC) en raison de ses bonnes propriétés en frottement et de ses caractéristiques mécaniques et thermiques. Malgré les bonnes performances de ce matériau, il est possible d'augmenter la fiabilité, la résistance à l'usure et de réduire les pertes par frottement des garnitures mécaniques grâce à la texturation de surfaces. La texturation consiste en la réalisation de cavités de quelques centaines de nanomètres de profondeur sur quelques centaines de microns de largeur, sur la surface en frottement, qui permettent des gains en frottement de l'ordre de 50 % (2). Une autre solution prometteuse, qui n'a pas été mise en œuvre dans ce type d'applications, consiste à réaliser des textures étroites qui permettent de modifier la mouillabilité des surfaces et de favoriser le glissement du fluide sur la paroi et, par la suite, réduire le niveau de frottement. Afin que ces motifs puissent opérer à des niveaux de pressions tels que ceux rencontrés dans les contacts tout en maintenant de l'air emprisonné dans les cavités, il est nécessaire que les motifs soient de très faible taille latérale ($< 1\mu\text{m}$). La modification de la mouillabilité peut également avoir un impact favorable vis-à-vis des performances de l'étanchéité.

L'objectif du projet est de réaliser un matériau à gradient de porosité dans lequel le cœur est dense et la surface présente une porosité contrôlée. Une approche consisterait à mettre en œuvre des polymères précéramiques pour créer la rugosité de surface ciblée. La particularité de ces précurseurs est d'aboutir au matériau final après une étape de cuisson, avec un contrôle précis de la composition chimique du matériau. Cette texturation des matériaux SiC pourrait être élaborée en s'appuyant sur les méthodes basées sur la pyrolyse de polymères précéramiques (i.e. polycarbosilanes) développées à l'Institut de Recherche sur les Céramiques (IRCER) de Limoges, et sur la synthèse de

copolymères à blocs pour la nanostructuration de surface, dont le Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques (LCPO) de Bordeaux possède l'expertise. Les compétences de l'Institut PPRIME à Poitiers et du CETIM Sud-Ouest permettront l'application de ces matériaux aux garnitures mécaniques et l'étude du comportement tribologique.

Description des travaux

Tâche 1 : Modélisation des surfaces

Détermination par modélisation et simulation des paramètres géométriques des textures de surface permettant d'accroître les performances en régime lubrifié :

- Identification des phénomènes physiques impliqués dans l'interaction entre le fluide et la surface aux échelles caractéristiques des motifs : tension de surface, ancrage et déformation des interfaces fluide air, écoulement du fluide en film mince
- Mise en place d'un modèle théorique et intégration dans un outil de simulation
- Etude paramétrique et identification de paramètres géométriques optimaux

Tâche 2 : Caractérisations des surfaces

Application aux étanchéités : utilisation des bancs d'essais garnitures mécaniques pour tester les échantillons en conditions proches des situations industrielles :

- Mesure du frottement
- Température de contact
- Topographie des surfaces

Context : TECAP project

Mechanical seals are used to seal all types of rotating machinery such as pumps, compressors or even aircraft engines. In 2018, the annual global market was estimated at \$ 3.2 billion (1). Whether in nuclear power plant pumps, rocket engine turbopumps, heart pumps or many other applications, their reliability is essential for the safety and health of users and also for economic aspects. One of the most common materials used in these applications is silicon carbide (SiC) because of its good friction properties and its mechanical and thermal

characteristics. Despite the good performance of this material, it is possible to increase reliability, wear resistance and reduce frictional losses of mechanical seals by texturing surfaces. Texturing consists of making cavities a few hundred nanometers deep by a few hundred microns wide, on the friction surface, which allow friction gains of around 50% (2). Another promising solution, which has not been implemented in this type of application, consists in producing narrow textures which make it possible to modify the wettability of the surfaces and to promote the sliding of the fluid on the wall and, subsequently, reduce the level of friction. In order for these patterns to operate at pressure levels such as those encountered in contacts while maintaining air trapped in the cavities, the patterns must be of very small lateral size ($<1\mu\text{m}$). The change in wettability can also have a favorable impact on waterproofing performance.

The objective of the project is to produce a material with a porosity gradient in which the core is dense and the surface has a controlled porosity. One approach would be to use preceramic polymers to create the targeted surface roughness. The particularity of these precursors is to arrive at the final material after a firing step, with precise control of the chemical composition of the material. This texturing of SiC materials could be developed by relying on methods based on the pyrolysis of preceramic polymers developed at the Institute for Research on Ceramics (IRCER), in Limoges, and on the synthesis of block copolymers for surface nanostructuring, for which the Bordeaux Organic Polymer Chemistry Laboratory (LCPO) has expertise. The skills of the PPRIME Institute in Poitiers and the CETIM Sud-Ouest will allow the application of these materials to mechanical seals and the study of tribological behavior.

Work description

Task 1: Modeling surfaces

Determination by modeling and simulation of the geometric parameters of the surface textures to increase performance in a lubricated regime:

- Identification of the physical phenomena involved in the interaction between the fluid and the surface at the characteristic scales of the patterns: surface tension, anchoring and deformation of the fluid-air interfaces, flow of the fluid in thin film
- Establishment of a theoretical model and integration into a simulation tool

- Parametric study and identification of optimal geometric parameters

Task 2: Characterizations of surfaces

Application to sealing: use of mechanical seal test benches to test samples in conditions similar to industrial situations:

- Friction measurement
- Contact temperature
- Surface topography

References

- (1) <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/mechanical-seals-market-101430>
- (2) Adjemout, M.; Brunetière, N. & Bouyer, J., « Friction and temperature reduction in a mechanical face seal by a surface texturing: comparison between TEHD simulations and experiments » Tribology Transactions, **2018**, 61, 1084-1093