



JIFT 2017
29^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie
Tribologie dans l'Innovation Mécanique
17-19 mai 2017 Saint Ouen



29^{ÈMES} JOURNÉES INTERNATIONALES FRANCOPHONES DE TRIBOLOGIE - RECUEIL DES RÉSUMÉS

Organisées par Supméca
en partenariat avec le Cetim

<https://jift2017.sciencesconf.org/>



PROGRAMME DES JIFT 2017

Mer 17/05 14h-14h30	Ouverture des JIFT 2017
SESSION 1 : TECHNIQUES DE CARACTERISATION	
Mer 17/05 14h30- 15h50	Simulation expérimentale de l'opération d'emboutissage par des essais de type étirage-plan – corrélation entre essais de laboratoire et essais semi-industriels X. ROIZARD¹, M. BERGEOT^{1,2,3}, A. BUTERI², J.M. MELO³, F. LALLEMAND⁴ ¹ Institut FEMTO-ST, DMA, UMR 6174, CNRS UFC ESNMMUTBM, Besançon ² Société APERAM, Centre de Recherches, Isbergues ³ Institut UTINAM, UMR 6213 CNRS UFC Besançon ⁴ AFLudine SAS, Besançon
	Tribomètre innovant couplant mesures dynamiques à oscillations libres et mesures en grand débattement A HRIOUECH^{1,2}, M. BELIN¹, J. PERRET-LIAUDET¹, M.I. DE BARROS¹, M. DIABY² ¹ LTDS, UMR 5513 CNRS, Ecole Centrale de Lyon, Université de Lyon, Ecully ² PSA, Centre de Vélizy
	Progrès de la vision in-situ dans le traitement d'essais de rayure de polymères transparents L. LIMOL^{1,2}, H. PELLETIER^{1,2}, D FAVIER¹, L JACOMINE¹, C. GAUTHIER¹ ¹ Institut Charles Sadron, UPR 22 CNRS, Strasbourg ² INSA de Strasbourg
	Freinage : Suivi in situ de l'interface de contact à l'amorce du crissement E. DAVIN^{1,2,3}, A.L. CRISTOL^{1,2,3}, Y. DESPLANQUES^{1,2,3}, J.-F. BRUNEL^{1,3}, M. DUBOC⁴, P. DUFRENOY^{1,3} ¹ Laboratoire de Mécanique de Lille, CNRS UMR 8107, Arts et Métiers ParisTech Lille, Ecole Centrale de Lille ² Ecole Centrale de Lille ³ CNRS FRE 3723 ⁴ Arts et Métiers ENSAM ParisTech Lille
PAUSE – 30 min	
SESSION 2 : ASPECTS MULTIPHYSIQUES DU CONTACT	
Mer 17/05 16h20- 18h00	Etude de la résistance thermique de contact à l'interface de solides cylindriques à axes parallèles – Application aux réchauffages par traçage M. BEN ATTIA AIDOUDI¹, J. BESSROUR¹ ¹ Université de Tunis El Manar, ENI Tunis, Laboratoire de Mécanique Appliquée et Ingénierie
	Pathologies articulaires : de la tribologie à la génétique A-M TRUNFIO-SFARGHIU¹, B. MUNTEANU¹, A. HANNOUN¹, G. OUENZERFI¹, M. SAVA¹, N. DARRAGI¹, V. MASSARDIER¹, L. BOSTANET¹, Y. BERTHIER¹ ¹ Université de Lyon CNRS INSA Lyon LaMCoS, UMR
	Propriétés conjuguées de procédés d'usinages d'outils pour garantir les performances d'étanchéité C. BATAILLE¹, R. DELTOMBE¹, A. JOURANI², M. BIGERELLE¹ ¹ LAMIH, CNRS UMR 8201, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis ² Sorbonne Universités UTC, UMR 7337Roberval, Centre de recherche Royallieu, Compiègne
	Impact de la composition des semelles de frein sur la résistance électrique du contact roue-rail E. CHAPTEUIL^{1,4}, C. ZENG², M. RENOUF^{2,3}, Y. BERTHIER^{1,3} ¹ LaMCoS, CNRS UMR 5259, INSA Lyon ² LMGC, CNRS/UM ³ InTriG ⁴ Faiveley Transports Gennevilliers
	Corrélations entre signatures tribologiques, électriques et acoustiques en fretting usure A. BENITEZ¹, J.Y. PARIS¹, J. DENAPE¹ ¹ Université Fédérale de Toulouse, Laboratoire Génie de Production, ENI de Tarbes
SESSION POSTERS - COCKTAIL DINATOIRE	

Jeu 18/05 09h-09h45	Conférence invitée : Pierre CHALANDON Besoins tribologiques dans les innovations pour l'industrie mécanique	
SESSION 3 : TRIBOLOGIE DES COMPOSANTS MECANIQUES		
Jeu 18/05 09h45-10h45	Amélioration de la connaissance tribologique du système bielle-axe de piston Y. GACHON¹, A. MULLER¹, L. ABMESELELEME¹, P. MAURIN PERRIER¹ <i>¹IREIS Département Tribologie</i>	
	Caractérisation morphologique multi-échelle de l'usure de plaquettes de frein automobile L. COUSTENOBLE¹, J. KIM¹, R. DELTOMBE¹, F. MASSA¹, T. TISON¹, <i>¹LAMIH, CNRS UMR 8201, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis</i> <i>²HYUNDAI Motors Group</i>	
	Instabilités de frottements d'origine tribologique dans un contact humide entre une courroie poly-V et une poulie S. GATIGNOL^{1,2}, T. DEMASSOUGNE¹, A. LE BOT², <i>¹Hutchinson SNC, Joué-lès-Tours</i> <i>²LTDS, CNRS UMR 5513, Ecole Centrale de Lyon</i>	
PAUSE – 30 min		
SESSION 4 : FRETTING		
Jeu 18/05 11h15-12h35	Modèle énergétique RP-Rf formalisant les fluctuations de la force normale et les effets de l'environnement sur la cinétique d'usure par fretting E. MARC^{1,2}, S. FOUVRY¹, H. MAITOURNAM³, C. PHALIPPOU² <i>¹LTDS, CNRS UMR 5513, Ecole Centrale de Lyon</i> <i>²Den-SEMT CEA, Université Paris-Saclay</i> <i>³IMSIA, ENSTA ParisTech, CNRS, CEA, EDF, Université Paris-Saclay</i>	
	Transition fragile-ductile mesurée par la compression de micropiliers dans un troisième corps à haute température A. VIAT^{1,2}, G. GUILLONNEAU¹, G. KERMOUCHE³, J. MICHLER⁴, S. FOUVRY¹ <i>¹LTDS, CNRS UMR 5513, Ecole Centrale de Lyon</i> <i>²Safran Ceramics, Le Haillan</i> <i>³Ecole des Mines de Saint-Etienne, LGF, CNRS UMR 5307</i> <i>⁴Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology</i>	
	Simulation numérique des profils d'usure de fretting avec prise en compte du 3 ^{ème} corps P. ARNAUD¹, S. FOUVRY¹, S. GARCIN¹ <i>¹LTDS, CNRS UMR 5513, Ecole Centrale de Lyon</i>	
	Estimation de l'usure de contacts rugueux soumis à du fretting par analyse topographique 3D J. FORTES DA CRUZ¹, T. DA SILVA BOTELHO¹, I. LEMAIRE-CARON¹ <i>¹Laboratoire Quartz, EA 7393, Supméca</i>	
PAUSE DEJEUNER		

Jeu 18/05 14h-14h45	Conférence invitée : Jean FRENE Histoire de la tribologie
SESSION 5 : ROUEMENTS	
Jeu 18/05 14h45-15h45	Etude Expérimentale et Modélisation Statistique de la dégradation d'un Contact E.H.D. de Roulement Sous l'Effet de la Pollution Solide des Lubrifiants A. HAIAHEM¹, M. R. SARI¹, R. BOURENANE¹, S. MAATALLAH² <i>¹Laboratoire de Mécanique Industrielle, Université Badji Mokhtar ANNABA, Algérie</i> <i>²Département de Génie Mécanique, Université 20 Août 1955 de Skikda, Algérie</i>
	Influence de la rugosité sur la fatigue de roulement K. POTIER¹, I. LEMAIRE-CARON¹, F. ROBBE-VALLOIRE¹ <i>¹Laboratoire Quartz, EA 7393, Supméca</i>
	Impact de la cinématique sur le comportement des roulements à billes haute vitesse C. SERVAIS¹, J.-L. BOZET¹ <i>¹Cryotribologie, Université de Liège</i>
PAUSE – 30 min	
SESSION 6 : ABRASION ET EROSION	
Jeu 18/05 16h15-18h35	Erosion de pales d'agitateur par un fluide chargé de particules Particule-laden fluid and erosion T. AIOUAZ¹, D. PIERRAT¹, J. POHIER², D. LOHIER³ <i>¹Cetim, Pôle Technologie des fluides et Ecoulements, Nantes</i> <i>² Cetim, Pôle Matériaux métalliques et Surfaces, Senlis</i> <i>³ AREVA NP, Equeurdreville-Hainneville</i>
	Effet de différentes microstructures avec un même niveau de dureté sur le frottement et l'usure de l'acier 25CD4 C. TREVISIOL¹, A. JOURANI¹, S. BOUVIER¹ <i>¹Sorbonne Universités, UTC, CNRS, UMR 7337 Roberval, Centre de recherche Royallieu, Compiègne</i>
	Effets d'échelle de la texturation par procédé toilage contrôlé en raideur de contact film abrasif/palier K. SERPIN^{1,2}, S. MEZGHANI², M. EL MANSORI² <i>¹Renault, Technocentre, Guyancourt</i> <i>² Arts et Métiers ParisTech, MSMP, Châlons-en-Champagne</i>
	Développement d'un modèle numérique simulant le comportement mécanique des carbures de tungstène sollicités en impact-glissement M. FALL¹, G. BOUVARD¹, G. GUILLAUNNEAU¹, V. FRIDRICI¹, P. KAPSA¹ <i>¹LTDS, CNRS UMR 5513, Ecole Centrale de Lyon</i>
	Tribométrie prédictive, au service des matériaux et de l'industrie A. MAGNEE¹ <i>¹Université de Liège, Tribosolution</i>
	Evaluation de l'abrasivité du liquide chargé pour l'industrie cosmétique, chimique et agro-alimentaire Y.-M. CHEN¹, D. CAZE¹, K. LECLERC¹ <i>¹ Cetim, Senlis</i>
	Vers une approche tribologique multiéchelle pour la qualification de l'usinabilité des agrocomposites F. CHEGDANI¹, M. EL MANSORI¹, S. MEZGHANI¹ <i>¹Laboratoire MSMP EA7350, Arts et Métiers ParisTech, Châlons-en-Champagne</i>
PHOTO DE GROUPE	
SOIREE DE GALA	

Ven 19/05 09h-09h45	Conférence invitée : Sylvain PHILIPPON Essais tribologiques en conditions sévères
SESSION 7 : REVÊTEMENTS	
Ven 19/05 09h45-10h45	Propriétés tribologiques de monocouches auto-assemblées sur un substrat de cuivre – Influence de la longueur de la chaîne alkyle X. ROIZARD¹, M MOINE², A. ET TAOUIL³, J.M. MELOT³, F. LALLEMAND³ ¹ Institut FEMTO-ST - DMA, UMR 6174, CNRS UFC ENSMMUTBM ² MATEIS, UMR 5510 CNRS INSA Lyon ³ Institut UTINAM, UMR 6213 CNRS, UFC
	Investigation on influences of diamond-like carbon coatings and roughness on fretting behaviors of Ti6Al4V for modular hip implants applications HH DING¹, V. FRIDRICI¹, J. GERINGER², J. FONTAINE¹, P. KAPSA¹ ¹ LTDS, CNRS UMR 5513, Ecole Centrale de Lyon ² CIS-EMSE, CNRS, Ecole Nationale Supérieure des Mines – Saint-Etienne
	Intérêt tribologique des dépôts DLC pour applications fortement chargées: les roulements Pierre-François CARDEY¹ ¹ Cetim, Pôle Matériaux métalliques et Surfaces, Senlis
PAUSE – 30 min	
SESSION 8 : TRIBOLOGIE DU PNEUMATIQUE	
Ven 19/05 11h15-11h55	Etude du contact pneumatique/chaussée en roulement glissement et en frottement linéaire J. BOUSMAT^{1,2}, A. LE BOT¹, J. SCHEIBERT¹, F. BREMOND² ¹ LTDS, CNRS UMR 5513, Ecole Centrale de Lyon ² Michelin, Centre de Recherche et de Technologie de Ladoux
	Modélisation avancée du contact pneu-chaussée P. REYNAUD¹, B. PICOUX¹, E. MANYO¹, D. NELIAS², C. PETIT¹ ¹ Université de Limoges, GCDD, EA 3178, Egletons ² Université de Lyon, CNRS, INSA Lyon, LaMCoS UMR 5259
Ven 19/05 11h55-12h30	Clôture des JIFT 2017

Le Comité d'Organisation se réserve le droit de modifier ce programme en cas de nécessité.



PROGRAMME DE LA SESSION POSTERS

P01	<p>Etude tribologique du contact dynamique bronze-graphite et graphite-graphite traversé par le courant électrique</p> <p>Youcef MOUADJI¹, Ali BOUCHOUCHA², Hamid ZAÏDI³, Amokrane BRADAI MOHAND⁴ ¹Ecole Nationale Polytechnique de Constantine. ²Laboratoire de Mécanique, Université de Constantine. ³Institut P', Université de Poitiers ⁴Laboratoire de Technologie des Matériaux et Génie des Procédés Université de Béjaïa</p>
P02	<p>Etude du comportement en frottement et en usure du contact glissant sec acier-acier : conséquences sur les surfaces frottantes</p> <p>Abdelmalek ELHADI¹, Ali BOUCHOUCHA² ¹. Département de Génie Mécanique, Faculté de Technologie, Université de Mohamed Boudiaf, M'sila, Algérie. ². Laboratoire de Mécanique, Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de la Technologie, Université des Frères Mentouri, Constantine1, Algérie.</p>
P03	<p>Influence de la microstructure dans le comportement de l'usure du laiton en milieu lubrifié</p> <p>Salima SENHADJI^{1, 2}, Farid BELARIFI², François ROBBE-VALLOIRE³ ¹. Institut de Maintenance et de sécurité Industrielle, Université d'Oran2 ². Laboratoire des Sciences de la Matière Condensée. Equipe de Tribologie & nano tribologie. Université d'Oran1 ³. Laboratoire Quartz, EA 7393, Supméca</p>
P04	<p>Influence de la morphologie des particules abrasives sur l'usure des surfaces de contact</p> <p>M. ARBAOUI¹, F. ROBBE-VALLOIRE² ¹. Département Transport et Equipements des Hydrocarbures, Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie - Université M'Hamed BOUGARA - Boumerdés ALGERIE. ². Laboratoire Quartz, EA 7393, Supméca</p>
P05	<p>Influence des paramètres électromécaniques sur le comportement en usure et la température de contact du couple tournant sec pion-cylindre en utilisant la méthode de Taguchi</p> <p>Djamel BEKHOUCHE¹, Ali BOUCHOUCHA¹, Hamid ZAÏDI² ¹. Laboratoire de Mécanique, Campus Chaabet-Ersas, Faculté des Sciences de la technologie, Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie ². Département génie Mécanique et systèmes complexes, branche Mécanique des solides, CNRS</p>



JIFT 2017

29^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie
Tribologie dans l'Innovation Mécanique

17-19 mai 2017 Saint Ouen



P06	<p>Influence de la rugosité, de la vitesse de glissement sur le comportement tribologique de l'alliage d'aluminium Al4Cu2Mg</p> <p>N. TEKKOUK¹, M. ARBAOUI¹, A. REZZOUG² ¹. Faculté des Hydrocarbures et de Chimie, Université de BOUMERDES, Algérie. ³. Laboratoire LSDM, Université de BAB EZZOUAR (USTHB), Algérie.</p>
P07	<p>Microstructural and tribological study of cold tool steel AISI O2 after boriding treatment</p> <p>M. BELAID¹, M. L. FARES¹, O. ASSALAI, F. BOUKARI² ¹. Laboratory of Metallurgy and Engineering Materials, Department of Metallurgy and Engineering Materials BADJI Mokhtar- Annaba University, Algeria. ². Department of Chemical Engineering, Process Engineering, University of Versailles St-Quentin, Paris, France.</p>
P08	<p>Le rôle de la phase blanche dans la dégradation des rails ferroviaires</p> <p>M. MESSAADI¹, M. STEENBERGEN¹ ¹. Département de transport routier et ferroviaire, Faculté de Génie Civil et Géoscience, Université Technique de Delft, Pays-Bas</p>
P09	<p>Simulation par éléments finis de la compétition usure/fissure en fretting avec prise en compte du 3eme corps</p> <p>P. ARNAUD¹, S. FOUVRY¹, S. GARCIN¹ ¹. LTDS, UMR CNRS 5513, Université de Lyon, Ecole Centrale de Lyon, ECL-ENISE-ENTPE</p>
P10	<p>Etude du rugosimètre de tête TS100 en utilisant une pièce étalon</p> <p>B. BLOUL¹, B. AOUR², A. BOURDIM³, R. HARHOUT¹ ¹. Laboratoire Fiabilité des Equipements Pétroliers & Matériaux– Boumerdès, Algérie ². Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux, ENP Oran, Algérie ³. Université de Tlemcen, Aboubeker Belkaid, Faculté de Technologie, Algérie</p>
P11	<p>Surface characterization of pack boronized hot work tool steel close to AISI H11 steel type</p> <p>M.L. FARES¹, B. MOUNIA¹, O. ASSALA¹, F. BOUKHARI² ¹. Metallurgy and Engineering Materials Laboratory, Metallurgy and Engineering Materials Department, Badji-Mokhtar University of Annaba, Algeria. ². Department of Chemical and Process Engineering, University of Versailles St-Quentin, Paris;France.</p>
P12	<p>Modalités de formation de la glaze layer : de la structure nanocristalline à l'énergie dissipée globale</p> <p>A. VIAT^{1,2}, S.FOUVRY¹, M.-I. DE BARROS BOUCHET¹, J.-F. HENNE² ¹..LTDS, CNRS UMR 5513, Université de Lyon, Ecole Centrale de Lyon, ECL-ENISE-ENTPE ².Herakles, groupe Safran, Le Haillan</p>
P13	<p>Démarche de rédaction d'un guide méthodologique d'optimisation du comportement tribologique de contacts</p> <p>O. CLOAREC¹, M. QUILLIEN², F. ROBBE-VALLOIRE² ¹. ARTEMA (Fédération des industries Mécaniques), Courbevoie ². Laboratoire Quartz EA 7393, Supméca</p>



P14	<p>Simulation numérique de la lubrification thermo-hydrodynamique de contact pion-disque</p> <p>M. BELAHCENE¹, F. ROBBE-VALLOIRE², M. LOUNIS³</p> <p>¹. Laboratoire FIMA, Université de Djilali Bounaama Khemis Miliana, Algérie</p> <p>². Laboratoire Quartz, EA 7393, Supméca</p> <p>³. Laboratoire LAAR, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran USTO, Algérie</p>
P15	<p>Influence de la charge et du champ magnétique appliqués sur les caractéristiques d'un palier Magnéto- hydrodynamique à Ferrofluide</p> <p>D. BEKHOUCHE¹, A. BOUCHOUCHA¹, H. ZAIDI²</p> <p>¹. Laboratoire de Mécanique, Campus Chaabet-Ersas, Faculté des Sciences de la Technologie, Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie</p> <p>². CNRS UPR 3346, Département Génie Mécanique et Systèmes Complexes, branche Mécanique des solides, Université de Poitiers, ENSMA</p>
P16	<p>Influence de la rugosité sur le comportement tribologique du couple acier-acier : 42CrMo4-20MnCr5</p> <p>H. BOUHABILA^{1,2}, A. BOUCHOUCHA², R. BENZERGA³, C. LE PAVEN³</p> <p>¹. Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de l'ingénieur, Université Boumerdes, Algérie</p> <p>². Laboratoire de Mécanique, Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de la Technologie, Université Les Frères Mentouri, Constantine, Algérie</p> <p>³. IUT Saint Briec, Université de Rennes 1</p>
P17	<p>Etude tribologique de biomatériaux : revêtement d'hydroxyapatite et alliage de titane Ti-6Al-4V</p> <p>M. LABAÏZ¹, F. Z. DERRADJI¹, L.KHELIFA¹, A. MONTAGNE², A. IOST²</p> <p>¹. Laboratoire de métallurgie et génie des matériaux, Annaba, Algérie</p> <p>². Laboratoire MSMP, Arts et Métiers ParisTech, Lille</p>
P18	<p>Etude d'un contact sec en roulement avec glissement : comparaison expérience / théorie</p> <p>E. CULLAZ¹, F. MACEWKO², M. QUILLIEN¹, F. ROBBE-VALLOIRE¹</p> <p>¹. Laboratoire Quartz, EA7393, Supméca</p> <p>². Valéo, Amiens</p>
P19	<p>Performance d'usure et de frottement des composites carbone/époxy renforcés avec une charge métallique</p> <p>A. REZZOUG¹, S. ABDI¹, S. MOUFFOK², I. DAOUD¹</p> <p>¹. Département De Sciences Des Matériaux, Laboratoire de Sciences et Génie des Matériaux, Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés, Bab Ezzouar Alger, Algérie.</p> <p>². Unité de Recherche Matériaux, Procédés et Environnement (URMPE), Université de M'hamed Bougara Boumerdes (UMBB), Boumerdes</p>
P20	<p>Liens entre l'hétérogénéité microstructurale des matériaux de friction et leur comportement tribologique</p> <p>F. MAKNI^{1,2}, A-L. CRISTOL¹, M. KCHAOU², R. ELLEUCH² et Y. DESPLANQUES¹</p> <p>¹. Ecole Centrale de Lille, LML, UMR CNRS 8107, France</p> <p>². Université de Sfax, ENIS, LASEM, Tunisie</p>



JIFT 2017

29^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie
Tribologie dans l'Innovation Mécanique

17-19 mai 2017 Saint Ouen



SESSION 1

-

TECHNIQUES DE CARACTÉRISATION



Simulation expérimentale de l’opération d’emboutissage par des essais de type étirage-plan – corrélation entre essais de laboratoire et essais semi-industriels.

X. Roizard¹, M. Borgeot^{1,2,3}, A. Buteri², J.M.Melot³, F. Lallemand⁴

1. Institut FEMTO-ST – DMA, UMR 6174, CNRS UFC ENSMMUTBM, F-25000 Besançon

2. Société APERAM – Centre de Recherches, F-62230 Isbergues

3. Institut UTINAM – UMR 6213 CNRS, UFC F-25009 Besançon

4. AFULudine SAS – F25000 Besançon

MOTS CLES

Tribologie de l’emboutissage, essais simulatifs, lubrification

RESUME

La réussite d’une opération d’emboutissage est intimement liée aux propriétés mécaniques à cœur des matériaux à former. Il est cependant reconnu que les aspects surfaciques jouent aussi un rôle important tant sur la faisabilité même d’une pièce que sur son acceptation/refus à l’issue du contrôle qualité post-emboutissage. La littérature fait référence à différents tribomètres conçus selon l’objectif de simuler expérimentalement, aussi fidèlement que possible, les conditions de contact particulières associées au procédé de mise en forme par emboutissage. La représentativité de certains de ces essais peut cependant être parfois discutée. En effet, alors que certains paramètres opératoires telles que la pression de contact ou la vitesse de glissement, sont connus pour influencer les efforts de frottement et les dégradations de surface induites par le glissement tôle/outil, de nombreux autres paramètres sont parfois très difficiles à estimer. Ils ne sont de plus pas nécessairement constants, non seulement selon le lieu considéré de l’embouti mais aussi et surtout dans le temps. Ainsi, les conditions opératoires sont trop souvent choisies en espérant qu’elles soient les plus proches possible de la situation réelle, sans possibilité de contrôle. Se pose alors le problème d’avoir un critère fiable permettant de relier les résultats issus de simulations expérimentales avec ceux de l’emboutissage réel.

Nous proposons dans ce travail d’adopter une méthode inverse en adaptant les conditions opératoires d’un essai de simulation expérimentale particulier de type étirage-plan – donc à l’échelle du laboratoire - afin de retrouver des résultats sous presse réelle pour un emboutissage en rétreint pur.

Le tribomètre utilisé dans le cadre de cette étude permet d’appliquer de manière indépendante une pression de contact, une vitesse de glissement, une longueur de glissement, une température globale de l’outillage et un taux de déformation plastique à cœur connus. Deux types de grandeur peuvent être mesurés à l’issue d’un tel essai de laboratoire : d’une part le coefficient de frottement et son évolution au cours de l’essai et, d’autre part, les modifications topographiques de surface de la tôle et/ou de l’outil induites par le dit-frottement. A noter qu’une discrétisation du frottement est rendue possible via ce tribomètre pour une étude plus fine des mécanismes inhérents aux interactions outils-matière

Afin de s’assurer, autant que faire se peut, d’une bonne adéquation entre les résultats d’emboutissage réel et les essais d’étirage-plan, différents paramètres ont été définis comme constants et communs aux deux essais, à savoir respectivement la nature et la rugosité de la tôle (un acier inoxydable ferritique bi-stabilisé) et des outils. La nature et la quantité de lubrifiant constituent à contrario des paramètres libres menant à différents types d’interface plus ou moins propice à la réussite de l’opération.

Ces différents essais nous ont permis de corréler les grandeurs mesurables issues de notre tribomètre (frottement et endommagement surfacique) à cette valeur communément utilisée en milieu industriel pour qualifier la « qualité » de l’interface qu’est la LDR.

TRIBOMETRE INNOVANT COUPLANT MESURES DYNAMIQUES À OSCILLATIONS LIBRES ET MESURES EN GRAND DEBATTEMENT

A. Hriouech^{1,2}, M. Belin¹, J. Perret-Liaudet¹, M.I. De Barros¹ et M. Diaby²

1. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR5513 CNRS, École centrale de Lyon, Université de Lyon, 36, avenue Guy de Collongue, 69134 Écully, France

2. PSA, Centre technique de Vélizy, Vélizy 78140, France

MOTS CLES

Loi de frottement, dissipation d’énergie, oscillations transitoires, dynamique non linéaire

RÉSUMÉ

Face aux nouvelles normes relatives à la réduction des polluants et des émissions de gaz à effet de serre, le contrôle du frottement dans les systèmes mécaniques devient un enjeu majeur en tribologie. Ainsi, l’un des défis actuels est la recherche de systèmes tribologiques à faible coefficient de frottement, en particulier dans le domaine du transport. Ce problème nécessite des mesures efficaces, rapides et précises dans le domaine du frottement faible, voire du frottement ultra-faible. Dans ce contexte, cette étude traite d’un dispositif expérimental original développé au LTDS, qui couple un tribomètre alternatif conventionnel avec un tribomètre oscillant dynamique innovant. Les deux systèmes opèrent successivement sur les mêmes surfaces de frottement, à tout stade d’évolution du tribosystème :

- le premier permet de mesurer l’évolution de la réponse tribologique lors d’essais longue distance, avec une durée typique de plusieurs dizaines de minutes à plusieurs heures, permettant de suivre l’évolution de l’interface (surfaces antagonistes en contact), et en particulier la formation du tribofilm ;

- le second permet de réaliser des mesures très rapides, typiquement d’une durée de quelques secondes, à partir desquelles on peut extraire des lois de frottement et d’amortissement de manière très robuste. Cette technique est basée sur l’analyse de la réponse dynamique libre d’un système oscillant amorti à un degré de liberté, l’amortissement étant induit par le contact frottant à l’étude. Ce nouveau tribomètre appelé *tribomètre oscillant* permet de discriminer les différentes contributions du frottement global : une contribution constante (modèle de Coulomb) et une contribution proportionnelle à la vitesse de glissement (modèle visqueux linéaire). Il est parfaitement adapté à la quantification des frottements ultra-faibles, en raison de sa très grande sensibilité intrinsèque [1,2].

Dans cet article, nous présenterons ce nouveau tribomètre, ses caractéristiques et son champ d’application. Sur cette base, nous montrons la capacité de l’appareil à décrire précisément des tribosystèmes réels. Les résultats obtenus dans le cas d’un contact acier-acier lubrifié par du glycérol seront présentés et discutés.

Références

- [1] Rigaud E., Perret-Liaudet J., Belin M., Joly-Pottuz L. and Martin J.M. “An original dynamic tribotest to discriminate friction and viscous damping“, *Tribology International*, 431 (2), pp. 320-329, 2010.
- [2] Majdoub F., Belin M., Martin J.M., Perret-Liaudet J., Kano M., Yoshida K. “Exploring low of lubricated DLC coatings in no-wear conditions with a new relaxation tribometer“, *Tribology International*, Volume 65, pp 278-285, 2013

Progrès de la vision *in-situ* dans le traitement d’essais de rayure de polymères transparents

L.Limol^{1,2}, H. Pelletier^{1,2}, D. Favier¹, L. Jacomine¹ et C. Gauthier¹

1. Institut Charles Sadron, UPR 22 CNRS, 23, rue de Loess, BP 84047, 67034 Strasbourg Cedex 2, France

2. INSA de Strasbourg, 24 boulevard de la Victoire, F-67084 Strasbourg, Cedex, France

MOTS CLES

Rayure, polymère transparent, analyse d’image.

RESUME

Depuis 2000, le comportement mécanique de surface de polymères, notamment leur résistance à la rayure, a été caractérisé à l’aide du développement de nouveaux outils d’analyse mécanique [1]. Au cours d’un essai de rayure, traditionnellement, on impose un effort normal (F_N), une vitesse de rayage (V) et on mesure l’effort tangentiel résultant (F_T) [2]. On peut ainsi calculer le coefficient de frottement apparent comme $\mu_{app} = \frac{F_t}{F_n}$. L’originalité de nos outils d’analyse mécanique repose sur le couplage de ces paramètres d’essai à de l’observation *in-situ* à tous les instants de la rayure (Fig. 1).

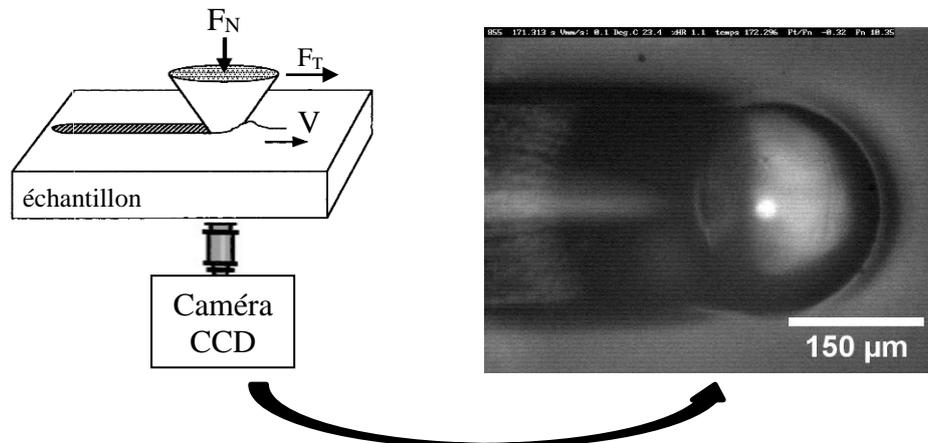


Figure 1: Schéma (à gauche) et cliché (à droite) du contact *in-situ* entre un PMMA lubrifié et un indenteur sphérico-conique en diamant de rayon 251 µm (vision à travers l’échantillon).

De cette manière, l’ensemble des paramètres expérimentaux (F_N , Vitesse et F_T) peut être corrélé à la morphologie réelle du contact. Cette observation *in-situ* du contact entre l’indenteur et la surface déformée se fait soit à travers l’indenteur, soit à travers l’échantillon. L’intérêt du montage expérimental est que les mesures *post-mortem* ne sont plus nécessaires car l’observation de la déformation de la matière sous la sollicitation mécanique est directe. Ainsi, les transitions de comportements [3] et les endommagements de systèmes revêtus peuvent être mieux compris [4]. A partir de grandeurs mesurées *in-situ*, nous calculons de manière précise des grandeurs mécaniques vraies tel que la pression moyenne de contact, la déformation moyenne et la vitesse de déformation moyenne sans être modèle dépendent.

L’évolution technologique des moyens optiques permet aujourd’hui d’obtenir des images de meilleure qualité (Fig. 2).

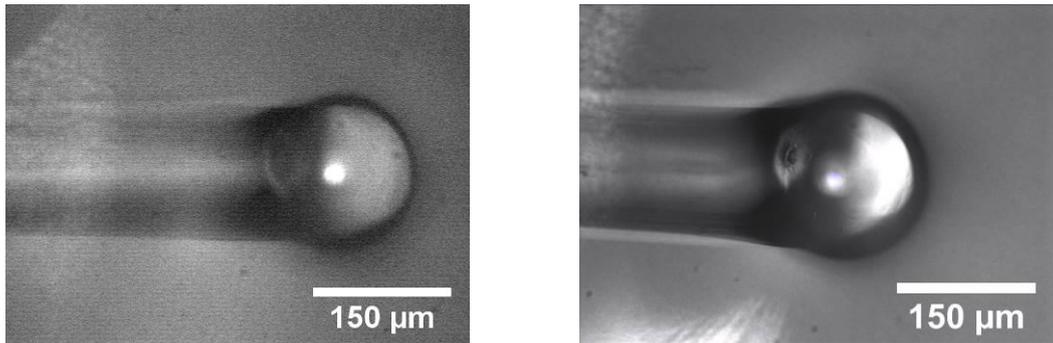


Figure 2: Clichés du contact *in-situ* entre un PMMA à sec et un indenteur sphéro-conique : (à gauche) image de l’ancienne caméra et (à droite) image de la caméra haute définition.

La diminution du bruit et un meilleur contraste de l’image permettent de visualiser clairement les bords du contact dont la partie arrière. Nos mesures des caractéristiques géométriques du contact sont alors plus précises. Ces nouvelles observations tel que le retour élastique à l’arrière ou le bourlet frontal, contribuent à la compréhension de la réponse dynamique des surfaces au cours du rayage. De plus, une nouvelle visualisation tridimensionnelle du contact réel, à l’aide des images, est proposée (Fig. 3).

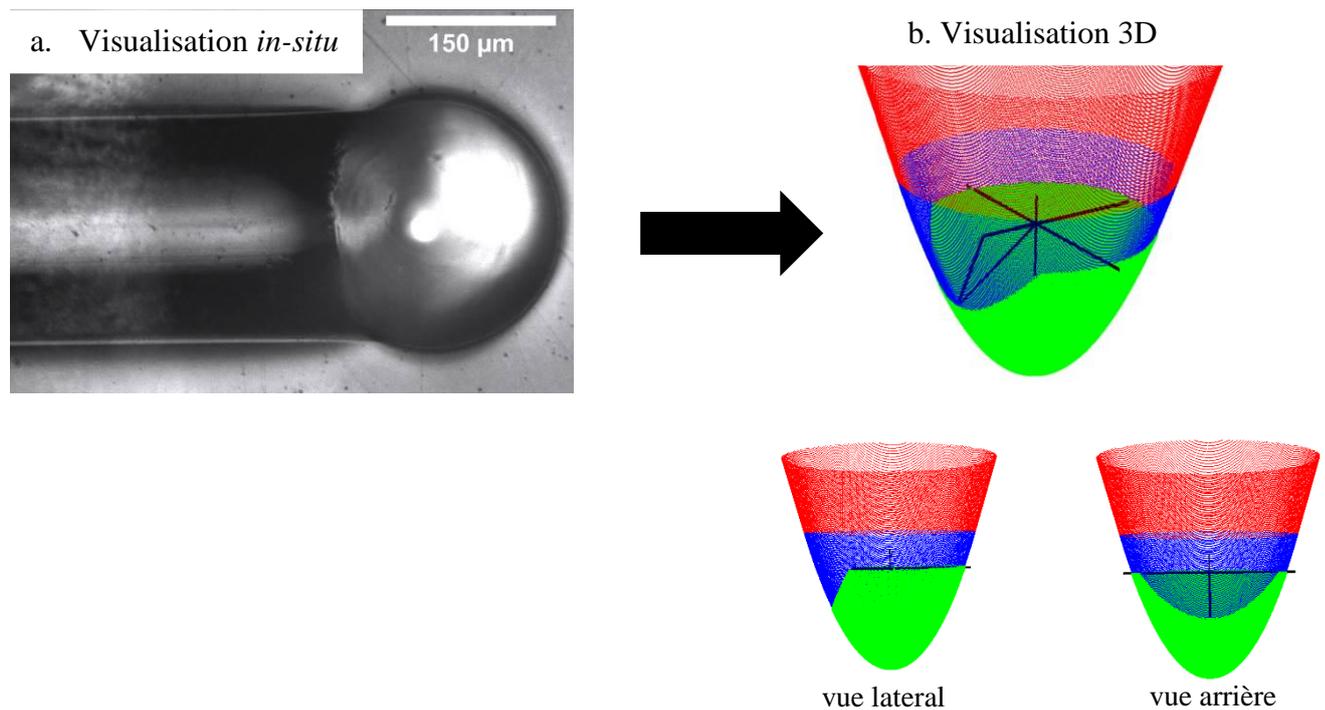


Figure 3: Image (a) et visualisations tridimensionnelles (b) du contact entre un PMMA lubrifié et un indenteur sphérique en diamant de rayon 251 µm.

Références

- [1] C. Gauthier, R. Schirrer (2000) « *Time and temperature dependence of the scratch properties of poly(methylmethacrylate)* », Journal of Materials Science, **35** (9), pp. 2121-2130.
- [2] H. Pelletier, T. Roland et C. Gauthier (2011) « *Multi-scale mechanical analysis of thin titanium layer on UHMWPE substrates for biomedical applications* », Engineering Procedia, **10**, pp. 2839-2844.

[3] H.Pelletier, A.-L. Durier, C. Gauthier et R. Schirrer (2008) « *Viscoelastic and elastic–plastic behaviors of amorphous polymeric surfaces during scratch* », *Tribology International*, **41**, pp. 975-984.

[4] C. Gauthier, A.-L. Durier, C. Fond et R. Schirrer (2006) « *Scratching of a coated polymer and mechanical analysis of a scratch resistance solution* », *Tribology International*, **39**, pp. 88-98.

Freinage : Suivi *in situ* de l’interface de contact à l’amorce du crissement

Edouard DAVIN a,b,c, Anne Lise CRISTOL a,b,c, Yannick DESPLANQUES a,b,c, Jean-François BRUNEL a,c, Martin DUBOC d, Philippe DUFRENOY a,c

a Univ. Lille, FRE 3723 - LML - Laboratoire de Mécanique de Lille, F-59000 Lille, France

b Centrale Lille, F-59000 Lille, France

c CNRS, FRE 3723, F- 59000 Lille, France

d Arts et Métiers ParisTech, F-59000 Lille, France

MOTS CLES

Distribution du contact, résistance électrique, mesure de champs de déplacements, amorce de crissement

INTRODUCTION

Le crissement en freinage est une problématique multi-échelle, impliquant le comportement du système complet, la dynamique des composants individuels, ainsi que l’interface de contact, où la somme des mécanismes de friction et d’usure locaux et transitoires dicte le comportement dynamique de l’interface frottante globale.

La surface portante est constituée de plateaux de contacts nombreux et de taille et propriétés physiques variées, qui sont créés, modifiés et détruits par les mécanismes d’usure et les débits de troisième corps. L’interface de frottement qui en résulte change les propriétés du contact, et peut mener à des situations crissantes. La connaissance des mécanismes activés à l’interface durant l’amorce des vibrations instables induites par le frottement est essentielle à la compréhension du phénomène de crissement. L’accès à cette connaissance est cependant entravé par plusieurs difficultés : La différence d’échelle entre les plateaux de contact locaux et l’interface globale, l’impossibilité de l’accès visuel et des mesures habituelles dans une interface glissante entre deux corps solides en contact fermé, ainsi que l’évolution de l’interface à différentes échelles de temps (vibration, transfert thermique, dynamique des mécanismes d’usure, etc.).

Cette présentation porte sur des méthodes mises au point pour acquérir *in situ* des données représentatives de l’état de l’interface frottante. Des essais ont été effectués sur un montage dédié à l’étude du crissement, sur lequel peut être utilisé un patin en matériau composite à base organique ou métallique, frottant à basse vitesse sur un disque en acier. Le système d’acquisition des données est constitué d’un microscope pointé sur la piste de frottement du disque après sortie du contact, d’un jeu d’électrodes dans le patin et le disque, permettant la circulation d’un courant électrique faible à travers l’interface afin d’utiliser la résistance électrique comme un marqueur de la nature du contact, ainsi que d’un dispositif de mesure des champs de déplacement sur une face latérale du patin, afin d’analyser les mouvements relatifs par corrélation d’image numérique.

Les données obtenues permettent de déduire des informations sur l’interface ainsi que son comportement dynamique, principalement en termes de distribution du contact et de configuration géométrique. Des hypothèses peuvent également être émises sur la nature physique du contact et son évolution.



JIFT 2017

29^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie
Tribologie dans l'Innovation Mécanique

17-19 mai 2017 Saint Ouen



cetim

SESSION 2

-

ASPECTS MULTIPHYSIQUES DU CONTACT



ETUDE DE LA RESISTANCE THERMIQUE DE CONTACT A L'INTERFACE DE SOLIDES CYLINDRIQUE A AXES PARALLELES -APPLICATION AUX RECHAUFFAGES PAR TRAÇAGE-

M. BEN ATTIA AIDOUDI¹, J. BESSROUR¹

1. Université de Tunis El Manar, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Laboratoire de Mécanique Appliquée et Ingénierie

MOTS CLES

Contact, traçage industriel, microgéométrie, surfaces cylindriques, thermomécanique

INTRODUCTION

La chute de température des fluides circulant dans des conduites industrielles n'est pas admissible dans le cas où le fluide change d'état à un certain seuil ou le process impose une température minimale de fluide. Pour pallier ce phénomène, différents dispositifs appelés systèmes de traçage ont été développés. Ces systèmes apportent une quantité de chaleur équivalente aux pertes thermiques dans le milieu ambiant. Bien entendu, "le tube traceur" qui est une source constante de chaleur est une technique industrielle utilisée pour résoudre ce problème. Il s'agit de disposer, le long de la tuyauterie à maintenir en température, un tube dans lequel circule un fluide caloporteur. Par conduction, il transmet de la chaleur à la tuyauterie. Le flux thermique établi dépend directement de l'état de surface et de la résistance thermique de contact (RTC) [1]. En raison de son imperfection, le champ thermique dans le voisinage immédiat de la génératrice de contact sera perturbé [2,3]. L'étude de La technique de traçage, nous conduit à l'étude de l'interface de contact.

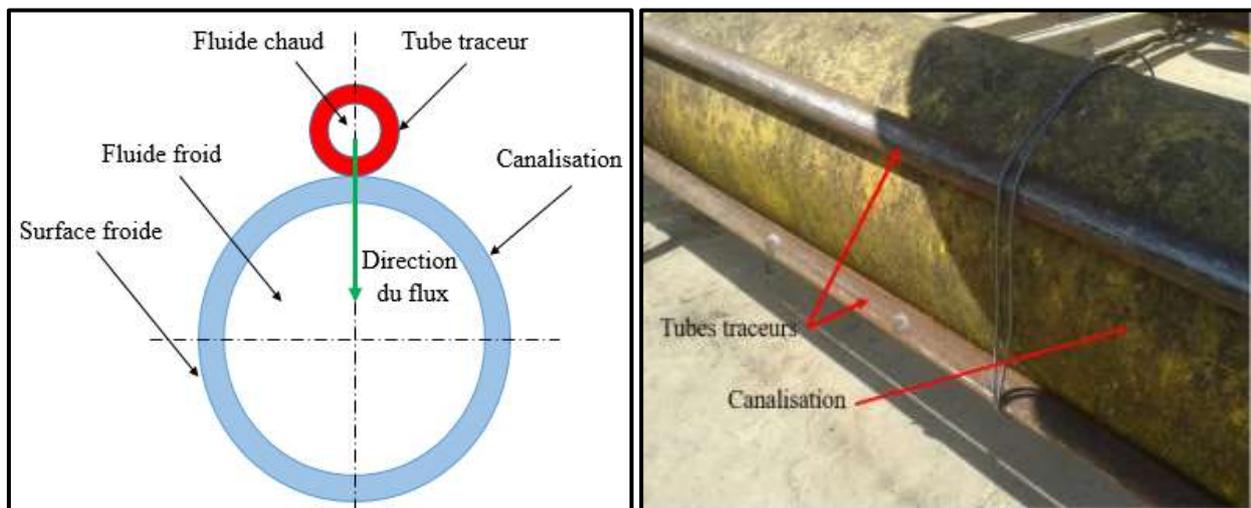


Figure 1: Le traçage industriel

Le présent travail est une étude, à une échelle microscopique, du contact imparfait entre deux surfaces, macroscopiquement cylindriques et aléatoirement rugueuses, afin d'estimer les paramètres décrivant le comportement thermomécanique à l'interface de contact, à savoir, la résistance thermique de contact (RTC), la pression de contact (P_r) et le taux réel de contact (r) ainsi que les déformations plastiques locales en fonction du chargement mécanique. Les deux cylindres, à axes parallèles sont en

contact suivant une génératrice extérieur. Les simulations sont menées sur des contacts élasto-plastiques statiques en régime stationnaire pour plusieurs rugosités différentes.

Références

- [1] J. P. Bardon, Thermique des interfaces (1991) : *Bases fondamentales, Domaines couverts*, Journée d'étude sur résistances de contact: récents développements- Aspect industriels nouveaux.
- [2] BARDON, J.P., CASSAGNE, B., FOURCHER, B., et al. (1971) *Bilan des principales recherches sur les résistances thermiques de contact*. Rapport D.E.T.B 7101, Entropie, n° 64, pp 1-34.
- [3] X. Zhang, P. Cong, S. Fujiwara, M. Fujii, *A new method for numerical simulation of thermal contact resistance in cylindrical coordinates*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 47, 1091-1098, (2004).

Pathologies articulaires: de la tribologie à la génétique

A-M. Trunfio-Sfarghiu¹, B. Munteanu, A. Hannoun, G. Ouenzerfi, M. Sava, N. Darragi, V. Massardier, L. Bostanet Y. Berthier¹,

1. Université de Lyon, CNRS INSA-Lyon, LaMCoS UMR5259, F-69621, France

MOTS CLES

Bio-tribologie, transmission des contraintes mécanique, repose génétique cellulaire, environnement physico-chimique

Les articulations synoviales sont des systèmes tribologiques parfaits car elles peuvent fonctionner plus de 80 ans. Cela est dû principalement à un processus d'équilibre des contraintes mécaniques, physicochimiques et biologiques activé pendant la période embryonnaire. Au centre de ce processus est la cellule cartilagineuse (chondrocyte) qui réagit aux contraintes en modifiant son génome pour favoriser la formation des différents tissus constitutifs de l'articulation. Ainsi lors des premiers mouvements embryonnaires le tissu cartilagineux qui initialement couvrait toute l'articulation se fissure en formant la cavité articulaire. La dépressurisation créée par cette fissuration apporte du liquide interstitiel vers la cavité articulaire ; les contraintes de circulation de ce liquide et la pression intra-articulaire vont générer des tissus bordant la cavité articulaire. D'autre part en même temps que le tissu cartilagineux se fragmente pour générer la cavité articulaire des vaisseaux sanguins « envahissent » le tissu cartilagineux en amorçant le processus de minéralisation et de formation de l'os. Ainsi la cellule cartilagineuse subit en même temps les contraintes tribologiques transmises coté cavité articulaire et les contraintes mécaniques de la circulation sanguine coté os ce qui lui fait synthétiser un milieu extracellulaire spécifique à chaque niveau de contrainte. Ainsi le tissu cartilagineux se structure en format plus de fibres résistantes au cisaillement sur la surface frottante, plus de gel résistant aux pressions hydrostatiques au centre de l'épaisseur du cartilage articulaire et plus de minéraux vers le contact avec l'os. De plus le contact cartilage articulaire / os est soumis à un processus continu de croissance et remodelage afin d'équilibrer les contraintes mécaniques tout au long de la vie. Ainsi, une fois formé l'articulation doit être sollicitée en continu pour transmettre à la cellule des contraintes tribologiques stables qui vont garantir l'homéostasie du tissu et le fonctionnement sain de l'articulation. Une répartition non isotrope des contraintes mécaniques aux cellules génère un renforcement de la synthèse des fibres protéiques dans la direction de la sur-contrainte ce qui génère une fibrose et un vieillissement précoce du cartilage. D'autre part, les changements nutritifs contribuent à changer la rhéologie du liquide synovial ce qui peut contribuer à stimuler les cellules de la cavité articulaire (synovioocytes) à synthétiser un liquide synovial inflammatoire, très mauvais lubrifiant déclencheur de l'usure de cartilage. De plus, on assiste actuellement à l'augmentation de pathologies génétiques vraisemblablement à cause de la présence des nanoparticules minérales apportées par la nutrition, la cosmétique ou l'usure des certains implants. Ainsi le nombre des pathologies ostéoarticulaires est en continue augmentation, cela représente environ 10% de l'ensemble des pathologies identifiées en France chaque année. Ces pathologies inflammatoires et dégénératives des articulations évoluent vers l'usure des cartilages, ce qui se traduit par un handicap sévère. Pour l'instant le seul traitement disponible pour réparer le tissu cartilagineux est la pose d'un implant articulaire (arthroplastie) ; néanmoins cette solution est provisoire vu les durées de vie limitée de ces implants (~ 10 ans, voir beaucoup moins). Cette inefficacité des traitements est due d'une part, à la difficulté de détecter précocement les premiers symptômes (tissu avasculaire et non innervé) et d'autre part, à une méconnaissance, due à une interaction forte entre les changements dans l'environnement tribologique et la réponse génétique.

Par conséquent, cet exposé se propose d'identifier les interactions entre les changements dans l'environnement tribologique d'une articulation synoviale et la réponse génétique cellulaire (chondrocyte ou synovioocyte) afin de comprendre l'enchaînement causes / conséquences conduisant aux pathologies articulaires et essayer de cibler la thérapeutique vers les vraies causes. On montre comment à partir d'expertises in vivo et des modèles bio-tribologiques ex vivo ou in vitro, il est possible de remonter à la cause d'une pathologie articulaire et modifier l'environnement tribologique pour favoriser la réponse génétique d'auto-réparation tissulaire.

PROPRIÉTÉS CONJUGUÉES DE PROCÉDÉS D'USINAGES D'OUTILS POUR GARANTIR LES PERFORMANCES EN ÉTANCHEITE

C. Bataille¹, R. Deltombe¹, A. Jourani² et M. Bigerelle¹

1. LAMIH UMR CNRS 8201 Le Mont Houy, Valenciennes cedex 9 F59313, France.

2. Laboratoire Roberval, Centre de Recherches de Royallieu BP2025, Compiègne cedex 60205 France.

MOTS CLES

Étanchéité, État de surface, Superfinition, Modélisation de contact, Joint à lèvres

INTRODUCTION

Des études précédentes ont analysé les contacts linéaires alternatifs entre un joint à lèvres et une tige. La majorité de ces études considèrent l'état de surface du joint et de la tige comme dépourvues d'aspérité jusqu'à ce que Kanters et Vissher [1] analysent l'impact de la rugosité du joint et de la tige sur le coefficient de frottement et prouvent que la rugosité de la tige a une influence significative sur la lubrification du joint. Cette étude se concentre alors sur la caractérisation de l'état de surface de la tige permettant l'étanchéité du contact coulissant.

DEMARCHE EXPERIMENTALE

Trois tiges d'acier sont usinées avec entre-pointe (UPE) et sans entre-pointe sous deux machines à outils différentes (USE et USF). Toutes les surfaces sont superfinies par usinage abrasif et un traitement PVD est effectué pour augmenter la résistance à l'usure. La pression du fluide est de 195 bars et l'air est de 6 bars. Le volume de fluide par cycle est de 25 cm³ (30 cycles / min). Le contact entre l'USF et le joint à lèvres en polyéthylène présente des fuites) tandis que le contact entre les tiges UPE et USE et le joint à lèvres en polyéthylène sont étanches aux fluides.

ANALYSE TOPOGRAPHIQUE

La fonction d'autocorrélation de la surface de la tige USE présente une ondulation avec une période spatiale quasi-périodique de 2mm et une amplitude élevée de 2µm (fig.1b). Cette onde correspond à la vibration due à l'alimentation de l'outil de coupe par topographie macroscopique et ne pouvait pas être soulignée par une analyse classique à l'échelle microscopique. Cette ondulation macroscopique perpendiculaire au mouvement de barre crée une barrière microscopique empêchant les fuites. Au contraire, les tiges UPE ne présentent pas cette ondulation macroscopique et les tiges USF présentent une ondulation de plus petite amplitude.

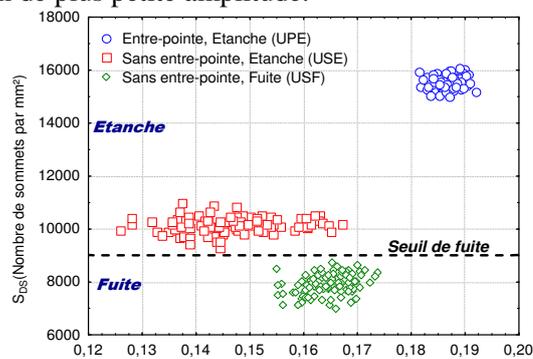


Fig.1 Paramètres S_{ds} et S_a pour chaque type de tige (USE, USF, UPE)

Une analyse des paramètres de rugosités de chaque type de tige est effectuée avec le logiciel Mesrug™ développé au sein de notre laboratoire a permis de discerner le paramètre le plus pertinent permettant de caractériser l’évènement fuite (fig.1).

Seul le paramètre Sds (Densité de pics), qui est un paramètre des motifs, nous permet de distinguer les tiges fuyantes des tiges étanches. La différence entre UPE et USF est due au nombre de pics qui est plus important pour les échantillons UPE qui créent la percolation plus importante évitant alors la fuite. Au contraire, le paramètre S_a (rugosité arithmétique moyenne), le paramètre de rugosité plus souvent utilisé pour caractériser l’état de surface ne permet pas de caractériser l’évènement fuite.

Afin de comprendre la différence d’étanchéité entre les tiges UPE, USE et USF, un modèle 3D élasto-plastique est appliqué pour déterminer les zones de contact sous charge [2]. Ainsi, pour une force macroscopique équivalente appliquée sur la surface, USE possède de nombreuses barrières due à une ondulation de grande amplitude perpendiculaires à la direction du mouvement de la tige (également mouvement du fluide) et possède une densité de pics importante conduisant à l’étanchéité (Fig.2b). Cependant, l’analyse topographique montre que l’UPE ne possède pas de barrière car pas d’ondulation mais possède une densité de pics plus importante que celle des deux autres types de tiges conduisant à l’étanchéité (Fig.2a). Pour finir, les tiges fuyantes possèdent une ondulation de plus faible amplitude et une densité de pics plus faible ce qui conduit à la fuite (fig. 2c).

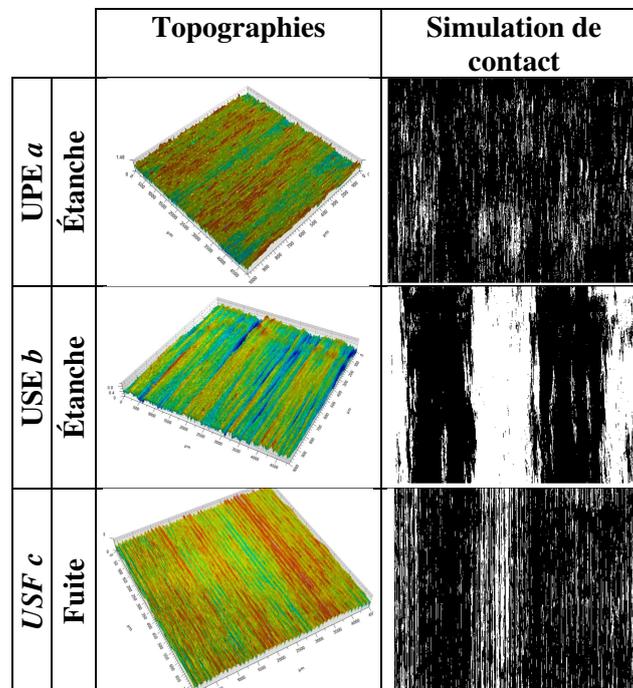


Fig. 2 Topographies et simulations de contact

CONCLUSION

Par conséquent, une topographie 3D circulaire est réalisée sur une tige. Sans entre-pointe, USE présente une bonne circularité contrairement aux tiges usinées sans entre-pointe. Ensuite, le scénario de fuite peut être: Une mauvaise circularité donne une grande possibilité de fuite (USF). Pour éviter les fuites avec une mauvaise circularité, on doit ajouter à la rugosité des ondulations avec le même ordre d’amplitude de circularité pour présenter des barrières macroscopiques pour empêcher les fuites. Finalement, pour assurer l’étanchéité d’une structure d’assemblage, une topographie 3D doit être utilisée, y compris les topographies d’ondulation et de rugosité.

REFERENCES

- [1] Kanters AFC and Visscher M 1989 *Tribology Series* vol 14, ed D Dawson, Cm Taylor, M Godet, and D Berthe (Amsterdam: Elsevier) pp 69–77
- [2] Jourani A, Hagée B, Bouvier S, Bigerelle M, and Zahouani H 2013 *Tribol. Int.* **59** 30–7

Impact de la composition des semelles de frein sur la résistance électrique du contact roue-rail

E. Chapteuil^{1,4}, C. Zeng², M. Renouf^{2,3} et Y. Berthier^{1,3}

1. LaMCoS CNRS/INSA-Lyon, France
2. LMGC, CNRS/UM, France
3. InTriG, France
4. Faiveley Transport Gennevilliers, France

MOTS CLES

DEM, contacts électriques, shuntage

INTRODUCTION

Sur le réseau ferroviaire, la localisation des trains est primordiale pour éviter tous risques d'accidents. Parmi les différentes méthodes de localisation, les mesures électriques sont encore utilisées. Elles consistent en l’envoi d’un courant électrique dans les rails par un émetteur jusqu’à un récepteur. Lorsqu’un train est présent, il se produit un court-circuit (shuntage) entre les roues du train et les rails, le train est ainsi localisé sur le réseau ferroviaire. Cependant, si des éléments néfastes à la conduction électrique sont présents entre roue et rail, le shuntage est perturbé et le train peut ne pas être localisé malgré sa présence [1]. Ce qui est plus particulièrement le cas lorsque les particules des semelles de frein sont piégées dans le contact roue-rail et viennent ainsi troubler son comportement mécano-électrique.

D’un point de vue tribologique, nous pouvons appréhender le contact roue-rail comme un triplet [2] où la roue et le rail désignent les premiers corps et où les particules de frein constitue le troisième corps, sans oublier le mécanisme qui maintient ces corps en contact. Le troisième corps possède alors un caractère hétérogène et discontinu qu’il est possible de modéliser grâce aux approches par éléments discrets (DEM) [3] (Figure1).

METHODOLOGIE

Parmi les différentes approches DEM, la dynamique des contacts non réguliers (NSCD) introduite par Moreau et Jean est utilisée, celle-ci est basée sur une intégration implicite de l’équation de la dynamique [4]. Dans ce travail, l’interface est représentée par une collection de particules considérées comme rigides. L’interaction entre ces particules est dirigée par une loi unilatérale cohésive. Grâce à cette loi, les particules sont maintenues en contact et une charge normale peut être transférée du 1^{er} corps supérieur au 1^{er} corps inférieur. Afin de modéliser le déplacement du train, une vitesse de cisaillement est appliquée sur le 1^{er} corps inférieur, ce qui engendre une force tangentielle pour les particules de 3^{ème} corps. Un coefficient de frottement peut alors en être déduit. De plus, une condition périodique est appliquée dans le sens du déplacement afin de représenter un contact infini [5].

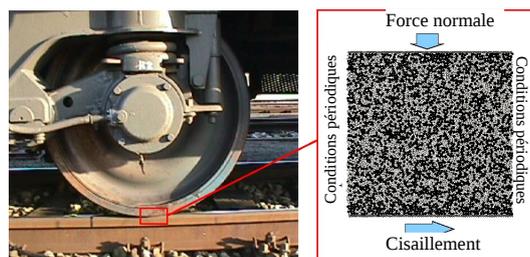


Figure 1: Modélisation du contact roue-rail

La conduction électrique, dans se modèle numérique, est basée sur les lois de Kirshoff et d’Ohm pour les principales. Chaque particule a une résistivité électrique qui lui est propre. On détermine alors une résistance équivalente à l’ensemble du 3ème corps. Le modèle électrique est basé sur le travail de Zeng & al et ne fonctionne que pour de faibles déformations des particules [5].

QUELQUES RESULTATS

Le 3ème corps est représenté par un ensemble biphasique comportant du graphite et du cuivre. Nous nous sommes intéressé à une interface comprenant diverses proportions de chacun des constituants (en terme de %) pour différentes vitesses de cisaillement, différents niveaux de frottement entre les particules (frottement local) ou encore différents niveaux de cohésion entre celles-ci.

Pour donner un exemple de résultats (Figure 2), nous avons représenté respectivement la résistance équivalente du 3ème corps et le frottement global suivant la proportion de cuivre pour 3 valeurs de frottement local entre particules. Dans ce cas, les résultats sont particulièrement intéressants pour l’évolution du frottement, en effet, on peut supposer qu’il existe une valeur critique de cuivre pour laquelle la résistance électrique et le frottement sont simultanément minimisés.

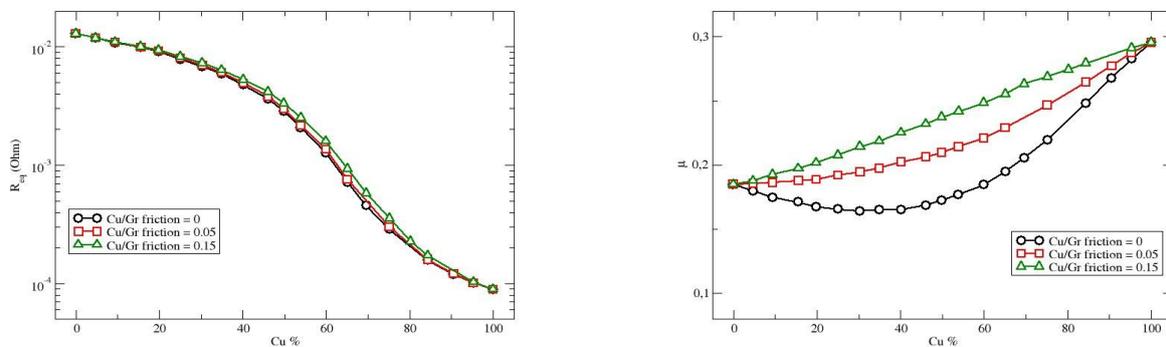


Figure 2: Exemple de résultats

D’autres résultats, en terme de frottement ou de cohésion, se sont avérés être intéressants pour apporter des éclaircissement quant à la faisabilité d’un bon shuntage.

CONCLUSION

Des études numériques d’une couche de troisième corps hétérogène ont été réalisées et analysées d’un point de vue mécanique et électrique. Les différents résultats montrent que la constitution d’une telle interface a un impact important sur ses caractéristiques électriques et mécaniques. Cette étude est complétée par des résultats croisant simultanément variation de la cohésion et friction locale et en effectuant une analyse plus profonde des résultats de la simulation. L’analyse d’une interface oxydée sera également menée.

REFERENCES

- [1] F. Houzé, H. Chollet (2012) « *Electrical behaviour of the wheel-rail contact* », 26th International Conference on Electrical Contacts.
- [2] M. Godet (1990) « Third bodies in tribology » *Wear*, 136, 29-45.
- [3] M. Renouf (2015), HDR.
- [4] M. Jean (1999) « The non-smooth contact dynamic method », *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 177, No 3-4, 235-257.
- [5] C. Zeng, M. Renouf (2016), « Electrical transmission ability of a shearing powder layer », *Granular Matter*.

CORRELATIONS ENTRE SIGNATURES TRIBOLOGIQUES, ELECTRIQUES ET ACOUSTIQUES EN FRETTING USURE

Alberto BENITEZ*, Jean-Yves PARIS, Jean DENAPE

Université Fédérale de Toulouse – Laboratoire Génie de Production, Ecole Nationale d’Ingénieur de Tarbes – 47 Avenue d’Azereix BP1629, 65016 Tarbes – France

* *alberto.benitez@enit.fr* ; +33 06 95 26 02 33

MOTS CLES

Fretting, usure, contact électrique, émission acoustique, substrats cuivreux

RESUME

Le fretting concerne la plupart des contacts mécaniques (liaisons quasi statiques) affectés de mouvements relatifs, cycliques de faible amplitude, induits par des ambiances vibratoires ou par des contraintes thermiques. Dans la connectique embarquée, la dégradation d’un connecteur électrique se caractérise par l’augmentation irréversible de sa résistance électrique de contact, conséquence de la présence de films d’oxydes empêchant le passage de courant [1-3]. L’influence des paramètres opératoires qui contrôlent la sollicitation de fretting, sur la durée de vie du contact électrique, ou endurance électrique, a été largement étudiée [4-7].

Toutefois, les travaux dans ce domaine sont principalement orientés vers l’étude de solutions palliatives (revêtements conducteurs nobles et non nobles) [7,8] ou vers l’introduction d’un lubrifiant (troisième corps) [9,10] capable de retarder la perte inéluctable de la conductivité électrique. De plus, lorsque les caractérisations *post mortem* des dégradations ont fait l’objet d’analyses approfondies, en particulier physicochimiques, et que les mécanismes responsables de la perte de conductivité sont bien établis, la dynamique de l’interface et la rhéologie du troisième corps restent encore peu exploitées. Comme il est impossible de visualiser le contact, in situ, une solution intéressante est d’écouter les signaux acoustiques générés par le système frottant [11]. Ainsi, l’émission acoustique constitue un outil intéressant pour le tribo-diagnostic [12].

Dans le travail présenté, cinq paramètres acoustiques (amplitude des salves, énergie absolue, émissivité (nombre de salves), nombre de coupset fréquence du centroïde) ont été exploitées pour étudier le comportement d’un couple d’alliage cuivreux (CuSn6-CuSn6) sollicité en fretting [13], en faisant varier quatre paramètres opératoires (amplitude de débattement, charge normale, fréquence d’excitation et intensité du courant de mesure). Dans les conditions étudiées, des corrélations ont pu être identifiées entre les réponses tribologiques, électriques et acoustiques (figure 1). Ainsi, l’apparition d’un troisième corps formé de débris électriquement isolants et la perte consécutive de conductivité du contact peuvent être détectées en temps réel par un accroissement de l’émissivité, de l’amplitude acoustique et par le changement de pente apparaissant sur les enregistrements de l’énergie acoustique absolue cumulée. De plus, cette perte de conductivité électrique est associée à l’apparition d’une nouvelle population de salves acoustiques présentant des caractéristiques différentes (fréquence du centroïde nettement plus faible et durée des salves supérieures), suggérant qu’un nouveau mécanisme a été activé dans le contact. Or, dans les scénarios d’endommagement proposés dans la littérature [5] deux effets sont associés au passage d’un courant dans un contact soumis à du fretting : un accroissement du taux d’oxydation (dû à l’effet Joule) et l’apparition de phénomène de claquage au sein de la couche oxydée formée. Ainsi, l’ensemble des résultats, associé à l’observation des faciès

d’usure et à l’oxydabilité du métal, suggère que l’activité acoustique caractéristique lors de la constitution des couches d’oxydes soit associée à l’apparition de phénomènes de micro-claquage.

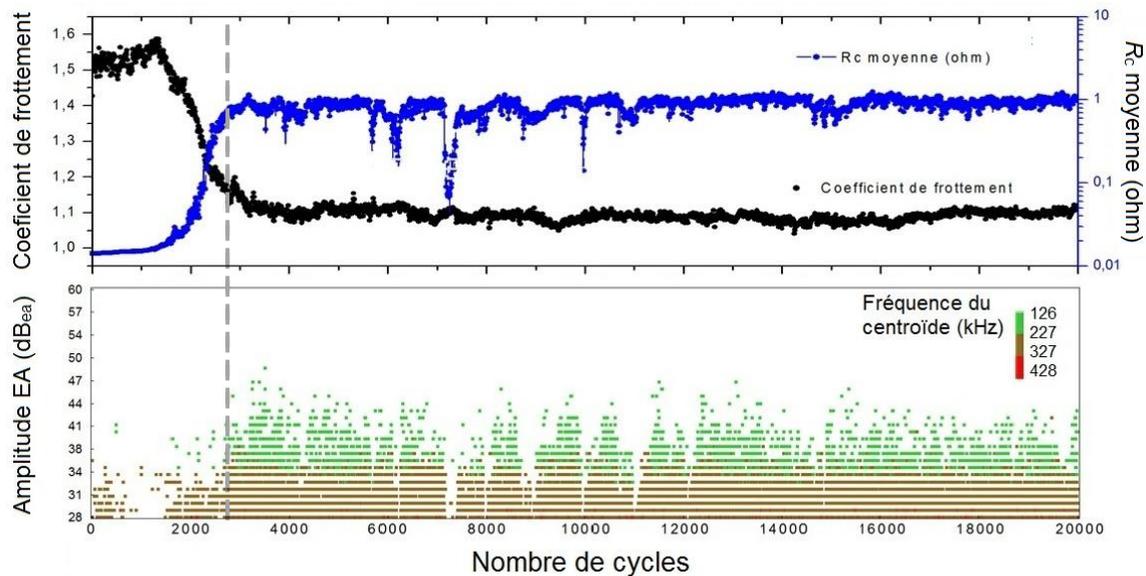


Figure 1: Correlations entre la résistance électrique du contact R_c , le coefficient de frottement μ et l’amplitude acoustique des EA, en fonction du temps (essais en couple CuSn6- CuSn6 à $\delta_i = \pm 15 \mu\text{m}$, $F_N = 1 \text{ N}$, $f = 10 \text{ Hz}$, $I = 500 \text{ mA}$).

Références

- [1] ANTLER M., Contact fretting of electronic connectors, *IEICE Transactions on Electronics* 82, pp. 3-12, 1999.
- [2] Van DIJK P., RUDOLPHI A., KLAFFKE D., Investigations on electrical contacts subjected to fretting motion; *Proc. of the Int. Conf. on Electrical Contacts (ICEC)*, Zurich, pp. 1-7, 2002.
- [3] CORREIA S., Étude des propriétés électriques, tribologiques et physico-chimiques de revêtements étamés pour des applications en connectique automobile, Thèse de doctorat, Université Paris 11, 2009.
- [4] HANNEL S., FOUVRY S., KAPSA P., VINCENT L., The fretting sliding transition as a criterion for electrical contact performance. *Wear* 249 (9), pp. 761-770, 2001.
- [5] PARK Y. W., SANKARA NARAYANAN T. S. N., LEE K. Y., Fretting corrosion of tin-plated contacts, *Tribology Int.* 41, pp. 616-628, 2008.
- [6] PARK Y. W., BAPU G. N. K. R., LEE K. Y., The influence of current load on fretting of electrical contacts. *Tribology Int.* 42 (5), pp. 682-689, 2009.
- [7] REN W., WANG P., SONG J., ZHAI G., Effects of current load on wear and fretting corrosion of gold-plated electrical contacts, *Tribology Int.* 70, pp. 75-82, 2014.
- [8] FOUVRY S., JEDRZEJCZYK P., CHALANDON P., Introduction of an exponential formulation to quantify the electrical endurance of micro-contacts enduring fretting wear: Application to Sn, Ag and Au coatings, *Wear* 271, pp. 1524-1534, 2011.
- [9] TAMAI T., SAWADA S., HATTORI Y., Peculiar phenomenon in friction coefficient of tin plated connector contacts with application of lubricant, *57th IEEE Holm Conf. on Electrical Contacts*, pp. 1-7, 2011.
- [10] NOËL S., LECAUDE N., ALAMARGUY D., TRISTANI L., Lubrication mechanisms of hot-dipped tin separable electrical contacts, *Proc. of the 47th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*; pp. 197-202, 2001.
- [11] YAHIAOUI M., PARIS J.-Y., DENAPE J., Correlation between acoustic emission signals and friction behavior under different sliding configurations and materials pairs, *Key Engineering Materials* 64, pp. 21-28, 2015.
- [12] BARANOV V. M., KUDRYAVTSEV E. M., SARYCHEV G. A., SCHAVELIN V. M., *Acoustic emission in friction* 53, Elsevier, 2011.
- [13] BENITEZ A., Dynamique en fretting : influence du type d’asservissement et apport de la technique d’émission acoustique, Thèse de doctorat, Université Fédérale de Toulouse, 2016.

BESOINS TRIBOLOGIQUES DANS LES INNOVATIONS POUR L’INDUSTRIE MECANIQUE

CONFERENCE INVITEE

Pierre CHALANDON

Cetim, Saint-Etienne

Responsable du Pôle Ingénierie Des Assemblages (IDA)

pierre.chalandon@cetim.fr

RESUME

L’industrie mécanicienne est présente dans l’ensemble des secteurs industriels et des marchés, de sorte que les enjeux techniques et sociétaux sont multiples.

Nous pouvons citer l’allègement et l’efficacité énergétique dans le secteur des transports terrestres et aériens, la fiabilité et l’augmentation des durées de vie dans l’énergie ou la diminution de l’empreinte écologique des produits et des process. Ainsi, les modes et procédés de fabrication, au cœur de l’industrie du futur, devront être plus robustes, agiles et polyvalents, et les produits maintenables et recyclés. In fine, l’industrie sera centrée sur l’humain, compétitive et flexible.

La tribologie est présente dans quasi l’ensemble des axes d’innovation implémentés pour répondre à ces enjeux majeurs.

Nous pouvons citer la réduction des frottements dans les moteurs, leur maîtrise dans les procédés de fabrication en métallurgie ou plasturgie, avec des surfaces fonctionnalisées, texturées et additivées pour satisfaire à la double équation rendement et durabilité. Il est en de même dans les procédés d’assemblages notamment multimatériaux, qu’ils soient chimiques, mécaniques et thermiques.

L’industrie a besoin d’interfaces étanches, de surfaces favorisant les écoulements fluidiques ou gazeux, de systèmes mécaniques résistant au pitting, au fretting ou bien à l’usure abrasive.

La tribologie devra intégrer les nouveaux matériaux et procédés associés, les nouvelles chimies, les contraintes économiques, et la temporalité de développements toujours accélérés.



JIFT 2017

29^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie
Tribologie dans l'Innovation Mécanique

17-19 mai 2017 Saint Ouen



SESSION 3

-

TRIBOLOGIE DES COMPOSANTS MÉCANIQUES



Amélioration de la connaissance tribologique du système bielle – axe de piston

Y Gachon, A Muller, L Abmeseleleme, P. Maurin Perrier

IREIS département tribologie, Avenue Benoit Fourneyron, CS 42077, 42162 Andrézieux Bouthéon cedex2. Affiliation Auteur2

3. Affiliation Auteur3

Le système tribologique bielle-axe de piston n’est pas d’une approche facile. Les données tribologiques de départ ne sont pas forcément bien figées. (la cinématique de l’axe n’est pas forcément déterministe). Pourtant il y a un réel enjeu pour les constructeurs à diminuer les pertes par frottement ainsi que l’usure dans ce système.

IREIS a travaillé sur la mise au point de méthodes d’essais simples afin de cribler les différents revêtements

Un moyen d’essai spécifique a été développé. Il permet de réaliser des essais orientés soit frottement, soit usure sur le couple axe-bielle en mettant en évidence les différents facteurs qui vont influencer le comportement de l’axe.

MOTS CLES

Banc d’essai, Bielle, Axe de Piston, Frottement, Usure, DLC, Rugosité

Le système tribologique bielle-axe de piston n’est pas d’une approche facile. Les données tribologiques de départ ne sont pas forcément bien figées. (la cinématique de l’axe n’est pas forcément déterministe). Pourtant il y a un réel enjeu pour les constructeurs automobiles à diminuer les pertes par frottement ainsi que l’usure dans ce système.

IREIS a travaillé sur la mise au point de méthodes d’essais simples afin de cribler les différents revêtements. Ce travail a d’abord porté sur la recherche de méthodes simples qui présentent de nombreux inconvénients. Un protocole de test a été développé sur un banc d’essai présentant une cinématique approchée. Mais la nécessité de travailler avec une lubrification maîtrisée a conduit à développer un moyen d’essai spécifique.

Le banc d’essai développé permet de réaliser des essais orientés soit frottement, soit usure sur le couple axe-bielle en mettant en évidence les différents facteurs qui vont influencer le comportement de l’axe.

Sur ce moyen d’essai, les facteurs susceptibles d’intervenir dans le système tribologique ont pu être étudiés : pression, vitesse, température, rugosité et topographie des surfaces, nature du lubrifiant.

Caractérisation morphologique multi-échelle de l'usure de plaquettes de frein automobile

L. Coustenoble¹, J. Kim², R. Deltombe¹, F. Massa¹, T. Tison¹

*1. LAMIH UMR-CNRS 8201, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis
Le Mont Houy, 59313 Valenciennes Cedex 9, France*

2. HYUNDAI MOTORS GROUP

150 Hyundaiyeonguso-ro, Namyang-eup, Hwaseong-si, Gyeonggipostal-do, 18280, Korea

MOTS CLES

Morphologie, Rugosité, Analyse multi-échelle, Freinage

INTRODUCTION

Lors du dimensionnement d'un système de freinage, la géométrie de la garniture est modélisée classiquement avec une surface de contact plane. Hors dans la réalité la surface des garnitures des plaquettes présente une morphologie fortement hétérogène et stochastique. Cette hétérogénéité provient, directement de la constitution et du mode de fabrication de ces dernières. De plus, en service, les garnitures de frein s'usent progressivement. Il en résulte une modification continue de la surface de la plaquette tout au long de sa vie en service.

L'objectif de ce travail était de mettre en place une méthode de caractérisation de la surface des plaquettes de frein, afin de caractériser, la morphologie d'une part à grande échelle (l'échelle de la plaquette) et d'autre part à plus petite échelle (l'échelle de la rugosité).

STRATEGIE EXPERIMENTALE

Pour notre étude nous avons à disposition trois jeux de quatre plaquettes utilisées dans le système de freinage du train de roues de devant d'un véhicule. Un jeu constitué de plaquettes neuves. Les deux autres jeux sont issus de tests réalisés chez Hyundai Motors. La procédure est inspirée du test standardisé SAE J2521 (Disc and Drum Brake Dynamometer Squeal Noise Test Procedure). Le nombre de freinage est de 400 pour le premier jeu et de 2600 pour le second jeu de plaquettes testées.

Pour la morphologie à grande échelle, un système optique à variation de focus (InfiniteFocus, Alicona™) a été utilisé à faible grossissement (x5). Cet appareil nous a permis de mesurer la morphologie sur une grande surface : typiquement, une demi plaquette (29 cm²). Cette surface est reconstruite par assemblage d'images avec chevauchement. Cette méthode de reconstruction d'image est appelée "stitching".

Pour la rugosité à petite échelle, nous avons effectué les mesures sur un interféromètre en lumière blanche (NewView7300, Zygo™). Un grossissement 5 fois plus important qu'en variation de focus a été utilisé. Sur chaque plaquette nous avons mesuré dix-huit zones de 5x5 mm² constituées chacune de 30x22 images individuelles se chevauchant (méthode de "stitching"). Les surfaces ont été choisies pour quadriller d'une façon homogène la plaquette.

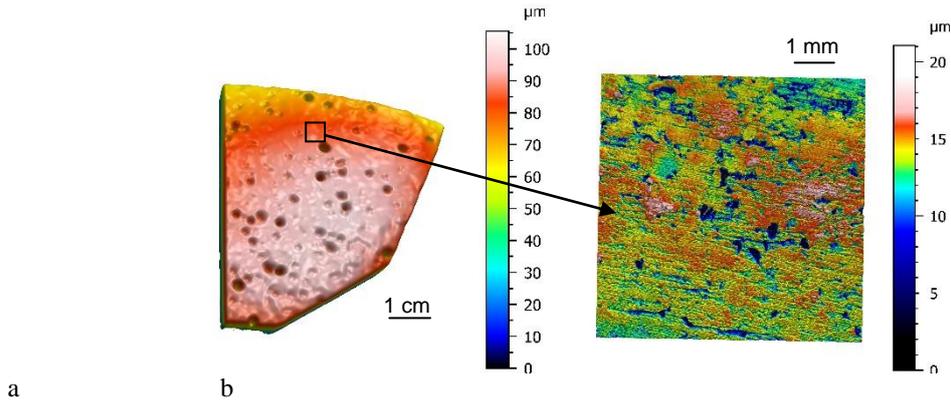


Figure 1: Morphologie d'une plaquette usée (400 freinages).

(a) Large échelle (Alicona)

(b) Grande définition (Zygo)

CONCLUSION

La morphologie des plaquettes de frein a été caractérisée à plusieurs échelles. La figure 1 montre la morphologie typique pour une plaquette usagée. Une analyse multi échelle des paramètres de rugosité a été menée à l'aide du logiciel développé en laboratoire : MesRug Data System. Ces deux analyses ont permis d'appréhender les différences observées entre plaquettes neuves et usées au regard des mécanismes d'usure d'une part. Mais également au regard de la relation propriétés de surface et propriétés de service des plaquettes de frein d'autre part.

REMERCIEMENTS

Ces travaux s'inscrivent dans les thèmes de la Fédération de Recherche CNRS Transports Terrestres & Mobilité, en articulation avec le projet ELSAT2020 cofinancé par l'Union Européenne, le Ministère de l'Éducation Nationale de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et la Région Hauts de France, dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région 2015-2020. Les auteurs remercient le support de ces institutions.

INSTABILITÉS DE FROTTEMENT D’ORIGINE TRIBOLOGIQUE DANS UN CONTACT HUMIDE ENTRE UNE COURROIE POLY-V ET UNE POULIE

S.Gatignol^{1,2*}, T.Demassougne², A. Le Bot¹

1. Laboratoire de Tribologie et de Dynamique des Systèmes (LTDS), Écully, FRANCE

2. Hutchinson SNC, Joué-lès-Tours, FRANCE

MOTS CLES

Courroies poly-V, Instabilités de frottement, étude expérimentale

INTRODUCTION / RÉSUMÉ

Les phénomènes d’*instabilités* décrivent les changements et pertes d’équilibre d’un système dynamique. Ils s’accompagnent souvent du passage à un état vibratoire nocif. La variation des conditions de frottement sont une origine classique des pertes de stabilité, le terme d’*instabilités de frottement* est alors utilisé.

Ces phénomènes apparaissent fréquemment dans les automobiles [1]. Le bruit de crissement émis par les courroies poly-V accessoires des faces avant moteur en est un exemple. Il peut être assimilé par les usagers à un signe de la mauvaise qualité de leur véhicule ce qui justifie la nécessité de le supprimer. Les instabilités de frottement ont été utilisées pour expliquer le cas du crissement dans un contact sec entre la poulie et la courroie [2]. Dans le cas d’un contact humide, les travaux sont moins nombreux et n’ont pas permis la résolution du problème industriel [3,4].

Dans cette étude, le développement d’un banc d’essais spécifiques a permis la reproduction du phénomène. Les domaines d’instabilités observés ont mis en évidence l’influence des revêtements des courroies, dont les coefficients de frottement statique et dynamique ont été déterminés expérimentalement. Ils ont été associés à l’apparition, au niveau du contact entre la poulie et la courroie, de phénomènes d’instabilités liés à la transition entre un régime sec et lubrifiés (amortissement négatif) et à la transition statique dynamique (stick-slip).

DESCRIPTION DU BANC D’ESSAIS

Afin d’étudier les instabilités de frottement à l’origine du crissement des courroies poly-V, un banc d’essais a été développé. Il reproduit le contact entre la poulie et la courroie, nécessaire à l’apparition de l’instabilité. L’originalité provient du maintien statique de la courroie qui est fixée entre 2 capteurs de tension. La vitesse de rotation de la poulie est contrôlée et donne accès à la vitesse de glissement entre la courroie et la poulie. L’alimentation en eau est assurée par une pompe péristaltique et le son est enregistré à l’aide d’un micro. Le coefficient de frottement à l’interface est mesuré par l’utilisation de la formule d’Euler

$$\frac{T_t}{T_s} = e^{\frac{\mu \alpha}{\sin \beta}}$$

où μ est un coefficient de frottement moyen sur tout le contact, T_t et T_s les tensions respectives dans les brins tendus et mous, α l’angle d’enroulement (l’angle de contact) et β le demi angle de la gorge de la poulie.

PROPRIÉTÉS TRIBOLOGIQUES DES COURROIES

Les courroies poly-V possèdent différents types de revêtement qui influencent l’occurrence du crissement. Les coefficients de frottement statiques et dynamique ont été déterminés pour chacun d’entre eux sur le banc d’essais de la section précédente.

Les coefficients de frottement dynamiques décroissent pour une vitesse de glissement croissante de manière plus ou moins forte en fonction des revêtements. Les coefficients de frottement statique ont été mesurés lors d'essais de mise en rotation de la poulie. La complexité réside dans le fait de ne disposer que de mesures globales sur l'arc de contact car possiblement les conditions de glissement et de frottement n'y sont pas en tous points identiques. Un pic de force du frottement est observé, il augmente lorsque la poulie est mise en rotation plus brusquement. Les coefficients de frottement statiques sont aussi dépendants du type de revêtement.

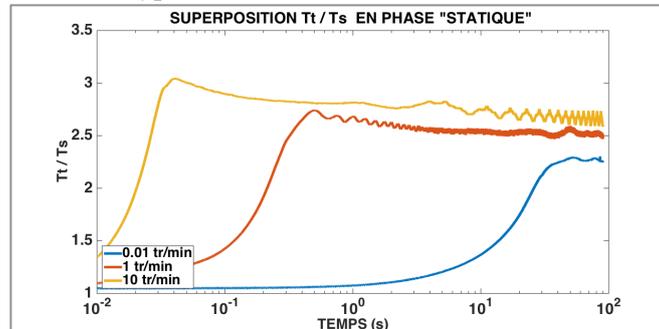


Figure 1: Évolution du rapport de tension au cours du temps au moment de la mise en rotation de la poulie, pour différentes vitesses de rotation

Ces résultats ont été comparés avec les coefficients de frottement obtenus via une mesure des forces normales et tangentielles dans un contact entre un échantillon de dents et un disque plat.

APPARITION DES INSTABILITÉS DE FROTTEMENT D'ORIGINE TRIBOLOGIQUE

La correspondance entre les propriétés tribologiques et l'apparition du crissement montre que la pente du coefficient de frottement n'est pas un bon indicateur. Les pentes les plus importantes et le passage en régime mixte ne correspondent pas au lieu d'apparition du bruit.

Un phénomène de stick-slip a été observé pour un type de revêtement et le lien avec les propriétés tribologiques établis. Les prochains travaux consistent à utiliser une loi modèle pour évaluer et comparer avec l'expérience l'amplitude du cycle limite et la vitesse critique d'apparition du phénomène.

CONCLUSION

Les travaux présentés ont permis la reproduction sur un banc d'essais instrumenté du phénomène de crissement des courroies poly-V en présence d'humidité. L'apparition de l'instabilité à l'origine du crissement est dépendante du revêtement de la courroie. Les coefficients de frottement statiques et dynamiques ont été mesurés sur le montage avec poulie et ont été mis en perspective avec les instabilités de frottement liés d'une part à la transition régime sec – régime lubrifié et d'autres parts à la transition régime statique- régime dynamique avec la présence d'une phase collée.

Références

- [1] A. Elmaian (2013) « *Méthodologie de simulation des bruits induits par le frottement* », PhD Thesis
- [2] G. Sheng, L. Brown, K. Liu, V. Otremba, J. Pang, M.S. Qatu, R.V. Dukkipati (2007) « *Chirp, squeal and dynamic instability of misaligned v-ribbed belts in automotive accessory belt drive systems* », Int. J. Vehicle noise and Vibration, **3**(1), pp. 88-105
- [3] G. Sheng, L.D. Miller, L. Brown, V. Otremba, J. Pang, M.S. Qatu, R.V. Dukkipati (2006) « *Wet belt friction-induced instability and noise in automotive accessory belt drive systems* », Int. J. Vehicle noise and Vibration, **2**(3), pp. 245-265
- [4] G. Sheng, M.S. Qatu, R.V. Dukkipati, J. Zhu (2009) « *Belt wet friction and noise study* », SAE Paper



JIFT 2017

29^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie
Tribologie dans l'Innovation Mécanique

17-19 mai 2017 Saint Ouen



SESSION 4

-

FRETTING



Modèle énergétique R_p , R_f formalisant les fluctuations de la force normale et les effets de l’environnement sur la cinétique d’usure par fretting.

E. Marc^{1,2}, S. Fouvry^{2,*}, H. Maitournam³ et C. Phalippou¹

1. Den-SEMT, CEA, université Paris-Saclay, F-91191, Gif-Sur-Yvette, France

2. LTDS, ECL, Université de Lyon, 69134 Ecully Cedex, France, * siegfried.fouvry@ec-lyon.fr

3. IMSIA, ENSTA ParisTech, CNRS, CEA, EDF, Université Paris-Saclay, 91762 Palaiseau, France

MOTS CLES

Fretting, Approche énergétique, Fluctuations de la charge normale

INTRODUCTION

Au sein des réacteurs nucléaires à eau pressurisée, des dégradations tribologiques surviennent entre les crayons des grappes de contrôle et leurs cartes de guidage. Le rôle de ce système mécanique soumis à des vibrations, est de piloter la puissance d’un réacteur nucléaire et de le stopper en cas d’incident majeure. L’étude présentée ci-après étudie l’usure des cartes de guidage induite par fretting sous chargements complexes.

METHODOLOGIE

Un banc d’essai de fretting constitué de deux pots vibrants pilotés indépendamment permet d’étudier l’effet des fluctuations de l’effort normal durant un glissement de fretting. Utilisant ce moyen, la réponse de l’usure engendrée par fretting d’un cylindre nitruré en 316L frotté contre un plan en 304L a été analysée dans deux environnements (en air et en solution lithium-bore – équivalence REP à l’ambiante).

Les fluctuations de la force normale, défini par le ratio $R_p = P_{\min} / P_{\max}$ [1], combinées au rapport de fréquences, défini par le ratio $R_f = f_{\text{fretting}} / f_{\text{impact}}$, ont été étudiées (Fig. 1). L’évolution des endommagements des surfaces et des sous-couches ont été suivies et analysées via différentes techniques d’analyses (MEB, EDS, EBSD et profilométrie 2D & 3D).

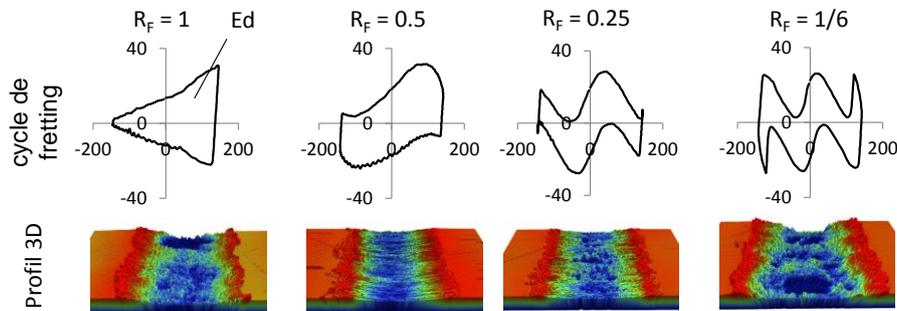


Figure 1: Evolution des cycles de fretting, de la carte EDS représentant l’oxygène et du profil 3D avec R_f pour un contact sec.

RESULTATS ET DISCUSSION

Afin de quantifier le volume d’usure (V), un modèle d’usure énergétique R_p - R_f a été introduit tel que $V = \alpha^* \times \Sigma Ed$ où $\alpha^* = R_p^\eta \times R_f^\omega \times \alpha$, avec α le coefficient énergétique d’usure obtenu lorsque $R_p = R_f = 1$ (condition de fretting simple) et ΣEd l’énergie de frottement dissipée cumulée (somme des aires des cycles de fretting). Cette nouvelle description nous permet de tenir compte à la fois du travail du frottement et des fluctuations de la force normale en amplitude (R_p) et en fréquence (R_f).

Pour les contacts secs, les exposants η et ω trouvés sont de même valeur mais de signes opposés ($\eta_{\text{air}} = -\omega_{\text{air}} = 0.15$). La réactivité du milieu ambiant est prise en compte via les exposants η et ω .

Les faibles valeurs trouvées suggèrent que la cinétique d’usure est majoritairement contrôlée par le travail du frottement et peu affectée par les fluctuations de la force normale, et donc de l’environnement (Fig. 2).

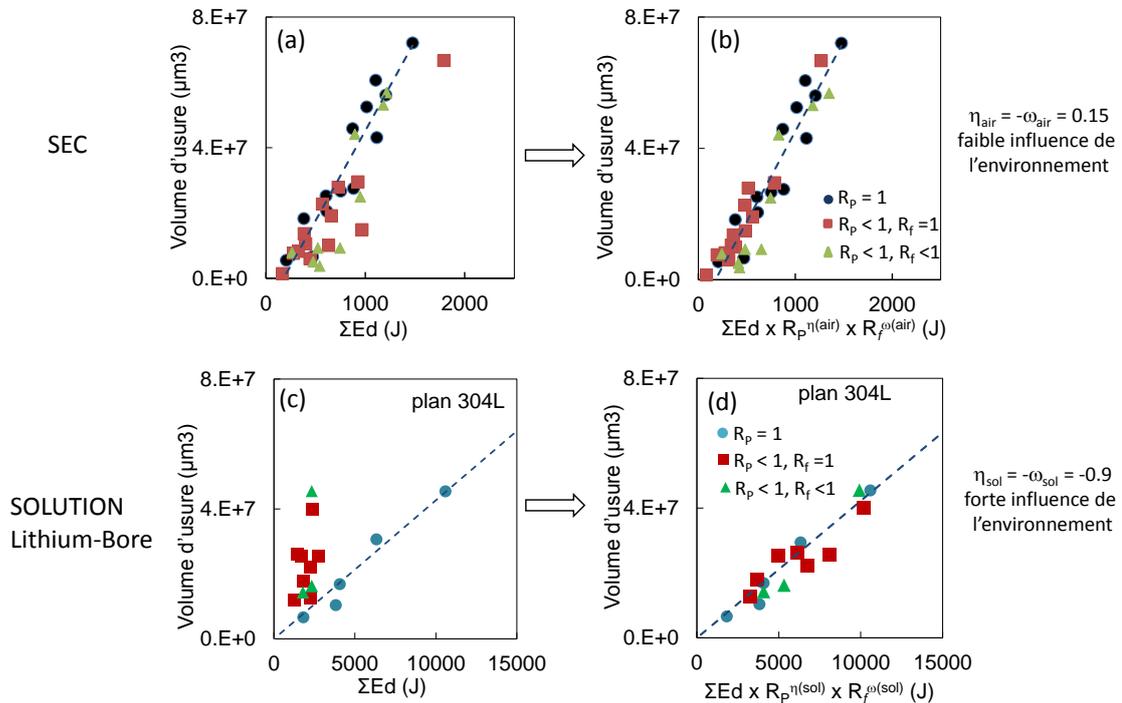


Figure 2: Evolution du volume d’usure V en fonction (gauche) de l’énergie cumulée et (droite) de l’énergie effective cumulée $R_p - R_f$ pour un contact sec (a et b) et en solution (c et d).

De même pour les essais menés en solution il a été trouvé que $\eta_{\text{sol}} = -\omega_{\text{sol}} = -0.9$. La valeur non-négligeable de l’exposant η traduit le fait que la solution lithium-bore est beaucoup plus réactive et modifie de façon significative la cinétique d’usure. L’usure totale combine une usure d’origine mécanique plus une contribution d’origine tribocorrosive. Cette approche permet d’intégrer les effets opposés du milieu corrosif, qui en lubrifiant l’interface réduit l’énergie de frottement dissipé mais active la corrosion des surfaces augmentant l’usure tribocorrosive.

DISCUSSION & CONCLUSION

Cette formulation étendue de l’approche énergétique permet de combiner les effets de dissipation mécanique mais aussi d’intégrer de façon simple l’effet corrosif de l’environnement. Ceci se traduit par une bien meilleure prédiction des cinétiques d’usure (Fig. 2). La corrélation $R_p - R_f$, et en particulier le lien entre les exposants η et ω ($\eta = -\omega$), sont analysés en combinant les modèles cinétiques de formation d’oxyde en surface [2] et l’exposition de l’interface au milieu corrosif induit par la fluctuation de l’effort normal (R_p).

Références

- [1] E. Marc, S. Fouvry, O. Graton, C. Phalippou, H. Maitournam (2017) « Fretting wear of a nitrided 316L/304L contact subject to in-phase normal force fluctuation in dry and lithium-boron solution : an R_p – friction energy wear approach », Wear, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2017.01.075>.
- [2] T.F.J. Queen (1962) « Role of oxidation in the mild wear of steel », British journal of applied physics 13(1) 319P.

TRANSITION FRAGILE-DUCTILE MESUREE PAR COMPRESSION DE MICROPILIERS DANS UN TROISIEME CORPS A HAUTE TEMPERATURE

A. Viat^{1,2}, G. Guillonnet¹, G. Kermouche³, J. Michler⁴ et S. Fouvry¹

1.Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR 5513, 36 avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully Cedex

2.Safran Ceramics, Rue de Touban, 33185 Le Haillan

3.Ecole des Mines de Saint-Etienne, LGF UMR 5307 CNRS, Saint-Etienne

4.Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Laboratory for Mechanics of Materials and Nanostructures, Feuerwerkerstr. 39, 3602 Thun, Suisse

MOTS CLES

Glaze Layer, microcompression, haute température, fragile-ductile, fretting

RESUME

Au niveau du contact aube disque des turboréacteurs d'avion, se produit un frottement alterné de type fretting, sous haute température (supérieure à 500°C). Ce type de contact reproduit au laboratoire en configuration plan/plan, l'un étant en céramique et l'autre en Haynes 25, a permis de mettre en évidence la formation d'un troisième corps d'épaisseur 5-20µm. Cette couche, nommée « Glaze Layer », formée par compaction et frittage des débris sous fretting haute température, possède des propriétés lubrifiantes, du fait que sa formation entraîne une diminution du coefficient de frottement et de l'usure du matériau [1]. Une première analyse de la microstructure et de sa composition chimique a déjà été effectuée [2]. Afin de comprendre entièrement le comportement tribologique de cette couche, la compréhension de ses propriétés mécaniques est nécessaire.

Du fait de l'épaisseur de la Glaze Layer, des tests d'indentation à température ambiante et de compression de micropiliers à différentes températures ont été réalisés pour mettre en évidence l'évolution des propriétés mécaniques. L'ensemble des mesures a été effectué dans la Glaze Layer, ainsi que sur les deux substrats. Les tests d'indentation ont permis de mettre en évidence que la Glaze Layer possède une dureté élevée et plus importante que celle des substrats à température ambiante, ce qui semble contradictoire avec le caractère « lubrifiant » de la Glaze Layer. Les tests de compression de micropiliers à différentes températures ont permis de montrer d'une part, que la limite d'élasticité de la Glaze Layer chute avec la température, mais aussi la présence d'une température de transition fragile/ductile, en accord avec la température de formation de la Glaze Layer.

L'ensemble de ces expériences a permis de montrer que la dureté (ou la limite d'élasticité) n'est pas le facteur principal expliquant les propriétés lubrifiantes de la Glaze Layer, mais principalement l'absence de fragilité au-dessus d'une température seuil.

Références

[1] A. Viat, S. Fouvry, M-I. De Barros Bouchet, L. Pin (2015) « *Influence of carbon-based solid lubricant on fretting wear response for alumina-based ceramics versus cobalt superalloy contact* », Surface and Coatings Technology, **284**, pp. 327-333.

[2] A. Viat, M-I. De Barros Bouchet, B. Vacher, T. Le Mogne, S. Fouvry, J-F.Henne (2016) « *Nanocrystalline glaze layer in ceramic-metallic interface under fretting wear* », Surface and Coatings Technology, **308**, pp. 307-315.

Simulation numérique des profils d'usure de fretting avec prise en compte du 3^{ème} corps

P. Arnaud¹, S. Fouvry¹, S. Garcin¹

1. Université de Lyon, Ecole Centrale de Lyon, Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR CNRS 5513, ECL-ENISE-ENTPE, 69134 Ecully.

MOTS CLES

Fretting usure, Ti-6Al-4V, Eléments finis, 3^{ème} corps.

INTRODUCTION

Le fretting est une sollicitation de frottement qui est définie par un petit mouvement oscillatoire entre deux corps en contact. Ce mouvement doit être inférieur à la taille de contact pour que la sollicitation soit considérée comme du fretting. Le fretting génère inévitablement des endommagements qui sont généralement de type fissuration ou usure et dépendent des conditions d'essais, pression normale, amplitude de déplacement, etc... L'usure est un facteur important limitant la durée de vie de nombreux systèmes comme les moteurs, les boîtes de vitesses, ou simplement les revêtements. Pour prédire cette durée de vie, la simulation par élément finis (FEM) est largement utilisée [1] mais le 3^{ème} corps ou les débris, piégés dans le contact, sont rarement pris en compte [2].

1. Essais expérimentaux et méthodes d'analyse

Dans ce travail, nous proposons une approche expérimentale pour caractériser l'apparition et l'évolution du 3^{ème} corps [3] piégé dans le contact. Le matériau étudié est le Ti-6Al-4V qui est généralement utilisé dans les turboréacteurs au niveau des aubes et des disques, la configuration étudiée étant cylindre/plan. Deux paramètres sont étudiés, l'amplitude de débattement et le nombre de cycles. Le volume d'usure et la profondeur maximale d'usure sont systématiquement mesurés sur chacun des corps en contact. Une méthode simple basée sur la superposition des profils de surface usée du plan et du cylindre est proposée, elle permet une estimation des vitesses d'usure respective du plan et du cylindre ainsi que le volume du 3^{ème} corps piégé dans le contact. Un facteur de conversion du 3^{ème} corps est défini pour exprimer la proportion d'usure transféré en débris. Deux approches sont proposées : une approche globale travaillant sur les volumes et une locale travaillant sur les hauteurs d'usure et de 3^{ème} corps.

2. Simulation numérique

Les valeurs expérimentales sont introduites dans un algorithme couplé Matlab-Python-Abaqus où l'usure des pièces est simulée en utilisant une approche énergétique. Une nouvelle stratégie de simulation est développée pour simuler deux interfaces : l'interface entre le 3^{ème} corps et le cylindre et l'interface entre le plan et le 3^{ème} corps. Ce nouvel algorithme permet de simuler une usure sur plusieurs surfaces et de définir un revêtement simulant le 3^{ème} corps selon des lois prédéfinies. Ainsi, les lois précédemment proposées sont intégrées dans les simulations et sont comparées entre elles. Les comparaisons quantitatives avec les résultats expérimentaux confirment l'intérêt de cette nouvelle stratégie. La profondeur d'usure maximale, généralement sous-estimée avec les modèles classiques, est prédite avec une erreur de moins de 10% avec le modèle local de taux de conversion (Fig. 2).

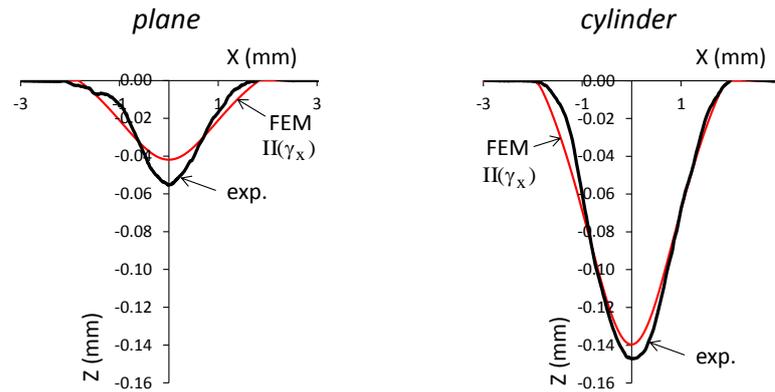


Figure 1: comparaison entre les résultats expérimentaux et simulés des surfaces usées prenant en compte le 3^{ème} corps avec l’approche locale (Ti-6Al-4V, $R=80$ mm, $P=1066$ N/mm, $\delta_g^*=\pm 75$ μ m, $N=5000$ cycles).

Finalement, des simulations sont effectuées sur des essais à plus grand nombre de cycles pour confirmer la stabilité du modèle. Les simulations sont menées à 10 000 et 30 000 cycles et montrent une bonne prédiction des surfaces usées et des profondeurs maximales d’usure.

CONCLUSION

Un nouveau modèle d’usure énergétique prenant en compte le 3^{ème} corps est introduit pour prédire les profils d’usure en grand glissement en fretting pour sur le Ti-6Al-4V.

L’implémentation des débris d’usure, comme un revêtement est introduit par un taux de conversion du 3^{ème} corps, permet une meilleure prédiction des profils d’usure. L’approche classique de la simulation d’usure sans la prise en compte des débris, sous-estime la profondeur maximale d’usure et surestime l’élargissement du contact dû à l’usure. La loi locale de conversion de 3^{ème} corps proposée permet une quasi-parfaite prédiction de l’usure.

Les travaux futurs se concentreront sur la prise en compte des propriétés des débris d’usure ainsi qu’à la généralisation des lois de conversion du 3^{ème} corps.

Références

- [1] P. Arnaud, S. Fouvry, S. Garcin, Wear rate impact on Ti-6Al-4V fretting crack risk: Experimental and numerical comparison between cylinder/plane and punch/plane contact geometries, Tribology International, Vol 108, 2017, p 32-47.
- [2] T. Yue, M. A. Wahab, A numerical study on the effect of debris layer on fretting wear, Materials 9 (7) (2016), 597.
- [3] N. Fillot, I. Iordanoff, Y. Berthier, Wear modeling and third body concept, Wear 262 (2007), p.949-95.

LA TRIBOLOGIE DE L'ANTIQUITE A NOS JOURS

CONFERENCE INVITEE

Jean FRÊNE

Professeur émérite

Membre de l'Académie des Technologies

Département Génie Mécanique, Structures et Systèmes Complexes

Laboratoire Pprime – UPR 3346 – CNRS – Université de Poitiers – ENSMA

SP2MI Boulevard Marie et Pierre Curie, BP 30179

86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex France

Jean.frene@univ-poitiers.fr

MOTS CLES

Tribologie, lubrification, mécanique du contact, frottement, usure, mécanismes

RESUME

On pense souvent que la tribologie, qui concerne la lubrification, le frottement et l'usure, est née avec le développement industriel du 19^{ième} et du 20^{ième} siècle. Il n'en est rien. De tout temps l'homme a cherché à réduire le frottement et éviter l'usure. Ainsi dès l'antiquité (plus de 2000 ans avant Jésus Christ) le bitume a été utilisé pour diminuer le frottement des pivots des tours de potiers. Des bas-reliefs égyptiens qui datent de 2400 ans avant Jésus Christ montrent l'emploi de lubrifiant pour faciliter le déplacement des lourdes charges. De même on ignore généralement que les romains avaient inventé la butée à billes. Plus près de nous Léonard de Vinci, bien connu pour sa peinture et sa sculpture, fut aussi un mécanicien remarquable dont les travaux sur le frottement, les machines et les mécanismes furent utilisés plus de deux siècles après sa mort. Ces exemples ainsi que bien d'autres sont développés au cours de cette présentation.



JIFT 2017

29^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie
Tribologie dans l'Innovation Mécanique

17-19 mai 2017 Saint Ouen



SESSION 5

-

ROULEMENTS



Etude Expérimentale et Modélisation Statistique de la dégradation d'un Contact E.H.D. de Roulement Sous l'Effet de la Pollution Solide des Lubrifiants

Ammar Haiahem¹, Mohamed Rafik Sari¹, Rabah Bourenane¹, Sabrina Maatallah²

1 Laboratoire de mécanique industrielle (LMI), université Badji Mokhtar ANNABA B.P. 12, 23000 Sidi Amar Annaba, Algérie

2 Département de Génie Mécanique, Université 20 Août 1955 de Skikda, Route El Hadaiek B.P. 26, 21000 Skikda, Algérie

MOTS CLES

Lubrification, Pollution solide, Usure, Etat de Surface, Variance

Résumé

Dans ces dernières années, le phénomène de la pollution solide des lubrifiants est devenu le centre d'intérêt de nombreuses études [1-5]. En effet, la présence des particules polluantes dans les lubrifiants est inévitable. Ces particules indésirables peuvent endommager les surfaces et conduire à la fatigue et à l'usure des composants machines.

Dans ce travail de recherche, on a essayé, d'une part, de répondre à quelques questions relatives à la présence des particules de sable dans les contacts E.H.D. roulants en terme de dégradation manifestée (usure des profils en contact et état de surface en particulier). D'autre part, une étude statistique sur l'évolution de l'usure et de la rugosité de surface est également réalisée.

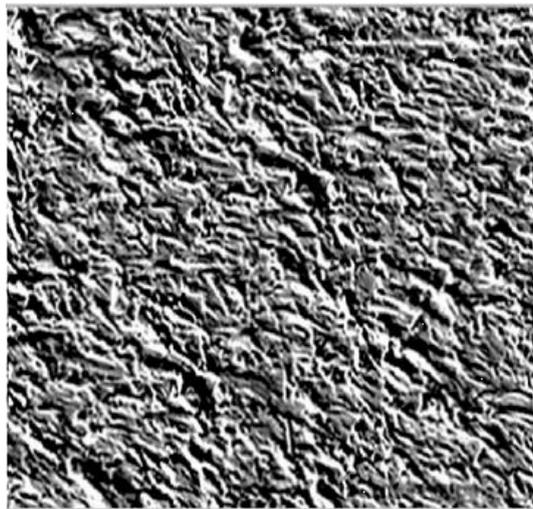


Fig. 1 Image SEM du disque d'acier après fonctionnement

Cette investigation expérimentale est principalement basée sur la dégradation des contacts E.H.D. sous l'effet de la pollution solide des lubrifiants (c. à d. présence des particules de sable dans l'huile de lubrification). Les essais d'usure et de rugosité de surface sont réalisés sur un dispositif original qui reproduit les conditions de fonctionnement d'un contact de roulement entre deux disques en acier. Par ailleurs et afin de visualiser l'effet des paramètres de fonctionnement, à savoir : la concentration des particules (C), la charge (Q) et la vitesse de

rotation (V) sur l'évolution de l'usure (W) et de la rugosité de surface (Ra), le plan orthogonal L_9 de TAGUCHI est adopté.

Table 1 Résultats de l'analyse de variance (ANOVA) de l'usure (W)

Source	DF	SS	MS	F-value	P (%)
C	1	0,0002816	0,000282	21.1218*	36.2
Q	1	0,0001071	0,000107	8.0319	13.77
V	1	0,0000498	0,0000498	3.7364	6.4
$C.Q$	1	0,0001867	0,000187	14.0038*	24
$C.V$	1	0,0000711	0,0000711	5.3315	9.14
$Q.V$	1	0,0000548	0,0000548	4.1088	7.04
Erreur	2	0,0000267	0,0000133		3.43

DF: Degré de liberté ; SS: Somme des carrés ; MS: Moyenne des carrés; F-value : Test F ; P: Pourcentage de contribution.

* indique la signification statistique à un niveau de confiance 90%

Table 2 Résultats de l'analyse de variance (ANOVA) de la rugosité (Ra)

Source	DF	SS	MS	F-value	P (%)
C	1	0.14071	0.140714	1.42909	9.89
Q	1	0.21727	0.217269	2.20663	15.31
V	1	0.16584	0.165842	1.68431	11.66
$C.Q$	1	0.48254	0.482543	4.90077	33.94
$C.V$	1	0.13022	0.130223	1.32256	9.16
$Q.V$	1	0.08799	0.087987	0.8936	6.17
Erreur	2	0.19692	0.098464	-	13.85

DF: Degré de liberté ; SS: Somme des carrés ; MS: Moyenne des carrés; F-value : Test F ; P: Pourcentage de contribution.

Les résultats de l'investigation statistique montrent que la concentration des particules (C) est le facteur qui représente la plus grande influence sur l'évolution de l'usure (sa contribution : **36,2 %**). Par contre, l'interaction concentration des particules-charge ($C.Q$) est le facteur qui montre plus de contribution dans l'évolution de la rugosité de surface (sa contribution : **33,94 %**).

Enfin, cette étude est d'une très grande importance du fait qu'elle traite une thématique d'actualité. En effet, la présence des particules polluantes est nuisible au bon fonctionnement des contacts mécaniques. Cette modeste contribution montre clairement l'impact des particules solides sur la dégradation des contacts E.H.D.

Références

- [1] M. R. Sari, A. Haiahem, L. Flamand (2007) «*Effect of lubricant contamination on gear wear*», Tribology Letters, 27(1), pp. 43–49.
- [2] M. R. Sari, F. Ville, A. Haiahem, L. Flamand (2010) «*Effect of lubricant contamination on friction and wear in an EHL sliding contact*», Mechanika, 82(2), pp. 119-126.
- [3] A. Bouchireb, M. R. Sari (2015) «*Effect of Solid Particles on Gear Tooth Failure*», Journal of Central South University, 22(5), pp. 1667-1675.
- [4] V. Strubel, N. Fillot, F. Ville, J. Cavoret, P. Vergne, A. Mondelin, Y. Maheo (2016) «*Particle Entrapment in Hybrid Lubricated Point Contacts*», Tribology Transactions, 59(6), pp. 768-779.
- [5] V. Strubel, N. Fillot, F. Ville, J. Cavoret, P. Vergne, A. Mondelin, Y. Maheo (2017) «*Particle Entrapment in Rolling Element Bearings: the Effect of Ellipticity, Nature of Materials and Sliding*», Tribology Transactions, 60(2), pp. 373-382.

INFLUENCE DE LA RUGOSITÉ SUR LA FATIGUE DE ROULEMENT

K. Potier¹, I. Lemaire-Caron¹ et F. Robbe-Valloire¹

1. QUARTZ (EA 7393) SUPMECA, 3 rue Fernand Hainaut, 93400 Saint-Ouen

MOTS CLÉS

Fatigue, Rugosité, Roulement, Glissement

INTRODUCTION

La compréhension des mécanismes d’écaillage en fatigue dans les composants roulants est une nécessité pour optimiser ces derniers. Les écailles formées en fatigue sur une surface peuvent résulter de surcontraintes générées en profondeur par des inclusions non métalliques ou en surface par les rugosités. Avec l’amélioration de la propreté inclusionnaire des aciers ces dernières décennies, l’état de surface est devenu le principal facteur d’initiation de fissures en fatigue.

Un modèle de contact rugueux élasto-plastique [1], couplé avec un critère de fatigue multidimensionnelle de type Dang Van, a été appliqué à différentes surfaces théoriques, périodiques dans les 2 directions. Pour quantifier l’impact de la rugosité, nous proposons une étude paramétrique de l’influence sur la tenue en fatigue des caractéristiques micro-géométriques des surfaces (périodicités et amplitudes).

MODÈLE DE CONTACT RUGUEUX

Le contact considéré dans cette étude est une bille de rayon 5 mm sur un plan soumis à un effort normal de 300 N. La géométrie axisymétrique de la bille ne privilégie aucune direction et permet d’obtenir une pression de contact maximale théorique de 3 GPa selon la théorie de Hertz. Les deux pièces en contact sont en acier M50 dont le module de Young vaut 200 GPa et le coefficient de Poisson 0.3. Le comportement plastique de cet acier est modélisé en utilisant une loi de Swift avec une limite d’élasticité initiale de 1.5 GPa.

Des simulations sont réalisées sur des surfaces théoriques ayant des micro-géométries sinusoïdales dans les deux directions principales x et y (Figure 1). Les variables caractéristiques de celles-ci sont les amplitudes R_x et R_y et les longueurs d’onde AR_x et AR_y . Ces paramètres de rugosité ont une influence sur la fatigue de roulement [2,3]. Chaque surface possède sa propre micro-géométrie dont les quatre paramètres peuvent être modifiés indépendamment les uns des autres.

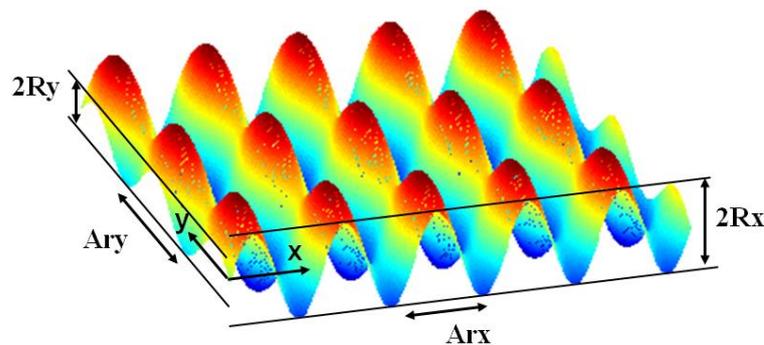


Figure 1: Micro-géométrie d'une surface théorique.

INFLUENCE DE LA RUGOSITÉ SUR LES CONTRAINTES EN SOUS-COUCHE

Pour caractériser l'influence des paramètres de rugosité sur l'état de contrainte, des contacts élasto-plastiques sont simulés avec des surfaces théoriques ayant différentes valeurs de R_x , R_y , AR_x et AR_y . Les résultats de ces calculs montrent qu'amplitudes et longueurs d'onde ont un effet similaire sur l'état de contrainte.

De plus, l'orientation du contact par rapport aux stries d'usinage est un facteur important de durée de vie en fatigue [4]. Pour étudier cet effet sur les contraintes nous définissons une surface idéale représentative d'une pièce obtenue en rectification. Cette surface est ensuite intégrée à notre modèle élasto-plastique et deux calculs sont réalisés pour modéliser le mouvement de roulement longitudinalement et perpendiculairement aux stries d'usinage.

INFLUENCE DES PARAMÈTRES SUR LES CYCLES DE CHARGEMENT

Au cours du passage dans le contact, les aspérités subissent un nombre important de microcontacts hertziens [5]. Selon l'état de surface, l'orientation des pièces et la cinématique, le nombre d'occurrences de ces contacts évolue.

Pour modéliser cette répétition des cycles de chargement, une méthode de calcul du nombre d'occurrences est présentée. Elle est basée sur l'étude des surfaces théoriques sinusoïdales et prend en compte les paramètres de rugosité ainsi que la cinématique du contact, notamment le glissement.

CONCLUSION

Cette étude met en évidence l'influence des paramètres de rugosité sur la durée de vie d'un contact en fatigue de roulement. Les résultats combinés sur les contraintes et les occurrences montrent que les longueurs d'onde des rugosités sont des paramètres très influents ; ils permettent de rendre compte de nombreux aspects de la fatigue. Cependant, au-delà des longueurs d'onde, d'autres éléments indépendants de l'état de surface doivent être considérés afin de pouvoir évaluer la sévérité d'une configuration de fonctionnement. Des paramètres cinématiques tels que la direction de roulement ou le taux de glissement jouent par exemple un rôle déterminant.

Références

- [1] C. Jacq, D. Nélias, G. Lormand, D. Girodin (2002) « *Development of a Three-Dimensional Semi-Analytical Elastic-Plastic Contact Code* », Journal of Tribology ASME, **124** (4), pp. 653-667.
- [2] E. Querlioz, F. Ville, P. Sainsot, T. Lubrecht (2007) « *Influence des rugosités de surface sur la fatigue de contact en roulements* », 18^{ème} Congrès Français de Mécanique.
- [3] A. Oila, S.J. Bull (2005) « *Assessment of the factors influencing micropitting in rolling/sliding contacts* », Wear, **258** (10), pp. 1510-1524.
- [4] W. Cheng, H.S. Cheng (1995) « *Effect of Surface Roughness Orientation on Pitting Resistance of Lubricated Rollers* », Tribology Transactions, **38**, pp. 396-402.
- [5] W. Pu, D. Zhu, J. Wang, Q.J. Wang (2016) « *Rolling-sliding contact fatigue of surfaces with sinusoidal roughness* », International Journal of Fatigue, **90**, pp. 57-68.

Impact de la cinématique sur le comportement des roulements à billes haute vitesse

C. Servais¹ et J.-L. Bozet¹

1. Cryotribologie, Université de Liège (ULg), Quartier Agora, Allée du six Août 13, B4000 Liège, Belgique

MOTS CLES

Roulement à billes, cinématique, méthode quasi-statique.

INTRODUCTION

Les méthodes de calcul pour roulement à billes existent depuis plusieurs dizaines d'années. Ces méthodes ont entre autres choses permis de prédire la durée de vie des roulements, de préciser leur fonctionnement en fonction des charges appliquées et de mesurer l'impact des vitesses de rotation élevées.

Parmi ces approches de calcul, on distingue notamment celles dites quasi-statiques. Par opposition aux méthodes d'intégration directe des équations de Newton, les méthodes quasi-statiques incorporent les efforts d'inertie et les couples gyroscopiques comme des sollicitations externes. La description quasi-statique donnée par Jones et Harris fait toujours office de référence en la matière. De fait, nombre d'études récentes nécessitant une telle approche quasi-statique se basent presque exclusivement sur les développements de Jones et Harris. Toutefois, certaines indéterminations introduites par la méthode de Jones/Harris n'ont toujours pas été levées, principalement en ce qui concerne les roulements à billes évoluant à haute vitesse. Parmi ces indéterminations se trouve la cinématique des billes.

Encore à l'heure actuelle, la caractérisation de la cinématique des billes est le plus souvent effectuée au moyen d'hypothèses, sans démonstration. Un exemple bien connu d'artifice utilisé pour l'évaluation de la cinématique est le contrôle des billes par l'une des deux bagues. Cette méthode consiste à choisir l'orientation du spin des billes qui annule le moment de pivotement au niveau du contact bille/bague intérieure (contrôle par la bague intérieure) ou extérieure (contrôle par la bague extérieure). Ce type d'approche ne se base sur aucun critère d'équilibre et ne repose donc sur aucune justification rigoureuse.

Le présent article démontre qu'il est primordial de correctement calculer la cinématique des billes de roulements fonctionnant à des vitesses modérées ou élevées.

Tout d'abord, il y est exposé que le mouvement des billes conditionne les valeurs prises par les forces centrifuges et les couples gyroscopiques appliqués aux billes. Ces sollicitations liées à l'inertie des billes prennent une place importante dans l'équilibre du roulement à mesure que la vitesse de rotation du roulement augmente. Elles doivent dès lors être correctement calculées.

De plus, la puissance dissipée aux contacts entre les billes et les bagues ne peut être adéquatement déterminée sans une bonne connaissance du mouvement des éléments roulants. En effet, les champs de glissement et les pressions tangentielles au sein des contacts bille/bague sont directement liés à la cinématique. L'article quantifie l'erreur commise sur la puissance dissipée lorsque l'hypothèse du contrôle par l'une des bagues est utilisée pour évaluer la cinématique des billes. Un exemple de puissance dissipée par unité de surface (P_f) au sein d'un contact bille/bague extérieure de roulement est donné à la Figure 1. Le cas correspondant à la cinématique réelle des billes est comparé à ceux relatifs aux contrôles par les bagues. Comme illustré, l'allure de la densité de puissance ainsi que son intensité varient grandement avec la cinématique.

L'article démontre également que les efforts de frottement apparaissant aux contacts bille/bague sont intimement liés à la cinématique des billes. A haute vitesse, ces efforts de frottement jouent un rôle important au niveau de l'équilibre du roulement puisque ce sont eux qui contrebalancent les couples gyroscopiques appliqués aux billes. Par exemple, négliger le lien entre ces efforts et la

cinématique des billes porte préjudice au calcul de la raideur du roulement. Cet aspect est primordial lors de l’étude dynamique de toute machine tournante.

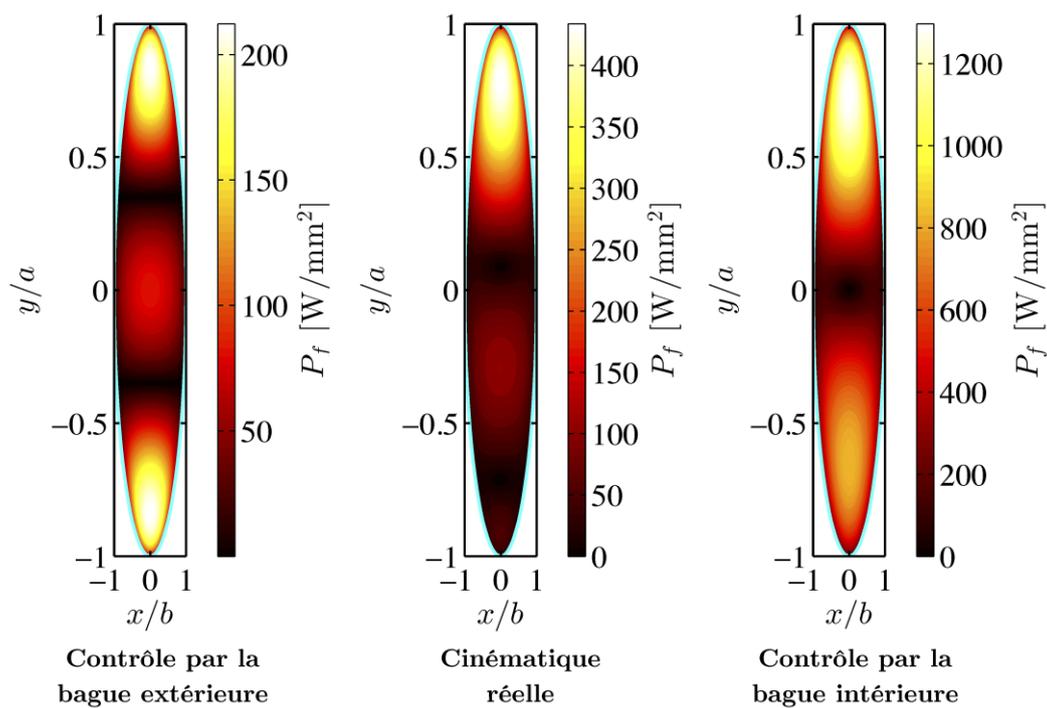


Figure 1: Densité de puissance dissipée dans un contact bille/bague extérieure de roulement à billes en fonction de la cinématique.



JIFT 2017

29^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie
Tribologie dans l'Innovation Mécanique

17-19 mai 2017 Saint Ouen



SESSION 6

-

ABRASION ET ÉROSION



ÉROSION D’UN FLUIDE CHARGÉ DE PARTICULES PARTICULE-LADEN FLUID AND EROSION

AIOUAZ Tayeb¹, PIERRAT Daniel¹, POHIER Jérôme², et David LOHIER³

1. Centre Technique des Industries Mécaniques CETIM – Pôle Technologie des Fluides et Ecoulements – 44326 Nantes

2. Centre Technique des Industries Mécaniques CETIM – Pôle Matériaux métalliques et Surfaces - 60304 Senlis

3. AREVA NP – 50440 Équeurdreville-Hainneville

MOTS CLES

Erosion, simulation numérique CFD, agitateurs industriels

INTRODUCTION

L’une des principales difficultés dans la réalisation d’un banc d’essai est de s’assurer que les phénomènes spécifiques au mécanisme à étudier soient représentatifs de ceux existants dans le dispositif de taille réelle. Plus précisément, Il s’agit ici d’étudier l’érosion/abrasion pouvant apparaître sur les pales de trois mobiles d’une cuve agitée de grande dimension destinée à homogénéiser un mélange liquide – solide particulaire.

Le dispositif destiné à caractériser et quantifier cette « usure » doit reproduire l’action mécanique du fluide chargé sur les pales en termes d’intensité, tout en respectant le comportement hydrodynamique des particules précédant le contact particule – parois des pales. Par exemple, une amplification de l’intensité de l’impact pour accélérer l’usure des pales, motivée par une réduction des temps d’essais, pourrait modifier en fonction de la nature des matériaux constitutifs des particules et des pales, la nature du choc et l’angle d’incidence de l’impact, risquant de basculer le type d’érosion.

Pour s’assurer d’une part que la réduction dimensionnelle du dispositif et d’autre part que les types de mobiles retenus pour équiper le banc, permettront de reproduire des mécanismes d’érosion / abrasion représentatifs de ceux observés dans le dispositif réel, une analyse préliminaire des phénomènes pouvant se développer dans la cuve a été menée.

BANC D’ESSAI TYPE AGITATEUR – SIMULATIONS NUMERIQUES

Pour assurer un compromis acceptable en termes de dimension, d’échelle représentative des phénomènes, de coût, mais également de quantité de poudre nécessaire pour mener les essais, le volume de la cuve a été fixé à 9 litres. L’étude d’érosion / abrasion est réalisée sur des pales planes amovibles montées sur un moyeu équipé de 3 axes dont l’orientation des fentes définit l’inclinaison des pales PBT (Pitch Blade Turbine) du mobile. Quatre inclinaisons de pales type ont été retenues : 15° (3PBT15), 30° (3PBT30), 45° (3PBT45), 90° (3PBT90).

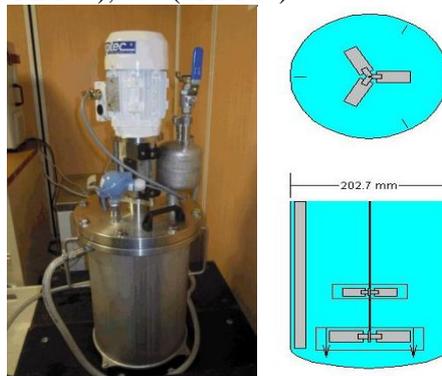


Figure 1: Banc d’essai d’érosion.

En vue d’une adéquation entre les flux observés dans le système futur et le banc d’essai, des simulations numériques CFD en vue de définir les configurations optimales d’essai en termes d’homogénéité de mélange et de vitesse en bout de pale.

D’autre part, une autre étude CFD a été menée pour tester l’efficacité de l’approche lagrangienne à prédire une carte d’érosion/abrasion compatible avec les relevés visuels effectués sur les pales des mobiles après essais, et reproduisant pour différents mobiles, la tendance du taux d’enlèvement matière. L’objectif à terme est de vérifier si une telle approche permet par un simple recalage sur plusieurs cas spécifiques entre les taux globaux d’érosion prédits et mesurés, de quantifier raisonnablement un enlèvement local de matière.

L’analyse mise en place pour cette pré-étude, s’appuie sur une comparaison de la masse enlevée, mesurée expérimentalement, en fonction du mobile testé, et sur les observations visuelles d’usures des pales.

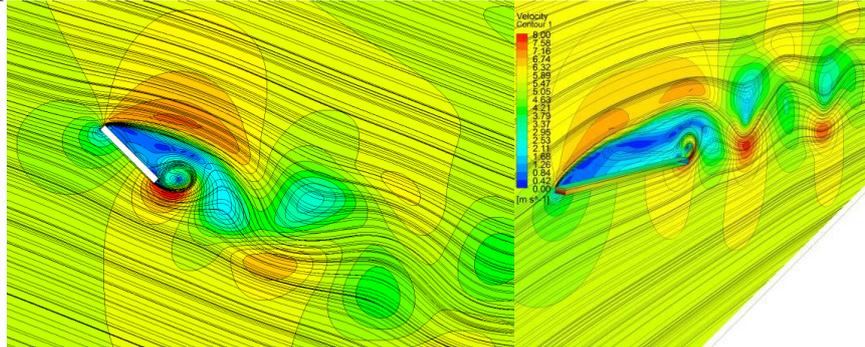


Figure 1: Résultats de simulation numériques CFD aux abords de pales d’agitateur.

RESULTATS

Les trajectoires obtenues par simulation CFD sont cohérentes avec les observations d’usure relevées sur les pales, que ce soit côté intrados affichant des rayures parallèles à la corde, ou côté extrados dépourvu de trace d’usure en aval du bord d’attaque, jusqu’à une certaine distance du bord de fuite où les rayures désordonnées semblent être le fait de particules entraînées par les structures tourbillonnaires locales

L’application du modèle, s’il permet de prévoir les zones les plus érodées, ne capte pas l’érosion abrasive générée par le glissement des particules côté intrados. Les quantités de matière enlevée entre essais et calcul ne peuvent être comparées directement car d’une part les quantités obtenues sur le modèle CFD ne prennent en compte qu’une section élémentaire transversale de la pale et d’autre part l’évaluation du taux d’érosion ne considère que la masse des particules et non celle des matériaux érodés. Ce qui explique, que ces approches sont généralement utilisées dans des analyses comparatives.

Au niveau des essais, on constate que le taux d’érosion augmente avec l’angle du mobile par rapport à l’écoulement incident. Le modèle de Finnie reproduit une tendance à première vue correcte pour les mobiles d’angles 15° et 30°, mais surestime l’effet angulaire pour le mobile d’angle 45°.

EFFET DE DIFFERENTES MICROSTRUCTURES AVEC UN MÊME NIVEAU DE DURETE SUR LE FROTTEMENT ET L’USURE DE L’ACIER 25CD4

C. Trevisiol¹, A. Jourani¹ et S. Bouvier¹

1. Affiliation: Sorbonne Universités, Université de technologie de Compiègne, CNRS, UMR 7337 Roberval, Centre de recherche Royallieu - CS 60 319 - 60 203 Compiègne cedex, France.

celine.trevisiol@utc.fr

MOTS CLES

Microstructure, Usure abrasive, Taille de particule abrasive, Frottement.

INTRODUCTION

La résistance au frottement et à l’usure est contrôlée par de nombreux paramètres tels que le chargement normal ou encore la dureté du matériau. Néanmoins, les effets combinés de la microstructure et de la rugosité sur le comportement tribologique sont nettement moins abordés dans la littérature. Ainsi, une contribution est proposée avec l’étude du comportement tribologique de pions en acier 25CD4 faiblement allié présentant différentes microstructures pour un niveau de dureté similaire (d’environ $410H_V$). Cette étude vise ainsi à identifier les microstructures et les rugosités permettant de minimiser le frottement et l’usure de cet acier.

PROCEDURE EXPERIMENTALE

Les microstructures sont générées à partir de différents traitements thermiques conduisant à des microstructures de type mono-phase, composées d’une microstructure martensitique trempée et d’une microstructure martensitique revenue, et à des microstructures de type dual-phase composées des phases ferritiques et martensitiques (Figure 1). Plus particulièrement, trois microstructures dual-phase sont générées et se différencient par la morphologie des colonies de martensite allant de colonies de petite taille pour une forme équiaxe vers des colonies de grande taille pour une forme fibreuse.

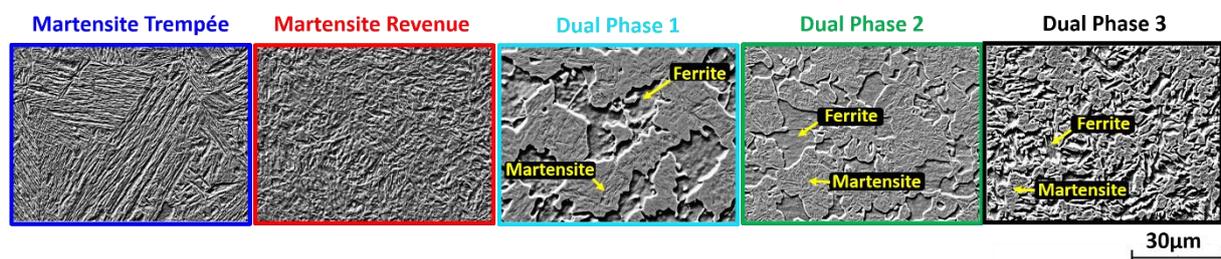


Figure 1 : Micrographies des microstructures générées à partir de l’acier 25CD4

Après cette première étape d’élaboration des microstructures, des essais de frottement sont réalisés entre ces pions et des papiers abrasifs avec différentes tailles de particules abrasives (allant de $15\ \mu\text{m}$ à $200\ \mu\text{m}$). La variation sur un large spectre de la taille des particules abrasives permet d’étudier l’effet de la rugosité sur le comportement tribologique en générant différents mécanismes d’usure (allant de l’adhésion à l’abrasion) en fonction des différentes microstructures étudiées.

RESULTATS ET CONCLUSIONS

Les essais de frottement ont permis d’obtenir les évolutions du coefficient de frottement et du taux d’usure en fonction de la taille de particule abrasive (Figure 2).

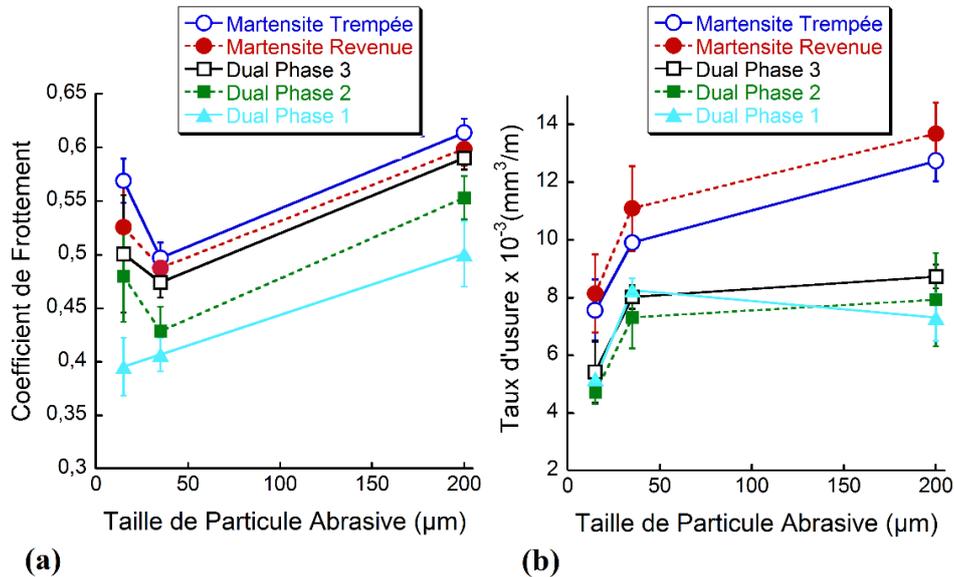


Figure 2: Evolution du (a) coefficient de frottement et du (b) taux d’usure en fonction de la taille de particule abrasive.

Les résultats montrent que le comportement tribologique est étroitement lié aux caractéristiques microstructurales du matériau telles que la nature des phases, la combinaison ou non de plusieurs phases ou encore les morphologies des phases.

Comparées aux microstructures de type mono-phase et indépendamment de la taille de particule abrasive, les microstructures de type dual-phase minimisent à la fois le coefficient de frottement et le taux d’usure traduisant une amélioration de la résistance au frottement et à l’usure de l’acier. Dans le cas des microstructures de type dual-phase, la phase martensitique, enrichie en carbone générant une dureté supérieure à celle de la phase ferritique et à celle des microstructures de type mono-phase, supporte une pression plus élevée et réduit la profondeur de pénétration des grains sur la surface conduisant à la baisse du coefficient de frottement et du taux d’usure.

En se focalisant sur les microstructures de type dual-phase, les morphologies des colonies de martensite influencent également le comportement au frottement et à l’usure. En effet, le coefficient de frottement et le taux d’usure sont minimisés à mesure que les colonies de martensite tendent vers une forme équiaxe et que leur taille augmente.

De plus, le coefficient de frottement est minimisé pour une taille de particule abrasive dépendant de la microstructure du matériau. Cette minimisation du coefficient de frottement se traduit par une transition entre des mécanismes d’usure abrasive et adhésive qui évolue avec la microstructure. Concernant le taux d’usure, ce dernier augmente avec la taille de particule abrasive puis se maintient pour une taille de particule abrasive critique. Cette dernière est plus faible pour des microstructures de type dual-phase plutôt que pour des microstructures de type mono-phase.

Effets d'échelle de la texturation par procédé toilage contrôlé en raideur de contact film abrasif/palier

K. Serpin^{1,2}, S. Mezghani², C. M. El Mansori³

1. RENAULT S.A.S., Direction de la Mécanique/Direction de l'Ingénierie Process, France

2. Arts et Métiers Paris Tech, MSMP - EA 7350, Chalons en Champagne, France

3. Arts et Métiers Paris Tech, MSMP - EA 7350, Aix en Provence, France

MOTS CLES

Toilage texturant, rigidité de contact, texture de surface, analyse multiéchelle.

RÉSUMÉ

La technologie de toilage est utilisée pour la finition de différents composants moteurs comme les paliers et les manetons de vilebrequin [1,2]. Sa particularité est l'utilisation de toiles structurées où l'enlèvement de matière est assuré à l'échelle micrométrique ou submicrométrique par des grains abrasifs de taille, des forme et d'orientation déterministes. Les précédents travaux [3,4] ont montré qu'une texture par toilage de grande portance ayant une morphologie plateau/vallées peut être obtenue en utilisant des toiles potées. Ce type de morphologie présente un réel potentiel d'amélioration des performances tribo-fonctionnelles du palier. Ces attributs texturales ne sont cependant pas encore maîtrisées à l'échelle de la production. L'exploitation d'un dispositif expérimental de toilage contrôlé en rigidité de contact toile/pièce par la modification de la raideur d'inserts supportant la charge appliquée sur la toile abrasive, constitue une solution prometteuse pour atteindre cet objectif.

Dans cet article, nous avons étudié cette solution en analysant les liens entre la raideur de contact toile/pièce, le régime d'enlèvement de matière, l'énergie spécifique dissipée, les échelles d'abrasion et les caractéristiques texturales de la surface obtenue. Les modifications du fini de surface ont été analysées sur une large gamme d'échelles de rugosité en se basant sur le concept de la signature process multiéchelle [5]. Les mécanismes d'abrasion activés en fonction du type d'interactions de contact qui survient en surface du palier et du film abrasif ont été identifiés à travers la signature énergétique du procédé [2]. Les résultats montrent clairement que la raideur de contact contrôle les variations de profondeur des vallées dans la configuration expérimentale de toilage considérée. Un modèle multiéchelle reliant la raideur de contact à la profondeur des vallées a été développé. Ceci permet de prédire la rigidité de contact optimale préservant l'abrasivité de la toile et augmentant en même temps sa capacité de finition fonctionnelle.

Références

- [1] Mezghani, S., Sura, E., El Mansori, M., The effect of belt finishing process variables on the topography of finished surfaces (2008) Tribology Transactions, 51 (4), pp. 413-421.
- [2] Mezghani, S., El Mansori, M., Sura, E., Wear mechanism maps for the belt finishing of steel and cast iron (2009) Wear, 267 (1-4), pp. 86-91.
- [3] Serpin K., Mezghani S., El Mansori M., Wear study of structured coated belts in advanced abrasive belt finishing (2015) Surface and Coatings Technology, 284, 365-376.
- [4] Serpin K., Mezghani S., El Mansori M., Multiscale assessment of structured coated abrasive grits in belt finishing process (2015) Wear 332, 780-787.
- [5] Mansori M.E., Mezghani S., Sabri L., Zahouani H., On concept of process signature in analysis of multistage surface formation (2010) Surface Engineering 26 (3), 216-223.

DEVELOPPEMENT D’UN MODELE NUMERIQUE SIMULANT LE COMPORTEMENT MECANIQUE DES CARBURES DE TUNGSTENE SOLLICITES EN IMPACT-GLISSEMENT

M. Fall, G. Bouvard, G. Guillonnet, V. Fridrici et Ph. Kapsa

*Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR CNRS 5513 ECL-ENISE-ENTPE,
Université de Lyon, Ecole Centrale de Lyon, Bat. TMM23, 36 Avenue Guy de Collongue,
69134 Ecully Cedex, France*

MOTS CLES

Simulation numérique, usure, impact-glisserment

Les composites à base de grains de carbure de tungstène et liant métallique sont souvent utilisés comme dents de tunneliers. En effet, ils sont caractérisés par une dureté et une ténacité élevées, couplées à une résistance importante aux conditions environnementales d’excavation. Ces conditions extrêmes finissent néanmoins par endommager ces matériaux. Lors de l’excavation, les dents des tunneliers sont soumises à des impacts successifs par les particules du terrain excavé entraînant leur fissuration. La vitesse de rotation de la tête du tunnelier contribue grandement à accentuer leur usure. Ce contact combinant un impact et un glissement entre la roche et les dents fait l’objet de notre étude. Les phénomènes d’usure de ces carbures de tungstène sont analysés à travers un modèle numérique sous ABAQUS/Explicit en complément des tests expérimentaux effectués sur un banc d’impact-glisserment développé au Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes.

Le modèle 3D élaboré représente l’outil en carbure de tungstène par un échantillon plan rectangulaire sur lequel une bille en acier AISI 52100 ou en SiC vient impacter. Des conditions limites attribuées à la bille et au plan permettent d’avoir un modèle représentatif des conditions expérimentales. Ceci permet d’obtenir des valeurs de contraintes et de déformations au niveau du contact, qui sont analysées en fonction des conditions de sollicitation. De plus, les paramètres du modèle peuvent être changés et permettre de concevoir des contacts dans des conditions plus sévères, en particulier l’énergie d’impact et l’angle d’impact qui correspond à l’inclinaison du plan. De ce fait, un impact avec une énergie donnée sous un angle élevé (inclinaison faible de l’échantillon par rapport à la normale) devrait induire un glissement faible, alors qu’un angle faible provoquerait un glissement plus important.

Cette étude numérique couplée aux résultats des tests expérimentaux (analyse du volume d’usure en fonction de l’énergie d’impact cumulée pour différents matériaux) permet de mieux comprendre les phénomènes d’usure observés dans les conditions d’impact-glisserment pour différents matériaux à base de carbure de tungstène.

TRIBOMETRIE PREDICTIVE, au service des matériaux et de l’industrie

A. Magnée¹

1. ULg, Tribosolution

MOTS CLES

INTRODUCTION

La tribologie de nos jours est arrivée à un stade de maturité indéniable, elle s’inscrit dans les préoccupations fondamentales des concepteurs et du monde industriel.

Nous aborderons plus spécifiquement un rappel des lois normatives régissant les phénomènes d’érosion, d’abrasion et d’adhésion avec pour illustrations des cas d’expériences vécues dans le domaine de :

- Matériaux décoratifs des structures TGV
- Panneaux photovoltaïques soumis aux intempéries agressives
- Situations complexes d’abrasion-adhésion de matériaux d’usage courant en transports métropolitains.

MATERIAUX RESISTANT A L’ABRASION

Les problèmes d’usure concernent aujourd’hui de nombreux secteurs d’activités, en particulier le domaine des équipements qui ne font pas appel au frottement lubrifié

Le choix d’alliages ou de développements de nouveaux matériaux plus performants constitue un problème que l’on rencontre fréquemment dans diverses industries, où les organes sont soumis à de l’abrasion et/ou érosion. Il s’agit en effet, de deux formes d’usure prédominantes du monde industriel.

Dans la pratique, les problèmes tribologiques sont généralement complexes et les paramètres importants à maîtriser sont nombreux, difficiles à mesurer et souvent mal identifiés. De plus, l’utilisation de règles strictes de conception est malaisée, vu l’absence de lois suffisamment générales pour rendre compte de ce type d’endommagement.

L’ensemble des auteurs traitant de ce type de problèmes s’accordent à considérer que la relation d’Archard constitue le modèle de base décrivant le phénomène d’abrasion. Celle-ci s’exprime sous la forme suivante :

$$W = K \frac{FL}{H} \quad (\text{Eq.1})$$

Où :

W est l’usure volumique du matériau abrasé (m³), L la longueur du chemin de glissement du corps abrasif entaillant la surface du matériau considéré (m), F est la force normale de contact (N), H est la dureté du matériau (N/m²). Dans cette expression, le terme K constitue un coefficient non dimensionnel, qui fixe l’amplitude du phénomène d’abrasion : ce facteur est généralement intitulé coefficient d’usure d’Archard.

Cette relation est intéressante car elle fait appel à des grandeurs physiques simples et facilement accessibles par l’expérience, comme la dureté du matériau, la force de contact, le chemin de glissement. Le coefficient K est une mesure de la probabilité pour une particule d’usure soit produite lorsque le corps abrasif glisse sur un matériau donné ($K \leq 1$).

MATERIAUX RESISTANT A L’EROSION

L’érosion concerne l’endommagement des surfaces par des particules lancées contre celles-ci à de grandes vitesses, généralement de l’ordre de quelques dizaines de m/s. Nous décrivons ici essentiellement l’usure de matériaux sous l’action d’un flux de particules solides, l’érosion par fluide et par cavitation dépendant de phénomènes d’usure par fatigue. On n’aborde pas d’avantage des formes très particulières qualifiées parfois d’érosion comme celles dues à des impacts répétés d’une même surface (martelage) et à des conditions électriques (étincelage).

Enfin, on ne considère pas non plus le domaine limite des impacts supersoniques ($V > 300\text{m/s}$) qui impliquent, au niveau des matériaux, la prise en compte dans la rhéologie de leur comportement d’effets couplés tant dynamiques (sensibilité à la vitesse de déformation) que thermiques (apparition de gradient de température).

La loi fondamentale de l’érosion découle des travaux de Finnie et Bitter :

$$W = \frac{MV^2}{2} \times \frac{1}{3P_y} \times f(\alpha) \quad (\text{Eq.2})$$

Où

W est l’usure volumique du matériau érodé (m^3), V la vitesse d’impact des particules (m/s), M la masse totale des particules impactant la surface (kg), $3P_y$ la limite d’écoulement ultime ou résistance maximale du matériau (N/m^2). $f(\alpha)$ est une fonction trigonométrique de l’angle d’impact des particules, α .

L’érosion du matériau est donc la conséquence d’un transfert d’énergie cinétique des particules qui induit dans le matériau des pertes de son intégrité par dépassement local de sa capacité intrinsèque de résistance conduisant au phénomène d’usure.

Références

- [1] A. Magnée, D. Coutouradis (1973) « *Comportement à l’érosion par abrasion-impact de quelques alliages ferreux au chrome pour pièces d’usure* », CEM, Saint-Etienne, Novembre 1973, pp. 279-312.
- [2] A. Magnée, D. Coutouradis, J.M. Drapier, L. Habraken (1973) « *Evaluation de la résistance à l’abrasion de matériaux de rechargement* », Industrie Minérale, mars 1976, pp. 1-14.
- [3] A. Magnée, C. Gaspard, M. Gabriel, L. Habraken (1984) « *Wear behaviour of steels for hot working rolling-mill rolls* », CRM Reports, décembre 1980, pp. 25-39.
- [4] A. Magnée, (1984) « *Impact hardening kinetics and structural transformation of Fe-Cr-Mn alloys* », CEN, tome XV, n°5, mars 1984, pp. 15.1-15.12.
- [4] A. Magnée, (1984) « *Méthodes de simulation pour l’étude métallurgique de l’abrasion, de l’érosion et de l’usure à chaud* », ATB Métallurgie, tome XXIV, décembre 1984, pp. 369-386.
- [4] A. Magnée, (1989) « *Amélioration de la tenue des aciers par durcissement sous chocs répétés* », Soc. Belge des mécaniciens, Bruxelles, tome XXIV, n°1404, avril 1989, pp. 5.1-5.9.

Evaluation de l’abrasivité du liquide chargé pour l’industrie cosmétique, chimique et agro-alimentaire

Yan-Ming CHEN, David CAZE, Kevin LECLERC

Cetim, Pôle Matériaux Métalliques et Surfaces, Laboratoire Tribologie. Senlis France
yan-ming.chen@cetim.fr

MOTS CLES

Abrasion à trois corps, abrasivité, acier inoxydable

L’abrasivité des granulats a été intensivement étudiée dans les années 50 pour répondre aux besoins croissants dans les exploitations des mines et des carrières. Mais c’est dans les années 80, J. Miller a proposé un test simple basé sur un frottement linéaire d’un échantillon métallique dans un lit d’abrasif ; Ce test a été normalisé par ASTM (ASTM G-75) pour classer les granulats selon leur abrasivité (Miller Number). En France le Laboratoire Centrale de Pont et Chaussée a également créé un test qui consiste à faire tourner une éprouvette métallique dans un pot d’abrasif. La perte de masse est utilisée pour évaluer l’abrasivité des granulats. Depuis les 30 dernières années, ces deux types de test ont largement contribué à l’évaluation de l’abrasivité des granulats dans l’industrie minière et génie civile.

Aujourd’hui, les fabricants des équipements pour l’industrie chimiques, cosmétiques et agro-alimentaire confondent une problématique similaire, mais avec des produits différents, particules plus fines, liquide plus visqueux et avec des compositions souvent très complexe. Les industriels souhaitent disposer des méthodes d’essai représentatives des sollicitations de leur équipement. Afin de rechercher les méthodes pour évaluer la durée de vie d’un composant exposé à l’abrasion à trois corps, le CETIM a mené des études selon les besoins des industriels.

Des analyses de mécanismes d’usure ont été réalisées avec des pièces démontées des machines de production pour mieux définir les modes d’usure ciblés dans les essais.

La première étude a pour but d’évaluer l’abrasivité des produits avec des particules solides dans un liquide visqueux. L’essai consiste à faire tourner un disque contre trois galets dans un liquide chargé d’abrasif. La méthode d’essai mise au point ont permis de démontrer les interactions entre la viscosité et la taille des particules sur l’usure selon le régime de lubrification.

La deuxième étude utilise la machine d’abrasion Miller pour étudier l’abrasivité des produits cosmétiques, chimiques et agro-alimentaire. L’éprouvette en fonte au chrome couramment utilisé dans l’industrie minière a été remplacée par des éprouvettes en acier inoxydable pour mieux représenter les équipements utilisés dans ces industries. Les conditions d’essais ont été également optimisées pour adapter les spécificités des produits. Les résultats de l’usure ont été utilisés pour optimiser la formulation des produits ou le choix de matériaux. Les mesures de l’état de surface des éprouvettes après l’essai montrent des rugosités spécifiques avec certains produits. On note, par exemple, que la rugosité asymétrique Rsk d’une éprouvette en 316L a très fortement diminué après un test de courte durée dans des particules à base de rafles de maïs, ce qui montre une possibilité de texturation de surface par tribofinition avec un produit biodégradable.

VERS UNE APPROCHE TRIBOLOGIQUE MULTIECHELLE POUR LA QUALIFICATION DE L’USINABILITE DES AGROCOMPOSITES

F. Chegiani, M. El Mansori, S. Mezghani

Arts et Métiers ParisTech, Laboratoire MSMP, EA7350, Rue Saint Dominique, BP508, 51006, Châlons-en-Champagne.

MOTS CLES

Agrocomposite, Usinabilité, Mécanismes tribologiques de coupe ; Rugosité de surface, Analyse multiéchelle.

INTRODUCTION

L’utilisation des fibres végétales comme renfort pour les matériaux composites constitue un vrai challenge écologique, économique et technologique pour les industriels ainsi que pour les chercheurs scientifiques. En effet, les fibres végétales possèdent un potentiel économique grâce à leur faible coût de production par rapport aux fibres de verre [1], un potentiel écologique grâce à leur faible impact environnemental et leur recyclabilité[2]. En plus, certains types de fibres végétales peuvent concurrencer les fibres synthétiques de verre couramment utilisées en industrie en termes de propriétés mécaniques [3].

Toutefois, les conditions des procédés d’usinage et de finition des composites à fibres végétales (ou agrocomposites) sont encore mal maîtrisées. En effet, l’usinage des agrocomposites est un processus très complexe en raison de la structure spécifique des fibres végétales à l’intérieur des matériaux composites[4]. Les aspects tribologiques de la coupe des fibres végétales sont alors différentes des celles des fibres synthétiques et, par conséquent, l’analyse des surfaces usinées de ces matériaux bio-sourcés nécessite alors la sélection des échelles pertinentes qui peuvent discriminer les différents effets des propriétés matériaux et des paramètres du procédé[5–8].

L’APPROCHE METHODOLOGIQUE

Ce papier propose une nouvelle méthodologie pour la qualification de l’usinabilité des agrocomposites en prenant en compte l’aspect tribologique multiéchelle de ces matériaux. Pour ce faire, trois structures fibreuses végétales sont considérées (fibres courtes, fibres longues unidirectionnelles et fibres longues bidirectionnelles) comme montré dans la figure 1. Chaque structure fibreuse a été testée au sein d’un matériau composites à matrice polypropylène par opération de fraisage de profils à différentes conditions de coupe. La topographie des surfaces usinées a été mesurée par la méthode standard et les signaux topographiques résultants ont été analysés par une approche multiéchelle basée sur la transformée en ondelettes.



Figure 1 : différentes structures étudiées de renforts fibreux. a) fibres courtes, b) fibres longues unidirectionnelles et c) fibres longues bidirectionnelles.

METHODE MULTIECHELLE DE QUALIFICATION

Les résultats démontrent la corrélation inhérente entre les échelles d'analyse et les échelles des renforts fibreux. En effet, et indépendamment du type de renfort fibreux (i.e. type de fibre végétale), les échelles d'analyse capables de discriminer les effets tribologiques des paramètres matériau / procédé correspondent à la taille du renfort fibreux végétal à l'intérieur du composite. A ces échelles appropriées, l'analyse de l'usinage est plus pertinente et certains critères contrôlant les mécanismes tribologiques de coupe sont identifiés. Ces critères sont des critères liés à la fois au matériau (i.e. la fibre végétale), à la géométrie de l'outil de coupe et à sa cinématique.

REFERENCES

- [1] D.B. Dittenber, H.V.S. GangaRao, Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure, *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 43 (2012) 1419–1429. doi:10.1016/j.compositesa.2011.11.019.
- [2] A. Shalwan, B.F. Yousif, In State of Art: Mechanical and tribological behaviour of polymeric composites based on natural fibres, *Mater. Des.* 48 (2013) 14–24. doi:10.1016/j.matdes.2012.07.014.
- [3] D.U. Shah, Developing plant fibre composites for structural applications by optimising composite parameters: a critical review, *J. Mater. Sci.* 48 (2013) 6083–6107. doi:10.1007/s10853-013-7458-7.
- [4] C. Baley, Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase, *Compos. - Part A Appl. Sci. Manuf.* 33 (2002) 939–948. doi:10.1016/S1359-835X(02)00040-4.
- [5] F. Chegdani, S. Mezghani, M. El Mansori, A. Mkaddem, Fiber type effect on tribological behavior when cutting natural fiber reinforced plastics, *Wear.* 332–333 (2015) 772–779. doi:10.1016/j.wear.2014.12.039.
- [6] F. Chegdani, S. Mezghani, M. El Mansori, Experimental study of coated tools effects in dry cutting of natural fiber reinforced plastics, *Surf. Coatings Technol.* 284 (2015) 264–272. doi:10.1016/j.surfcoat.2015.06.083.
- [7] F. Chegdani, S. Mezghani, M. El Mansori, On the multiscale tribological signatures of the tool helix angle in profile milling of woven flax fiber composites, *Tribol. Int.* 100 (2016) 132–140. doi:10.1016/j.triboint.2015.12.014.
- [8] F. Chegdani, S. Mezghani, M. El Mansori, Correlation between mechanical scales and analysis scales of topographic signals under milling process of natural fibre composites, *J. Compos. Mater.* (2016). doi:10.1177/0021998316676625.

DEVELOPPEMENT DE METHODES EXPERIMENTALES DEDIEES AUX CONDITIONS EXTREMES – APPLICATION AUX GRANDES VITESSES D'INTERACTION

CONFERENCE INVITEE

Sylvain PHILIPPON

Thermomécanique du Contact Rapide

Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux

Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz – Lorraine INP, Metz

sylvain.philippon@univ-lorraine.fr

RESUME

Il existe un large panel de méthodes expérimentales dédiées à la mesure des efforts de contact aux grandes vitesses d'interaction. L'aéronautique, l'automobile ou les procédés de mise en forme (usinage, laminage, forgeage) sont intéressés par ces moyens afin de mettre en corrélation efforts et mécanismes d'endommagement observés in-situ ou a posteriori. Depuis plus de dix ans notre équipe développe des outils expérimentaux pour les grandes vitesses d'interaction ($20 \text{ m/s} < V < 250 \text{ m/s}$) où le chargement thermomécanique est quasi-instantané à l'interface de frottement. Les modes d'interaction portent sur le frottement sec mais aussi sur le (micro)enlèvement de matière. Si l'objectif initial était de mesurer une valeur moyenne pour des efforts d'interaction au cours d'un essai, il est aujourd'hui bien plus pertinent. En s'appuyant sur une revue non exhaustive des méthodes originales proposées par d'autres auteurs, cet exposé présente les innovations développées par l'équipe messine au cours de cette décennie. Ces outils permettent à différentes échelles, des études tribologiques de couples de matériaux métalliques massifs ou de revêtements minces hétérogènes. Les propos seront illustrés par un exemple et sur les mesures réalisées dans le cas d'une interaction entre un outil en alliage de titane (Ti6Al4V) et un revêtement de compresseur basse pression de turboréacteurs (projets de recherche avec Safran Aircraft Engines). Pour conclure, les dernières solutions expérimentales répondant aux nouveaux objectifs de nos partenaires seront brièvement présentées.



JIFT 2017
29^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie
Tribologie dans l'Innovation Mécanique
17-19 mai 2017 Saint Ouen



SESSION 7

-

REVÊTEMENTS



Propriétés tribologiques de monocouches auto-assemblées sur un substrat de cuivre – Influence de la longueur de la chaîne alkyle.

X. Roizard¹, M. Moine², A. Et Taouil³, J.M.Melot³, F. Lallemand⁴

1. Institut FEMTO-ST – DMA, UMR 6174, CNRS UFC ENSMMUTBM, F-25000 Besançon

2. MATEIS – UMR 5510 CNRS INSA Lyon F-69000 Lyon

3. Institut UTINAM – UMR 6213 CNRS, UFC F-25009 Besançon

4. AFULudine SAS – F25000 Besançon

MOTS CLES

Monocouches auto-assemblées, frottement, longueur de chaîne

RESUME

Les monocouches auto-assemblées (SAM : Self-Assembled Monolayer) sont de plus en plus couramment utilisées pour apporter à une surface de nouvelles propriétés, notamment en termes de protection contre la corrosion, d’énergie de surface mais aussi tribologiques même si on sait bien de nos jours que les propriétés tribologiques ne sont pas des propriétés intrinsèques de la surface.

Dans nos laboratoires respectifs, nous cherchons à ajouter à ce type de fonctionnalisation celui d’une aptitude tribologique améliorée, notamment pour limiter la quantité de lubrifiant nécessaire aux opérations de formage des alliages de cuivre, voire même sa substitution totale.

Depuis septembre 2016, la société AFULudine a été créée afin de commercialiser une fonctionnalisation de surface particulière qui permet la mise en forme de métaux sans aucun ajout de lubrification. Cette fonctionnalisation (brevet n° PCT/EP2015/072172 – September 25, 2015) a trouvé son origine dans la technologie simple d’application des SAM’s.

Dans ce papier, nous nous focalisons sur une famille de molécules capable de s’adsorber sur un substrat oxydé : les acides alkylphosphoniques, et nous cherchons à établir une corrélation entre les propriétés de greffage qui dépendent de la longueur de la chaîne alkyle et leurs aptitudes tribologiques.

Ainsi, trois acides phosphoniques avec des longueurs de chaîne allant de 4 carbones à 16 carbones ont été synthétisées et greffées sur un cuivre A1. Les caractérisations de surface ont été effectuées par imagerie optique, par angle de goutte et la structure chimique a été étudiée par IRAS alors que le taux de blocage électrochimique a été évalué par des mesures de voltamétries cycliques. A ces caractérisations ont été confrontés les résultats tribologiques des surfaces fonctionnalisées à l’issue de tests de frottement de type bille-plan linéaires alternatifs.

Il apparait clairement que la longueur de chaîne est un facteur influent quant aux performances tribologiques de la fonctionnalisation, notamment lorsque des espèces physisorbées restent présentes à la surface.

INVESTIGATION ON INFLUENCES OF DIAMOND-LIKE CARBON COATINGS AND ROUGHNESS ON FRETTING BEHAVIORS OF Ti6Al4V FOR MODULAR HIP IMPLANTS APPLICATIONS

H.H. Ding¹, V. Fridrici¹, J. Géringier², J. Fontaine¹ and Ph. Kapsa¹

1. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR CNRS 5513 ECL-ENISE-ENTPE, Université de Lyon, Ecole Centrale de Lyon, Bat. TMM23, 36 avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully cedex, France

2. Mines Saint-Etienne, Unité Inserm Sainbiose U1059, Université de Lyon, 158 cours Fauriel 42023 Saint-Etienne-France

KEYWORDS

Diamond-like carbon coating, Roughness, Fretting

INTRODUCTION

About THA, Total Hip Arthroplasty, using a neck adapter facilitates the hip replacement surgery and allows adaptation of the implant size to patients. However, it introduces another interface, stem / neck adapter, which is propitious to fretting damage during walking due to repeated loadings every second of gait. Furthermore, Ti-6Al-4V, a widely-used material in prostheses, has poor fretting resistance. Diamond-like carbon (DLC) coatings, which offer the unique combination of high wear resistance and low friction [1], may be considered to solve this problem. Moreover, lower roughness of surfaces subjected to gross slip fretting may delay activation of wear process and reduce wear rate [2].

The objective of this work is to investigate the effects of DLC coatings and roughness on fretting behaviors of Ti-6Al-4V / Ti-6Al-4V contact with different contact forces and displacement sliding amplitudes. Coating response maps are obtained according to comprehensive analysis of coefficient of friction (COF), wear volume and wear scars. The failure process of DLC coatings is illustrated as well.

EXPERIMENTAL DETAILS

Fretting tests were carried out under ambient conditions (temperature: 18~23°C, humidity: 30~50%) using a tension compression MTS hydraulic system with a cylinder-on-flat geometry contact. Rough ($S_a = 400 \pm 20$ nm) and polished ($S_a = 30 \pm 7$ nm) flat samples were coated or not with DLC coating, deposited by Plasma-Assisted Chemical Vapor Deposition. Two DLC coatings were used: DLC A with higher hardness and elastic modulus and DLC B with lower hardness and elastic modulus. The roughness shows no obvious change after deposition. A rough cylinder ($S_a = 750 \pm 20$ nm) without coating was used. Roughness parameters are close to the ones obtained on real parts.

Three displacement amplitudes (± 20 , ± 40 and ± 70 μm) associated with different normal forces from 200 N (280 MPa) to 1100 N (660 MPa) were applied. The frequency was 5 Hz. The number of cycles was 100 000. The friction, wear and damage mechanism were analyzed in details.

RESULTS AND DISCUSSION

For tests without coatings, the COF is high (0.8-1.2). The total wear volume (sum of wear volumes of flat and cylinder) exhibits an apparent increase with displacement. With the increase in normal force, the wear volume shows an obvious increase with the displacement of 70 μm , but shows no obvious change with the displacement of 40 μm , and is always close to 0 with the displacement of 20 μm .

For tests with DLC coatings (Figure 1), coating response maps can be divided into three areas: coating working area under low displacement and low force conditions, coating failure area under high displacement and high force conditions and transition area only existing under low displacement conditions. In the coating working area, the coating is not or only partly removed, the COF and the wear volume are low. In the coating failure area, the coating is almost totally removed, the COF is high and the wear volume is similar to tests without coatings. In the transition area, the coating is partly removed and the COF has an intermediate value. Furthermore, DLC A shows better fretting properties than DLC B. Coatings on polished surfaces exhibit better tribological performance than rough ones.

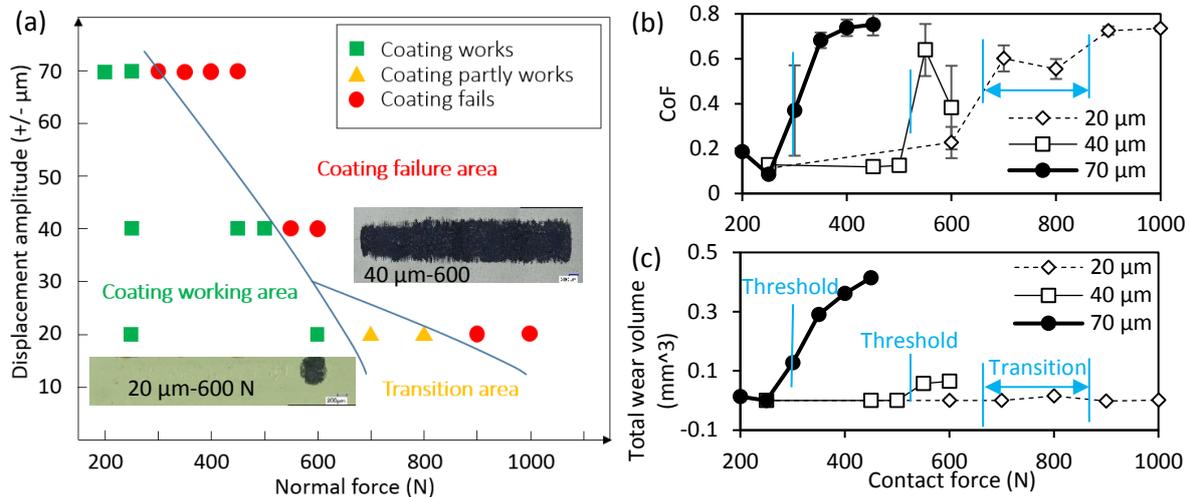


Figure 1: Tests on polished flats with DLC A: (a) coating response map, (b) coefficient of friction and (c) total wear volume.

The failure process of DLC can be divided into several steps. The wear of DLC material decreases the coating thickness and the stress limit. Small cracks generate when contact stress is above the limit. Two or more cracks joining each other lead to small parts of DLC material flake off. The coating flaking-off develops into small pits, then large pits and then severe wear area. Under high displacements like 40 or 70 μm, the loss of material in severe wear area is high. With test going on, the contact stress declines and the load moves mainly to the slight wear area. The slight wear area can bear the load and functions a large number of cycles when the contact force is low. When the contact force is high, the slight wear area cannot bear the load and the coating is rapidly almost totally removed. Under the low displacement of 20 μm, the loss of material on severe wear area is very low, therefore, both the slight and the severe wear areas participate in carrying the load and lead to a transition area. The increase of force and displacement accelerates the coating failure process.

CONCLUSION

DLC coatings can protect Ti-6Al-4V from fretting wear and damage under low displacement and low force conditions. Harder DLC A shows better fretting properties and polished surfaces exhibit better tribological performance. The increase in force and displacement accelerates the coating failure process.

References

- [1] J. Fontaine (2008) « Towards the use of diamond-like carbon solid lubricant coatings in vacuum and space environments », Proc. IMechE Part J: J. Engineering Tribology, **222**, pp. 1015-1025.
- [2] K.J. Kubiak, T.W. Liskiewicz, T.G. Mathia (2011) « Surface morphology in engineering applications: Influence of roughness on sliding and wear in dry fretting », Tribology International, **44**, pp. 1427-1432.

INTERET TRIBOLOGIQUE DES DEPOTS DLC POUR APPLICATIONS FORTEMENT CHARGEES : LES ROULEMENTS

Pierre-François CARDEY¹

1. CETIM – Pôle Matériaux Métalliques et Surfaces – St Etienne - France

MOTS CLES

DLC, Diamond Like Carbon, Roulement, Dépôt

Les données techniques concernant le comportement tribologique des dépôts minces réalisés sous vide (tels que les TiN, CrN, DLC...) ne sont pas toujours facilement utilisables pour des applications industrielles. En effet, ces données sont souvent issues d'essais réalisés dans des conditions rarement représentatives des sollicitations réelles des pièces mécaniques, en particulier lorsqu'il s'agit d'applications à forte charge.

Afin d'aider les industriels dans le choix de revêtements DLC (Diamond Like Carbon), le CETIM a réalisé une étude pour mieux comprendre l'influence des paramètres structurels des couches minces (épaisseur, adhérence, composition...) sur le comportement en frottement et la résistance à l'usure de certains revêtements de carbone amorphe (DLC, WC/C).

Pour cette étude, les roulements sont particulièrement adaptés en raison de leurs surfaces superfinies (pistes et éléments de roulement). En effet, les performances des revêtements DLC sont très dépendantes de la rugosité du substrat. De plus, les surfaces de contact dans les roulements présentent l'avantage d'être sollicitées mécaniquement (pression de contact élevée) et tribologiquement (frottement, fretting...).

Dix références de dépôts de carbone amorphe (a-C:H, a-C:H:Si et WC/C) ont été réalisées sur des éléments de roulements avec différents états de surface (état brut de production : super finition, et état optimisé : tribofinition). Ces dépôts ont été évalués sur des essais spécifiques pour caractériser leur résistance aux fortes pressions de contact, leur comportement en frottement, leur durée de vie en fretting (faux effet Brinell) et leur tenue à la corrosion.

La plupart des dépôts étudiés présente une résistance insuffisante pour les applications de roulement à très fortes charges. Cependant, pour des pressions de contacts moins sévères, les dépôts de DLC ont une résistance à l'usure par fretting remarquable et permettent de réduire sensiblement le couple de roulement.



JIFT 2017

29^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie
Tribologie dans l'Innovation Mécanique

17-19 mai 2017 Saint Ouen



SESSION 8

-

TRIBOLOGIE DU PNEUMATIQUE



Etude du contact pneumatique/chaussée en roulement glissement et en frottement linéaire

J. Bousmat^{1,2*}, A. Le Bot¹, J. Scheibert¹, F. Bremond²

1. Laboratoire de tribologie et dynamique des systèmes, Ecully 69134, France

2. Michelin Centre de recherche et de technologies de Ladoux, Cebazat 63118, France

MOTS CLES

Frottement sec, Pneumatique, roulement/glissement

INTRODUCTION

Pour des raisons de sécurité et de consommations d’énergie, le frottement dans le contact pneumatique/chaussée est devenu une propriété majeure dans la conception des pneumatiques. Cependant, l’origine du frottement dans ce contact et le rapport avec les conditions cinématique reste mal comprise. Lors de cette étude, nous avons réalisé des expériences de frottement entre des échantillons des gommés et des échantillons pour deux conditions cinématiques différentes

FROTTEMENT LINEAIRE

Le premier dispositif expérimental permet de mettre en contact un échantillon plan d’élastomère avec une route circulaire. Après un temps contrôlé en contact statique, la route est mise en rotation à vitesse constante. La force normale et la force tangentielle sont mesurées en fonction du temps. Nous varions l’âge du contact avant glissement ainsi que la vitesse de cisaillement.

CONTACT EN ROULEMENT/GLISSEMENT

Pour le second dispositif expérimental, un cylindre d’élastomère est mis en contact avec le même échantillon de route que précédemment. Les deux solides sont mis en rotations. Le taux de glissement, c’est-à-dire le rapport entre la différence de vitesse entre les deux solides et la vitesse de la route, est contrôlée et varie au cours de l’expérience.

CONCLUSION

Nous présenterons l’évolution du coefficient de frottement en fonction de la vitesse de cisaillement et en fonction de l’âge du contact. Nous présenterons aussi l’évolution du coefficient de frottement en fonction du taux de glissement pour plusieurs forces normales et plusieurs vitesses moyennes. Les deux types d’expérience seront comparés et discutés.

MODELISATION AVANCEE DU CONTACT PNEU-CHAUSSEE

P. Reynaud¹, B. Picoux¹, E. Manyo¹, D. Nélias² et C. Petit¹

1. Université de Limoges, GCDD, EA 3178, F-19300 Egletons, France

2. Université de Lyon, CNRS, INSA-Lyon, LaMCoS UMR5259, F69621, France

MOTS CLES

Contact pneu-chaussée, Contact Hertzien, Calcul Semi Analytique, Photogrammétrie

INTRODUCTION

La réalisation et la maintenance du réseau routier entraînent des coûts financiers importants, des pollutions dues à l’utilisation d’une matière première pétrolière et une consommation énergétique élevée lors de son élaboration (160°C). L’enjeu de la construction routière devient donc un compromis entre la qualité mécanique de la chaussée et les coûts. L’apparition de nouveaux matériaux associée à une diminution de l’épaisseur des couches de surface et combinée à une augmentation des chargements des poids lourds et de leur fréquence de passage a entraîné de nouvelles pathologies de dégradation des chaussées. Outre les problèmes d’orniérage bien connus, on trouve désormais l’apparition de fissures descendantes (top down cracking) ainsi que des problèmes de décohésion aux interfaces. Cette étude propose de répondre scientifiquement et concrètement à ces pathologies. Après une étude de faisabilité de la modélisation du contact pneu – chaussée par un code de calcul semi-analytique (SAM) développé au LaMCoS et présenté dans [1], [2] dans laquelle nous travaillions avec un pneu lisse [3], nous réalisons aujourd’hui des calculs du contact avec la géométrie réelle d’un pneumatique de poids lourd. La géométrie et la structure du pneu est introduite dans le code de calcul grâce à une numérisation fine par photogrammétrie. Les résultats du champ de pression calculé par SAM sont comparés avec des mesures effectuées au laboratoire à l’aide d’un capteur de pression TEKSCAN.

MODELISATION DU CONTACT PNEU – CHAUSSEE

La première étape a consisté à définir la géométrie et la rigidité du pneu en contact avec la chaussée. Des pneus réels sous différentes pressions de gonflage ont été modélisés dans le détail de leur structure à l’aide d’une technique optique de photogrammétrie (Figure 1). Leur module d’Young a ensuite été mesuré sous une presse.

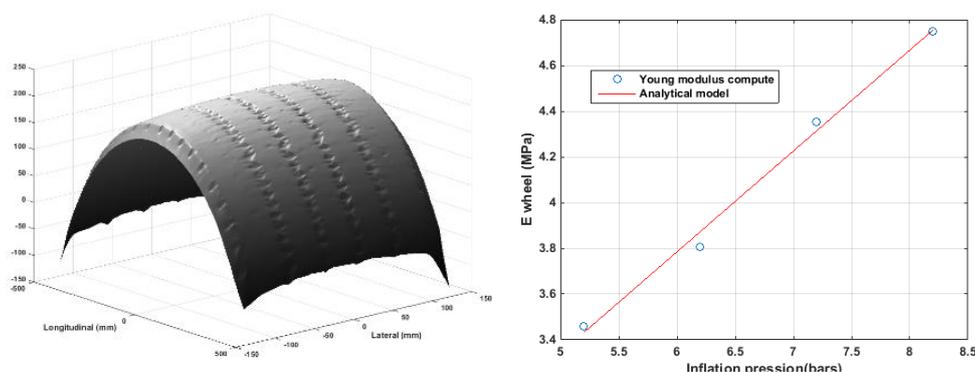


Figure 1: Pneu poids lourd numérisé (à gauche) et module d’Young équivalent (à droite)

Le pneumatique est considéré comme un matériau homogène et isotrope dont nous mesurons le module d’Young équivalent pour différentes pressions de gonflage. La géométrie du pneumatique est elle aussi liée à la pression de gonflage. Les calculs des aires de contact sous différents chargements sont comparés à des mesures d’empreintes des pneumatiques sous la même presse reproduisant les chargements pour des pneus à différentes pressions de gonflage.

VALIDATIONS EXPERIMENTALES DES PRESSIONS DE CONTACT

Par la suite, les calculs des pressions de contact sont effectués et comparés avec les mesures sous presse pour différents chargements (Figure 2). On peut constater une bonne corrélation entre mesures et calcul numérique.

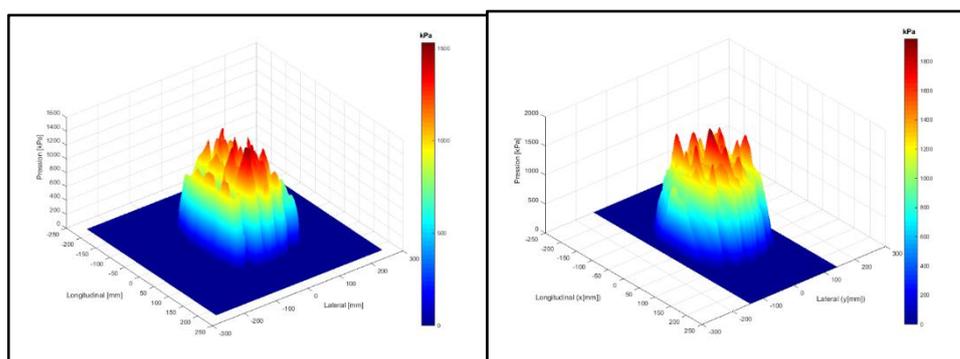


Figure 2: Répartition des pressions de contact mesurée (à gauche) et calculée par SAM (à droite) pour un même pneumatique et une même charge

CONCLUSION

Cette étude permet la validation du code de calcul SAM pour l’analyse du contact pneu-chaussée plus réaliste, plus précis et surtout plus rapide que ceux utilisés à l’heure actuelle. Il permet d’avoir accès aux valeurs de pressions de contact réelles qui étaient minimisées jusqu’alors dans les calculs de dimensionnement et d’endommagement des chaussées. Le modèle permet aussi d’avoir une connaissance plus rapide des contraintes de traction à l’origine des fissures descendantes et des valeurs des contraintes de cisaillement maximales pour le concepteur de chaussées afin d’évaluer les problèmes de décohésions entre couche de roulement et couche de liaison.

Le modèle permet enfin également d’intégrer les formes et les rigidités réelles des pneumatiques. Par la suite, nous prévoyons d’intégrer également les efforts longitudinaux et transversaux présents dans ce type de contact. L’aspect visco-élasto-plastique du revêtement et les problèmes énergétiques du roulement tant d’un point de vue pneumatique que d’un point de vue chaussée seront aussi étudiés.

Références

- [1] Reynaud P., Picoux B., Nelias D., Petit C., « Approche tribologique du contact pneu-chaussée », 27ème Journées Internationales Francophones de Tribologie, At Nantes (France), May 2015.
- [2] Nélias D., Antacula E., Boucly V., « Rolling of an Elastic Ellipsoid Upon an Elastic-Plastic Flat », *ASME Journal of Tribology*, vol 129 (4) (2007) 791–800.
- [3] Reynaud, P., Nasr, S.B., Allou, F., Chaise, T., Nelias, D., Petit, C., 3D modelling of tyre-pavement contact pressure, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2016 DOI: 10.1080/19648189.2016.1150894.



JIFT 2017
29^{èmes} Journées Internationales Francophones de Tribologie
Tribologie dans l'Innovation Mécanique
17-19 mai 2017 Saint Ouen



SESSION POSTERS



ETUDE TRIBOLOGIQUE DU CONTACT DYNAMIQUE BRONZE- GRAPHITE ET GRAPHITE-GRAPHITE TRAVERSE PAR LE COURANT ELECTRIQUE

Mouadji Youcef¹, Bouchoucha Ali², Zaidi Hamid³, Bradai Mohand Amokrane⁴

¹*Ecole National Polytechnique de Constantine. Email : ymouadji@yahoo.fr*

²*Laboratoire de Mécanique. Faculté des Sciences de l’Ingénieur. Campus Chaabet Eserfa. Université de Constantine.*

³*Institut P’, Boulevard Marie et Pierre Curie • BP 30179 F86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL*

⁴*Laboratoire de Technologie des Matériaux et Génie des Procédés (LTMGP). Faculté de la Technologie, Route de Targua Ouzemour. Université de Béjaïa, 06000 Béjaïa,*

Résumé :

Cette étude concerne l’influence du courant électrique à l’interface des contacts dynamiques bronze-graphite et graphite-graphite sur :

- le comportement thermique du contact,
- les transformations physico-chimiques des surfaces frottantes,
- les modifications géométriques des matériaux antagonistes.

En effet, l’intensité du courant électrique induit un champ électrique dans le contact. Ce champ active le processus d’oxydation des surfaces. L’intensité du champ électrique dépend de la vitesse de croissance du film d’oxyde et donc de son épaisseur. Nos résultats montrent que l’action mécanique et/ou électrique détermine la durée de vie de ce film. De plus, ces résultats montrent aussi que le mécanisme de formation et de rupture de la couche oxydée est gouvernée essentiellement par :

- la concentration de l’oxygène à l’interface,
- la température interfaciale,
- la diffusion de l’oxygène à l’interface,
- le degré de déformation qui découle surtout de l’accroissement des densités de dislocation dans les cristaux d’une part et de la rupture de la couche oxydée d’autre part.
- les propriétés thermiques des matériaux frottants.

La discussion des résultats s’appuie sur des observations et des analyses des surfaces usées et des phénomènes interfaciaux résultant du comportement tribologiques des deux couples.

MOTS CLES

courant électrique, cuivre, graphite, usure, oxydation, diffusion, champ électrique, oxydation, film d’oxyde.

ETUDE DU COMPORTEMENT EN FROTTEMENT ET EN USURE DU CONTACT GLISSANT SEC ACIER-ACIER : CONSEQUENCES SUR LES SURFACES FROTTANTES

Abdelmalek Elhadi¹, Ali Bouchoucha²

1. Département de Génie Mécanique, Faculté de Technologie, Université de Mohamed Boudiaf, M’sila, Algérie.

2. Laboratoire de Mécanique, Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de la Technologie, Université des Frères Mentouri, Constantine1, Algérie.

MOTS CLES

Coefficient de frottement, taux d’usure, endommagement des surfaces.

RESUME

Le frottement et l’usure sont parmi les principaux facteurs limitant la durée de vie des systèmes mécaniques de glissement à sec. Les aciers faiblement alliés et les aciers au carbone sont les couples les plus utilisés pour la fabrication des pièces de ces systèmes et ce, grâce à leurs bonnes propriétés mécaniques et tribologiques.

L’objectif de ce travail est l’étude du comportement tribologique en frottement et en usure et les conséquences résultantes sur les surfaces frottantes d’un acier faiblement allié frottant contre un acier au carbone.

Les essais tribologiques à sec ont été effectués sur un tribomètre de type pion-disque dont les pions en acier 42CrMo4 avaient deux valeurs de dureté obtenues en faisant varier la température de revenu contre un disque en acier durci C55.

Les résultats obtenus montrent l’influence significative de la charge et de la dureté sur l’usure des pions.

La discussion des résultats et l’analyse des phénomènes interfaciaux reposent sur des observations au microscope électronique à balayage (MEB) équipé de spectroscopie à dispersion d’énergie EDS.

INTRODUCTION

Dans l’industrie, il existe un très grand nombre d’applications dont les mécanismes sont souvent soumis à des phénomènes de frottement et d’usure qui touchent à titre d’exemple les pièces en mouvement. Les aciers faiblement alliés sont les matériaux les plus utilisés pour la fabrication des mécanismes de glissement en raison de leurs propriétés mécaniques élevées [1]. Il a été observé par plusieurs chercheurs [2, 3] que la variation du frottement et d’usure dépend de la charge normale, la géométrie des surfaces de contact, le mouvement relatif des surfaces, la vitesse de glissement, la rugosité des surfaces de frottement, le type de matériau utilisé, la rigidité du système, la lubrification et la vibration. La présence d’usure dans les corps peut être l’origine d’une réduction de l’efficacité du système mécanique voire être la cause de l’invalidité de ce système [4].

L’objectif de ce travail est d’étudier l’influence de la charge normale appliquée et de la dureté du pion sur le comportement en frottement et en usure du contact glissant sec du couple 42CrMo4/C55 et les conséquences sur les surfaces frottantes.

MATERIAUX UTILISES

- Matériaux du pion

Le pion est une tige en acier 42CrMo4 de 6 mm de diamètre et 25 mm de longueur, en bout sphérique.

- Matériaux du disque

Le disque est un plateau circulaire de 50 mm de diamètre et 10 mm d’épaisseur, en acier C55.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

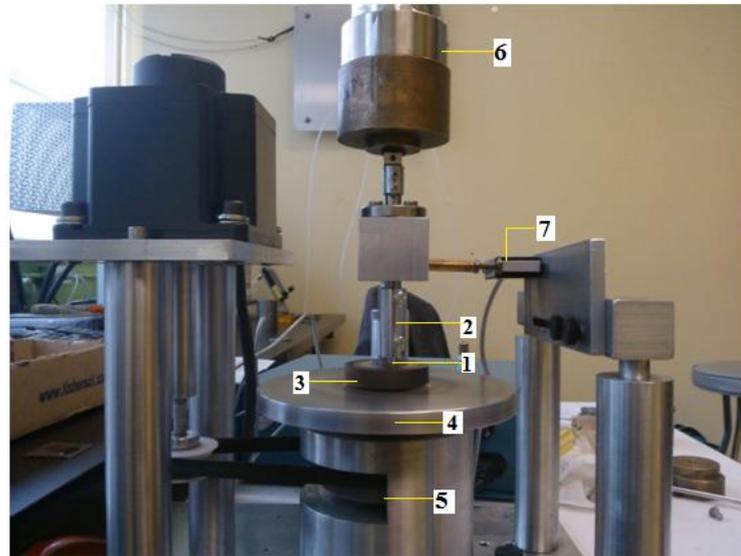


Figure 2 : Système de pion-disque.

RESULTATS

Variation du coefficient de frottement des pions en fonction de la charge normale

Variation du taux d’usure des pions en fonction de la charge normale

DISCUSSION

CONCLUSION

Les valeurs de coefficient de frottement diminuent avec l’augmentation de la charge normale.

La variation du taux d’usure est généralement une fonction linéaire avec la charge normale appliquée.

Le taux d’usure des pions décroît avec l’augmentation de la dureté.

Références

- [1] N. Khanafi-Benghalem, E. Felder, K. Loucif, P. Montmitonnet (2010) « *Plastic deformation of 25CrMo4 steel during wear: Effect of the temperature, the normal force, the sliding velocity and the structural state* » *Wear*, **volume**. no. 268, pp. 23-40.,
- [2] M. B. Peterson, W.O. Winer (1980) «*Wear Theory and Mechanisms, Wear Control Handbook*, , eds. »ASME, New York, NY, pp. 35-80.
- [3] B. Bhushan (1999) « *Principle and Applications of Tribology* » New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Jean. M.G (2000) « *Friction, wear and lubrication*» Eyrolles.

INFLUENCE DE LA MICROSTRUCTURE DANS LE COMPORTEMENT DE L’USURE DU LAITON EN MILIEU LUBRIFIÉ

Salima SENHADJI^{1,2}, Farid BELARIFI^{1,2}, François ROBBE-VALLOIRE³

1. Institut de Maintenance et de sécurité Industrielle, Université d’Oran2, B.P.170 El MNaouar, Oran Algérie, s.senhadji@yahoo.fr, belarifi_farid@yahoo.fr
 2. Laboratoire des Sciences de la Matière Condensée. Equipe de Tribologie & nano tribologie. Université d’Oran1. B.P.1524 El MNaouar, Oran Algérie
 3. Laboratoire d’Ingénierie des Systèmes Mécaniques et des Matériaux, SUPMECA, France, francois.robbe-valloir@supmecca.fr

MOTS CLES

Frottement, Usure, Lubrification mixte, Laiton, Déformation plastique

INTRODUCTION

Nous présentons dans ce travail les résultats d’une étude expérimentale du comportement à l’usure d’un couple laiton/acier en mode de lubrification mixte [1,2] sur un tribomètre pion disque en contact plan sur plan [3]. L’objectif de cette étude est la mise en évidence de l’influence de la microstructure du laiton sur son comportement à l’usure. Cette étude fait suite à un premier travail qui consistait en une étude comparative de l’usure en milieu lubrifié du laiton et du bronze, ayant presque la même dureté et soumis aux mêmes conditions d’essais [4]. Contrairement au bronze, nous avons constaté la prépondérance de la microstructure du laiton sur son comportement à l’usure. Notre objectif est la détermination du temps d’amorçage de l’usure, pour cela la campagne d’essais s’est déroulée pour une vitesse fixe et à différents intervalles de temps.

CONDITIONS EXPERIMENTALES

Les essais se sont déroulés à température ambiante pour les différents couples et sous les conditions d’essais indiquées dans le tableau 1. La vitesse, ayant été choisie après des essais préliminaires, permet la stabilisation du coefficient de frottement. Pour ce qui est des plages de temps, nous avons opté pour 300, 900, 1800, 3600 et 7200 secondes (figure 1).

	matériaux	Ra 10 ⁻⁶ m	Micro dureté Hv	Viscosité Pas	Pression MPa	Vitesse m.s ⁻¹
Pion	CuZn38Pb2	0.436	170			
Disque	XC42	2	0.15	0.034	10	0.5

Tableau 1 : Caractéristiques des éprouvettes utilisées et conditions des essais

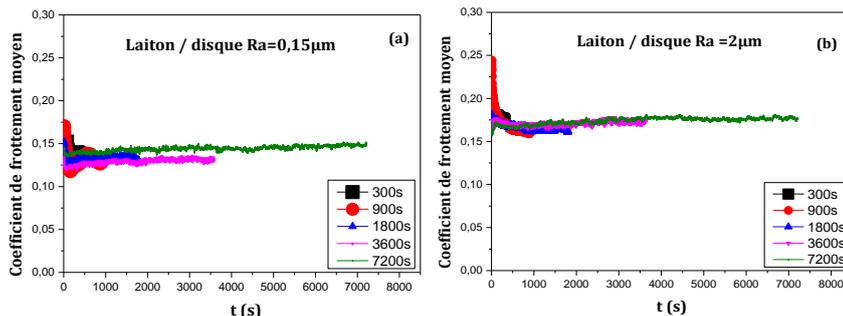


Figure 1 : Evolution du coefficient de frottement.

RESULTATSET DISCUSSIONS

L’analyse par microscope optique de la découpe orthogonale aux traces d’usure des pions (figure 2), ainsi que les mesures des microduretés en volume (figure 3) nous permet de faire les constatations suivantes :

- une déformation plastique de la phase α est présente en forme circulaire (zones rouges de la figure 2) uniformément distribuée tout au long de la surface, alors que la déformation de la phase β est non quantifiable à l’échelle micrométrique ;
- la déformation plastique ensurface des pions n’est pas, ou peu, influencée par la durée de l’essai et une saturation de la déformation plastique en sous couche est présente à partir de 300s ;
- pour toutes les durées des essais, la microdureté des sous couches est plus élevée, ce qui est dû principalement à la déformation plastique présente en surface. Au-delà de 70 μ m de profondeur à partir de la surface frottée, la dureté ne subit plus de variation notable, nous retrouvons la dureté initiale.

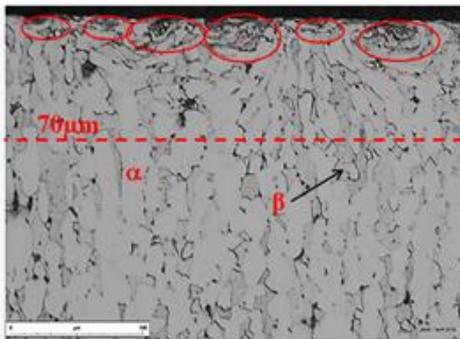


Figure 2 : Photo MEB de la microstructure après un essai avec un temps de 300s

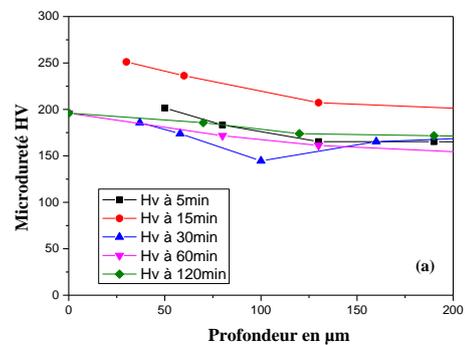


Figure 3 : Evolution de la microdureté en volume

References :

- [1] Robbe-Valloire F., Progre R., “Mechanisms developed at the asperity scale for mixed lubrication between parallel surfaces Jour. of Eng. Trib. (2012), Vol. 226, Issue 12, pp1141 - 1153.
- [2] F. Belarifi, G. Inglebert Modélisation numérique et confrontation expérimentale du comportement au frottement lubrifié d’un couple de denture d’engrenage droit. Actes des 24e Journées Internationales Francophones de Tribologie (JIFT 2012) Aix en Provence, 9-11 Mai 2012, pp189-197.
- [3] S. Senhadji, F. Robbe-Valloire, F. Belarifi Experimental validation of a mixed lubrication model for contact between parallel rough surfaces. Proceedings of 5th World Tribology Congress (WTC2013), Torino, Italy, September 8 – 13, 2013. p749
- [4] S. Senhadji, F. Belarifi, F. Robbe-Valloire, *Experimental Investigation of Friction Coefficient and Wear Rate of Brass and Bronze under Lubrication Conditions*, Tribology in Industry Vol. 38, No. 1 (2016), pp 102-107.

INFLUENCE DE LA MORPHOLOGIE DES PARTICULES ABRASIVES SUR L’USURE DES SURFACES DE CONTACT

M. ARBAOUI¹, F. ROBBE-VALLOIRE².

1.Département Transport et Equipements des Hydrocarbures, Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie - Université M’Hamed BOUGARA - Boumerdés ALGERIE.

2.SUPMECA / Laboratoire Quartz (EA 7393) Institut Supérieur de Mécanique de Paris – Saint Ouen, France.

MOTS CLES

Usure abrasive, Usure adhésive, Frottement des bronzes, Morphologie du sable (pollutions).

INTRODUCTION

Le travail présenté est principalement de nature expérimentale, il nous permettrait de donner des réponses à certaines questions relatives au frottement et à l’usure d’un pion en Bronze frottant contre un disque en Acier. On a essayé de mettre en évidence des phénomènes tribologiques en fonction de la position géométrique des particules abrasives. L’insertion de celles-ci labourent les surfaces et augmentent considérablement l’usure du pion. Les travaux présentés dans ce rapport détaillent l’ensemble des résultats obtenus sur tribomètre pion disque et se décomposeront en différentes phases.

Au cours des essais de laboratoire, on a pu observer que les pollutions, en usure abrasive, ont des géométries et des orientations particulières et peuvent posséder plusieurs arêtes et faces de coupe. Ceci engendre un écoulement complexe sur la surface de contact pouvant mener à un micro-usinage (rectification) et à un phénomène de déformation plastique (usure abrasive).

L’objectif de cette étude est de caractériser le frottement et l’usure abrasive dans un contact mécanique lubrifié en présence de pollutions abrasives en réalisant des essais de type pion / disque. Les mécanismes d’usure sont identifiés sur les faciès d’usure obtenus sur les échantillons après essais.

GENERALITES

Sous l’action combinée de la charge normale et de la contrainte tangentielle, les aspérités s’enchevêtrent pour former la surface réelle de contact. Pendant le rodage, au début de glissement, les états de surface du couple se modifient rapidement les surfaces s’adaptent et deviennent lisses. L’élimination des dégradations de surfaces est très importante du point de la vue de la fiabilité car elle augmente la durée de vie des mécanismes en évitant les dysfonctionnements. L’usure dépend des vitesses relatives des surfaces et des particules, de la forme et de la résistance des grains. Elle croît avec la taille de ces derniers.

Lorsque les particules présentent un aspect anguleux, elles peuvent créer une usure rapide par abrasion à trois corps. La fragmentation des grosses particules en plus petites crée essentiellement des fragments anguleux et donc doublement dangereux à la fois par leur caractère agressif et par la facilité avec laquelle ils pénètrent entre les surfaces. Limiter la densité de particules est un bon moyen d’améliorer la fiabilité des machines et installations. Mais malheureusement, les filtres laissent passer des particules dont la taille peut atteindre 50 µm.

PARTIE EXPERIMENTALE

Dans un premier temps, nous avons réalisé des essais préliminaires avec pour objectif de définir des conditions aboutissant à une distinction des comportements tribologiques du contact. Pour cela nous avons utilisé quatre moyens d'essais : le tribomètre pion-disque pour mesurer le frottement, le surfomètre pour caractériser la microgéométrie, le microscope électronique à balayage pour caractériser le faciès des surfaces de contact après essais et la balance de précision pour déterminer les usures. Ce type d'appareillage a été choisi pour des raisons de simplicité de fonctionnement, de géométrie des éprouvettes, de rapidité de mise en œuvre des expériences alliées à une bonne reproductibilité des résultats. Nous réaliserons des essais consistant à faire varier la vitesse de glissement d'un contact immergé dans l'huile dont la température sera réglée à 75 °C (température de fonctionnement). La réponse est la valeur du coefficient de frottement qui permet de tracer la courbe de Stribeck et notamment de détecter le passage de point critique entre régime de lubrification hydrodynamique (valeur élevée de $h\nu/p$, frottement faible, usure négligeable) et le régime de lubrification mixte et limite qui entraînent la majeure partie de l'usure.

RESULTATS ET ANALYSES

Au cours des essais, nous avons observé un détachement de matière à partir du pion. Une partie véhiculée par le fluide lubrifiant s'échappe du contact sous forme de débris et par contre une certaine quantité reste collée sur la piste de glissement du disque. Donc le mécanisme d'usure activé est celui par abrasion. Le transfert du métal sur le disque augmente, le pion présente des déformations avec des sillons labourés dans le sens du mouvement, caractéristique d'une usure abrasive. Mais la présence d'une grande quantité de débris de bronze avec les grains abrasifs favorise le contact bronze-bronze en plus du contact bronze-particule de sable. Dans cette configuration, le contact bronze-bronze favorise une augmentation de l'énergie d'adhésion dans le contact. Nous distinguons ainsi un changement des mécanismes d'usure obtenus.

CONCLUSION

On a constaté que de nombreux types de particules polluantes (forme, taille, nature...) sont présents dans les mécanismes d'usure étudiés mais pour notre cas il ne s'agit pas d'étudier toutes les particules mais plutôt d'établir des tendances sur leur rôle dans l'indentation et l'usure des surfaces, car dans une même particule on peut y trouver deux parties l'une à caractère abrasif l'autre est plutôt arrondie et moins abrasive pouvant entraîner des déformations par labourage.

Le développement rapide d'une grande variété de différents modifications de surface de pointe au cours des dernières décennies offre de remarquables possibilités pour améliorer les propriétés tribologiques de surfaces et d'améliorer ainsi la fiabilité fonctionnelle et durée de vie des composants et autres surfaces en contact glissant. Les essais tribologiques en configuration pion / disque, menés à 75 °C, mettent en évidence l'influence préjudiciable du plomb, qui est utilisé comme agent lubrifiant, est désormais interdit. Il s'agira donc de trouver un moyen de le remplacer efficacement (car autolubrifiant) mais nocif.

Influence des paramètres électromécaniques sur le comportement en usure et la température de contact du couple tournant sec pion-cylindre en utilisant la méthode de Taguchi

D. Bekhouche¹, A. Bouchoucha¹, H. Zaidi²

1.Laboratoire de Mécanique, Campus Chaabet-Ersas, Faculté des Sciences de la technologie, Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie

2.Département génie Mécanique et systèmes complexes, branche Mécanique des solides, CNRS, Université de Poitiers, ENSMA UPR 3346 SP2MI, Téléport 2, Boulevard Marie et Pierre Curie, Téléport 2, BP 30179,86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France

MOTS CLES

Charge, Vitesse, Courant électrique, Usure, Température de contact, Taguchi, ANOVA

INTRODUCTION

Nous présentons dans ce travail une étude qui concerne le comportement en usure et l'évolution de la température moyenne de contact du couple tournant à sec graphite-bronze en utilisant la méthode des plans d'expériences. Pour ce faire, la rangée orthogonale de Taguchi L9 est employée. Les paramètres d'entrée considérés dans cette étude sont la charge normale, la vitesse de glissement et le courant électrique. En revanche, les paramètres de sorties (réponses) sont l'usure et la température moyenne de contact. Pour réaliser les différents essais, nous avons utilisé un tribomètre pion-cylindre (Fig. 1). Les essais se sont déroulés à sec dans une ambiance atmosphérique. La méthode statistique d'ANOVA (analyse de variance) est appliquée pour déterminer la contribution en pourcentage de chaque paramètre. Les résultats obtenus (tableaux 1 et 2) montrent que la vitesse de glissement a un effet dominant sur l'usure du couple (49,98%) suivi par le courant électrique avec une contribution de (35,52%). Par contre, le courant électrique est le facteur le plus significatif affectant la température moyenne de contact avec une contribution de (56,03%) suivi par la vitesse de glissement (25,47%). A noter que l'effet de la charge normale est insignifiant devant les autres facteurs.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

La figure suivante présente un schéma du dispositif expérimental utilisé dans cette étude.

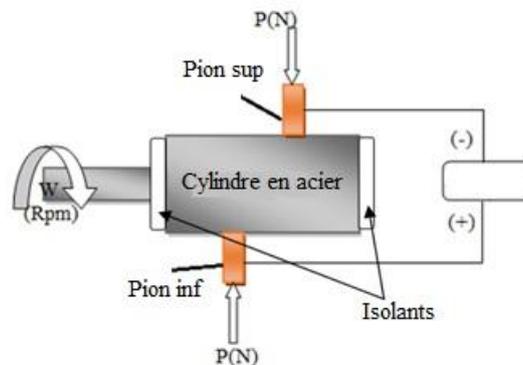


Fig. 1. Dispositif expérimental

RESULTATS OBTENUS

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats obtenus par la méthode statistique d'ANOVA.

Source	Ddl	Somme des carrés	Somme des carrés ajustés	Moy quadra	Rapport F	Proba	Contrib %
P (N)	2	0.000000	0.000000	0.000000	1.61	0.383	8.95
V (m/s)	2	0.000000	0.000000	0.000000	9.00	0.100	49.98
I (A)	2	0.000000	0.000000	0.000000	6.40	0.135	35.52
Erreur	2	0.000000	0.000000	0.000000	-	-	5.55
Total	8	0.000001	-	-	-	-	100.00

Table 1 Analyse de variance (ANOVA) pour l'usure.

Source	Ddl	Somme des carrés	Somme des carrés ajustés	Moy quadra	Rapport F	Proba	Contrib %
P (N)	2	965.5	965.5	482.77	9.55	0.095	11.66
V (m/s)	2	2575.5	2575.5	1287.75	25.47	0.038	31.09
I (A)	2	4641.3	4641.3	2320.65	45.89	0.021	56.03
Erreur	2	101.1	101.1	50.56	-	-	1.22
Total	8	8283.5	-	-	-	-	100,00

Table 2 Analyse de variance (ANOVA) pour la température moyenne de contact.

CONCLUSION

Dans cette étude, l'influence de certains paramètres mécaniques et électriques sur la température moyenne de contact et l'usure du couple graphite-bronze a été réalisée. De plus, une analyse statistique utilisant la méthode de Taguchi a été effectuée. Les résultats obtenus montrent que :

- le facteur le plus important affectant la température moyenne de surface du couple graphite-bronze est le courant électrique, suivi par la vitesse de glissement,
- le facteur le plus important affectant l'usure du couple graphite-bronze est la vitesse de glissement, suivi par le courant électrique,
- l'influence de la charge normale est négligeable devant les deux paramètres courant électrique et vitesse de glissement.

INFLUENCE DE LA RUGOSITE, DE LA VITESSE DE GLISSEMENT SUR LE COMPORTEMENT TRIBOLOGIQUE DE L’ALLIAGE D’ALUMINIUM AL₄Cu₂Mg

N. Tekkouk¹, M. Arbaoui², A. Rezzoug³

1. Doctorant à l’université de BOUMERDES, Laboratoire LFEPM Faculté des Hydrocarbures et de Chimie, Algérie.
2. Faculté des Hydrocarbures et de Chimie, Université de BOUMERDES, Algérie.
3. Doctorant à l’université de BAB EZZOUAR (USTHB), Laboratoire LSDM, Algérie.

MOTS CLES

Alliage Al-Cu-Mg, rugosité, vitesse de glissement, lubrification, usure, coefficient de frottement.

INTRODUCTION

L'économie de l'énergie est l'un des paramètres pris en compte dans l'industrie automobile; parmi les matériaux couramment utilisés dans la conception de l'automobile ce sont l'acier et la fonte [1]. Il y'a plusieurs façons de réduire la consommation d'énergie et d'augmenter la performance du moteur, mais c'est essentiellement le poids qui détermine la consommation de carburant. Peu à peu, l'acier a été remplacé par des alliages d'aluminium [2]. Il existe plusieurs travaux de recherche dans le domaine de la caractérisation du fer et de l'acier comme les travaux de M. Terheci [3], de JM Han [4] ; qui ont étudié le comportement tribologique de la fonte grise et sa résistance à l'usure sous les conditions secs et lubrifiées. Les alliages Al-Cu sont des alliages d'aluminium à durcissement structurales, ils ont des bonnes caractéristiques mécaniques [5]. L'objectif principal de ce travail est d'évaluer les caractéristiques tribologiques de l'alliage Al₄Cu₂Mg et voir ses performances afin d'utiliser dans les moteurs d'automobile.

METHODE EXPERIMENTALE

Le but de la présente étude est d'anticiper sur l'influence de la rugosité ainsi que celle de la vitesse de glissement sur le comportement d'usure de l'alliage Al-Cu-Mg en utilisant un tribomètre pion- disque (Figure 1). L'évaluation de l'usure a été effectuée dans des conditions de chargement (5, 10 N), en mesurant la rugosité et faisant varier la vitesse de glissement (100, 200, 300, 400, 500 et 600 tr/mn), sous les conditions secs et lubrifiées selon le tableau I.

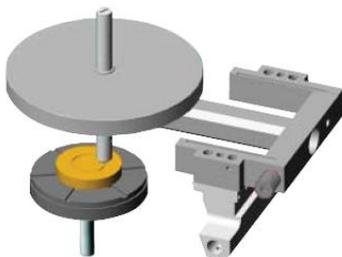


Figure 1. Tribomètre CSM

Conditions	Echantillons	Ra (µm)	Charges (N)	Vitesse de glissement (tr/mn)	Distance de glissement (m)
sec	1,2	0.45	5	500	100,250
	3,4	0.22	5	100	100
	5,6	0.22	5	500	100
	7,8	0.45	10	300	100,250
	9,10	0.45	10	500	100,250
	11,12	0.22	10	300	100
lubrifiées	13,14	0.22	10	200	100,250
	15,16	0.22	10	400	100,250
	17,18	0.22	10	500	100,250
	19,20	0.22	10	600	100,250

Tableau 1 : Essais d'usure

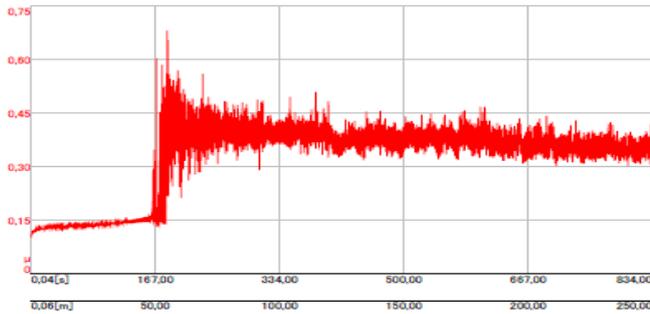


Figure 2. Coefficient de frottement

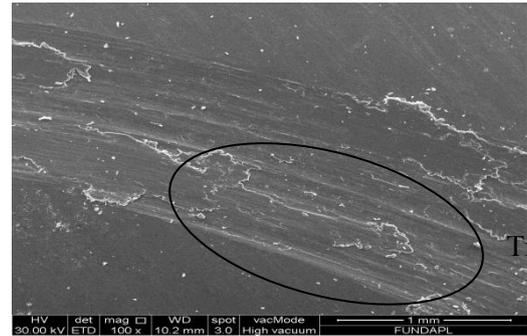


Figure 3. Image microscopique

CONCLUSION

Selon l'analyse des résultats des essais d'usure, l'alliage Al4Cu2Mg présente de bonnes caractéristiques tribologiques dans le cas des échantillons ayant une rugosité $R_a=0.45\mu\text{m}$, parce qu'il est protégé par la couche d'oxyde naturel [7] ; sa résistance à l'usure est similaire à celle de la fonte [3]. On ne peut pas utiliser cet alliage en contact mécanique direct avec un métal plus dure, sans qu'il soit protégé par la couche d'oxyde vue sa faible résistance au phénomène d'usure dans le cas des échantillons ayant une rugosité $R_a=0.22\mu\text{m}$. La lubrification à l'huile améliore efficacement la résistance à l'usure de l'alliage d'aluminium même avec une rugosité $R_a=0.22\mu\text{m}$.

L'anodisation est un procédé électrolytique permettant de produire un revêtement d'oxyde (l'alumine Al_2O_3) sur la surface de l'aluminium et ces alliages afin d'augmenter la résistance à la corrosion et à l'abrasion [6].

Il n'y a pas une relation directe entre la vitesse de glissement et le phénomène d'usure il faut trouver la vitesse optimale selon les conditions opératoire et en fonction de la nature du matériau. La vitesse optimale trouvée dans les essais effectués est : 600 tr / mn.

Références

- [1] Michael F. Ashby, David R.H.Jones : Matériaux 1. « Propriétés et applications ». DUNOD pp 223-226, 1998.
- [2] ASM Metals Handbook, vol. 18: Friction, "Lubrication and Wear Technology", ASM International, Materials Park, Ohio, 1992, pp. 1599–1617.
- [3] M. Terheci, R.R. Manory, J.H. Herde "The friction and wear of automotive grey cast iron under dry sliding conditions part 1- relationships between wear loss and testing parameters" .Department of Chemical and Metallurgical Engineering, Royal Melbourne Institute of Technology, 124 La Trobe Street, Melbourne, Vie. 3000, Australia Received 13 September 1994; accepted 12 January 1995.
- [4] J.M. Hana, R. Zhanga, O.O. Ajayib, G.C. Barbera, Q. Zoua, L. Guessousa, D. Schalla, S. Alnabulsic "Scuffing behavior of gray iron and 1080 steel in reciprocating and rotational Sliding" Oakland University, Automotive Tribology Center, Rochester, MI 48309, USA Argonne National Laboratory, Energy Technology Division, 9700 S. Cass Ave., Argonne, IL 60439, USA Physical Electronics, 18725 Lake Drive East, Chanhassen, MN 55317, USA 2011.
- [5] Michael F.Ashby, David R. H. Jones : MATERIAUX 2. « Microstructures, mise en œuvre et conception », pp. 111-122. DUNOD 2008
- [6] FRANCOIS GILBERT. « Influence des conditions d'anodisation dure de l'aluminium (AA6061-T6) sur la couche d'oxyde formée », Mémoire pour l'obtention du grade de Maître es sciences (M.Sc.), département de génie des mines, de la métallurgie et des matériaux faculté des sciences et génie université Laval Québec. 2011.
- [7] Aurélie PERNOT – GEHIN : Etude des procédés de colmatage d'alliages d'aluminium anodisé, Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré Nancy-I en Physique et Chimie de la Matière et des Matériaux, 2007.

MICROSTRUCTURAL AND TRIBOLOGICAL STUDY OF COLD TOOL STEEL AISI 02 AFTER BORIDING TREATMENT

M. Belaid¹, M. L. Fares¹, O. Assala¹, F. Boukari²

1. Laboratory of Metallurgy and Engineering Materials, Department of Metallurgy and Engineering Materials BADJI Mokhtar- Annaba University, P.O. 12, 23000, Annaba, Algeria.

2. Department of Chemical Engineering, Process Engineering, University of Versailles St-Quentin, Paris; france.

ABSTRACT

In this study, the effects of boronizing treatment on material’s structural changes, friction coefficient, hardness Hv and fracture toughness studies were investigated. The AISI 02 is chosen as substrate materials. The boronizing treatments were performed in a mixture of KBF_4 , B_4C and SiC at temperatures of 900°C , 950°C 1000°C during 2, 4, 6 and 8 h.

X-ray diffraction analysis of boride layers on the surface of steels revealed various peaks of FeB , Fe_2B and Fe_3C . Experimental results revealed that longer boronizing time resulted in thicker boride layers. Optical microscope cross-sectional observation of the borided layers revealed denticular morphology. Boronizing treatment had also a significant effect on tribological behavior

KEYWORDS

cold work steel; Boronizing; Hardness; friction coefficient; fracture toughness.

Le rôle de la phase blanche dans la dégradation des rails ferroviaires

M. Messaadi¹, M. Steenbergen¹

1. Département de transport routier et ferroviaire, Faculté de Génie Civil et Géoscience, Université Technique de Delft, Stevinweg 12628 CN Delft Pay-Bay,

MOTS CLES

Rail, Microstructure, Transformation Thermique, Transformation Tribologique de Surface,

INTRODUCTION

Les rails des transports urbains souffrent de plusieurs types d’endommagement qui se produisent au niveau de leur surface. D’abord, l’usure par perte progressive de matière peut entraîner une altération de profil de rail. Ensuite, les statistiques de ces dernières décennies montrent que le type de dégradation le plus rencontré est la fatigue de contact par roulement. Ceci est dû à l’augmentation de l’emploi des nuances perlitiques dont le champignon du rail est traité thermiquement. Cette dégradation est intimement liée au comportement tribologique local du contact roue-rail sur les voies. C’est le cas de l’usure ondulatoire ou encore les défauts des rails comme les taches ovales et les squats [1].

Les analyses microstructurales de certains défauts, et notamment du Squat, ont révélé la présence de la phase blanche qui n’est qu’une autre appellation de la transformation tribologique de surface (TTS). Cette étude s’intéresse au rôle joué par cette phase dans les mécanismes de défaillance par fatigue de contact induit par le roulement.

LES DIFFERENTS ASPECTS DE LA PHASE BLANCHE DES RAILS

Les différents aspects de la phase blanche (ou encore de TTS) ont été rapportés dans la littérature [2]. La naissance et le développement de cette phase s’associent à la fois à une déformation plastique sévère et/ou à des effets thermiques [3], [4]. Sa dureté et son épaisseur peuvent varier entre des valeurs extrêmes. En effet, la dureté est généralement autour de 860 Hv et elle peut atteindre les 1000 Hv. En outre, son épaisseur est évaluée à quelques dizaines de μm et elle peut atteindre des centaines.

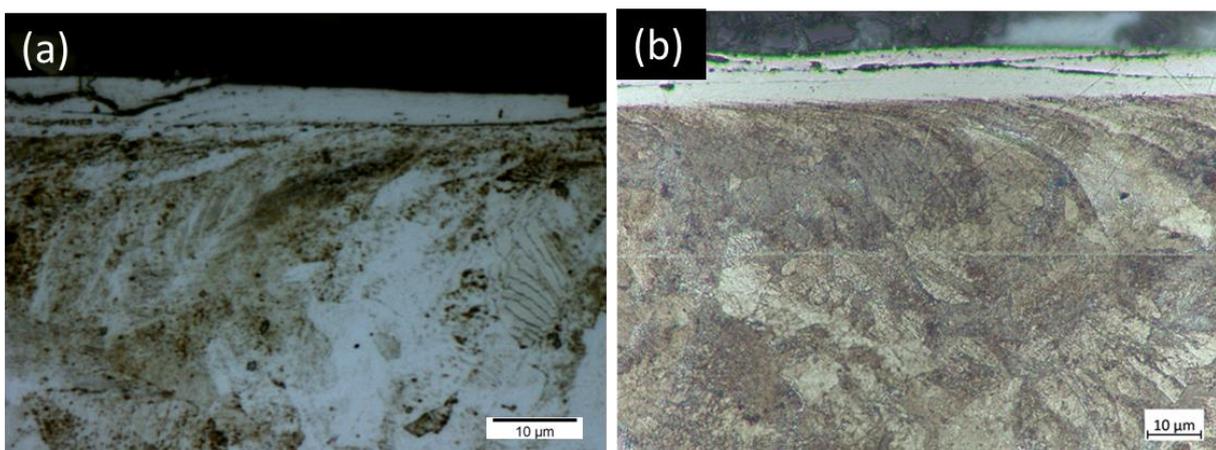


Figure 1: Aspects en microscope optique de deux phases blanches : (a) couche blanche induite par les opérations d’entretien de rail, (b) couche blanche induite par le passage de roue de train.

Il est important de rappeler que la TTS peut être créée par des opérations de maintenance des rails. Un exemple de cette phase est présentée à la figure 1-a. Il est possible d’identifier une légère déformation plastique au-dessous de cette couche. D’autre part, sur l’image 1-b figure une TTS créée à

cause de passage cyclique des roues. D’ailleurs, la plastification de la sous-couche est bien plus visible dans ce cas.

A partir des analyses des coupes transversales et longitudinales couplées avec des mesures de profile de dureté, une meilleure compréhension des risques d’initiation des fissures et la naissances des défauts aux surfaces des rails sont abordées.

LA RELATION ENTRE LE TYPE DE LA PHASE BLANCHE ET LA DETERIORATION DE LA SURFACE DU RAIL

La relation entre la TTS et l’initiation de fissures est le sujet d’étude de divers groupes de recherche. En revanche, il reste difficile de statuer cette interaction de cause/ conséquence. En effet, la TTS est considérée comme un site préférentiel pour le développement des fissures. Principalement deux types de craquelure sont le plus investis : la propagation de la fissure à l’interface entre la TTS et le matériau de base, ou encore la fissuration à l’intérieure de TTS.

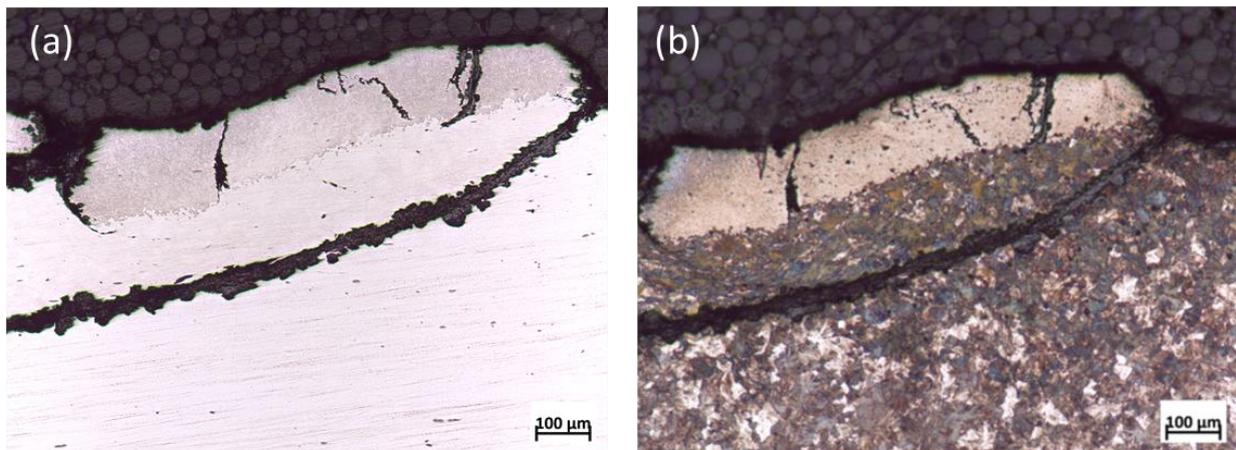


Figure 2: Aspects en microscope optique d’une coupe transversale de défaut de squat : (a) sans attaque chimique, (b) attaquée avec du Nital à 2%.

Un exemple des distinctes fissures qui se développent à la surface du rail en présence d’un défaut de squat est présenté sur la figure 2. D’autres aspects de fissure et d’analyses de la TTS seront présentés en vue d’apporter des réponses concernant les mécanismes de dégradation de surface des rails en présence de TTS.

CONCLUSION

Ce travail constitue d’une part une révision des différents aspects de TTS rencontrés aux surfaces des rails. Et aussi une analyse phénoménologique des liens qui peuvent exister entre ces phases et les dégradations et éventuellement la fatigue de surface par sollicitation de roulement.

Références

- [1] M. Steenbergen, *Wheel-rail interaction at short-wave irregularities*. 2008.
- [2] R. I. Carroll and J. H. Beynon, “Rolling contact fatigue of white etching layer: Part 1. Crack morphology,” *Wear*, vol. 262, no. 9–10, pp. 1253–1266, 2007.
- [3] G. Baumann, H. J. Fecht, and S. Liebelt, “Formation of white-etching layers on rail treads,” *Wear*, vol. 191, no. 1–2, pp. 133–140, 1996.
- [4] C. Bernsteiner, G. Müller, A. Meierhofer, K. Six, D. Kinstner, and P. Dietmaier, “Development of white etching layers on rails: simulations and experiments,” *Wear*, vol. 366–367, pp. 116–122, 2016.

Simulation par éléments finis de la compétition usure/fissure en fretting avec prise en compte du 3^{ème} corps

P. Arnaud¹, S. Fouvry¹, S. Garcin¹

1. Université de Lyon, Ecole Centrale de Lyon, Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR CNRS 5513, ECL-ENISE-ENTPE, 69134 Ecully.

MOTS CLES

Fretting usure, Ti-6Al-4V, Eléments finis, 3^{ème} corps, Amorçage de fissure.

INTRODUCTION

Le fretting est une sollicitation de frottement définie par un petit mouvement oscillatoire entre deux corps en contact. ce type de contact tribologique génère inévitablement des endommagements qui sont généralement de type fissuration ou usure et dépendent des conditions d’essais, pression normale, amplitude de déplacement, etc ... Waterhouse [1] explique un phénomène de compétition entre l’usure et la fissure pour des petits débattements de glissement. Il propose que l’usure enlève la matière sollicitée cycliquement qui serait à même de former une fissure et donc l’usure diminuerait le risque de fissuration. L’usure élargirait également le contact ce qui diminuerai les pressions en jeu et donc encore le risque d’amorçage. La fissuration est un endommagement critique pour l’industrie de l’aéronautique, c’est pourquoi il est important de bien prédire les phénomènes en jeu. La prise en compte de l’usure avec le 3^{ème} corps n’a encore jamais été faite pour décrire la compétition entre des deux phénomènes [2].

1. Caractérisation des lois expérimentales

Dans ce travail, nous proposons une approche expérimentale pour caractériser l’apparition et l’évolution du 3^{ème} corps [3] piégé dans le contact ainsi que l’étude de la compétition entre l’usure et la fissure. Le matériau étudié est le Ti-6Al-4V qui est généralement utilisé dans les turboréacteurs au niveau des aubes et des disques, la configuration étudiée étant cylindre/plan. Pour caractériser la compétition entre l’usure et la fissuration, un seul paramètre est étudié, l’amplitude de débattement. Les longueurs de fissure projetée et les volumes d’usure sont mesurés à chaque essai et une méthode simple basée sur la superposition des profils de surface usée du plan et du cylindre permet une estimation du volume du 3^{ème} corps piégé dans le contact.

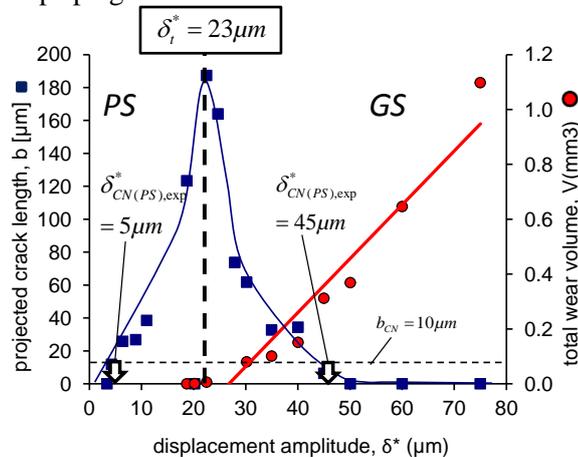


Figure 1: évolution de la longueur de fissure et du volume usé en fonction de l’amplitude de débattement (cylindre/plan Ti-6Al-4V, $R=40 \text{ mm}$, $P=390 \text{ N/mm}$, $N= 100 \text{ 000}$ cycles).

2. Simulation numérique

Les valeurs expérimentales sont introduites dans un algorithme couplé Matlab-Python-Abaqus où l'usure des pièces est simulée en utilisant une approche énergétique et le risque d'amorçage par un critère multiaxial (SWT) (fig. 2). Les simulations numériques ont permis de retrouver des valeurs de débattement où les fissures apparaissent pour 10^5 cycles mais également de retrouver les bons profils d'usure. La comparaison entre les simulations avec 3^{ème} corps et sans 3^{ème} corps montrent que les lits de débris ont une double influence : dans un premier temps celui-ci ralentit l'agrandissement du contact et donc concentre les pressions dans les mêmes zones de contact, ce qui a pour effet d'accélérer l'amorçage de fissure ; en contrepartie, les débris concentrent l'usure dans ces mêmes parties ce qui enlève rapidement la matière sollicitée.

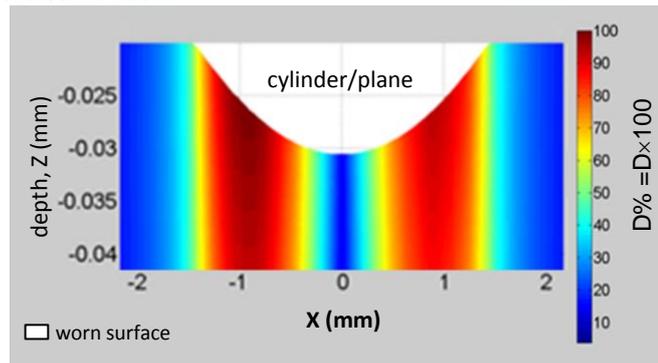


Figure 2: distribution du critère d'amorçage avec prise en compte de l'usure pour un contact cylindre plan (Ti-6Al-4V, $R=40$ mm, $P=390$ N/mm, $\delta^*=\pm 43$ μ m, $N=100\,000$ cycles).

CONCLUSION

Un modèle permettant de simuler la compétition fissuration usure en prenant en compte le 3^{ème} corps est introduit pour mieux prédire le risque d'amorçage et les profils d'usure en fretting pour sur le Ti-6Al-4V.

L'implémentation des débris d'usure permet une bien meilleure prédiction des surfaces usées et par conséquent permet une meilleure prédiction des durées de vie d'éventuels revêtements qui peuvent être introduit pour diminuer le risque d'amorçage. Les propriétés du 3^{ème} corps sont actuellement celle des pièces en contact, en réalité ces dernières sont différentes et changent la transmission des efforts à travers l'interface. Les travaux futurs se concentreront sur la prise en compte des propriétés des débris d'usure ainsi qu'à la généralisation des lois de conversion du 3^{ème} corps afin d'observer les champs de contraintes interfaciales.

Références

- [1] R.B. Waterhouse, Fretting Fatigue, Applied Science Publishers, 1981
- [2] P. Arnaud, S. Fouvry, S. Garcin, Wear rate impact on Ti-6Al-4V fretting crack risk: Experimental and numerical comparison between cylinder/plane and punch/plane contact geometries, Tribology International, Vol 108, 2017, p 32-47.
- [3] N. Fillot, I. Iordanoff, Y. Berthier, Wear modeling and third body concept, Wear 262 (2007), p.949-95.

Etude du rugosimètre de tête TS100 en utilisant une pièce étalon

B.Bloul¹, B.Aour²,

¹ Laboratoire Fiabilité des Equipements Pétroliers & Matériaux– Boumerdès (Algérie).

² Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux, ENP Oran, PB1523 El'Mnaour 31000, Oran, Algérie

A.Bourdim³, R.Harhout¹

³ Université de Tlemcen, Aboubeker Belkaid, Faculté de Technologie, Algérie

Abstract — Cette étude a pour objectif de montrer la non-fiabilité de mesure directe de la rugosité par l'instrument TR200 avec même trajet. Mais on a deux sens opposés de tête de palpeur à gauche et droite. Nous avons effectuée une série d'essais sur pièce d'étalonnage de calibre 0.555 μm en utilisant rugosimètre de type TR200 équipée d'un palpeur standard TS100 pick-up, avec course de palpée 7.5 mm et vitesse d'entraînement $V_t = 0.5\text{mm/s}$ et le retour $V_r = 1\text{mm/s}$. L'originalité de notre travail porte sur la non-fiabilité de mesure l'état de surface à partir de l'inversement la direction de palpeur après chaque contrôle dans même parcours. Cette approche permet de valider la non-fiabilité de rugosimètre en cas les pièces usinées en procédure enlèvements de matière (tournage et fraisage). Ces essais nous ont permis de limiter le contrôle de l'état de surface par un palpeur standard de type TS100 que notre laboratoire est fourni. Pour chaque essai, nous trouvons un désaccord entre la direction droite et gauche après avoir calculé les paramètres de rugosité.

Keywords— rugosimètre TR200 / état de surface / palpeur TS100 / pièce étalon / non-fiabilité.

I. INTRODUCTION

La qualité de l'état d'une surface a une très grande importance pour les fonctions de résistance au frottement, au roulement, à la fatigue, à la corrosion, au matage, à l'écoulement des fluides, à l'étanchéité, l'adhésivité, etc. La recherche de la meilleure qualité fonctionnelle au moindre coût et la surveillance de la qualité en fabrication mécanique pour assurer l'interchangeabilité, nécessitent préalablement un moyen précis de mesure industriel des irrégularités et défauts micro géométriques de surfaces par le contrôle de la rugosité [1,2]. En service, l'usure des organes touche en premier lieu les couches superficielles du métal, d'où l'importance du choix de la qualité d'usinage et de son intégrité à l'égard du fonctionnement et de la longévité d'un ensemble [6]. L'intégrité de la qualité des surfaces des pièces élaborées et celles des outils coupants susceptibles de répondre aux besoins de la technologie moderne (rendement et productivité élevés tout en respectant la rugosité spécifiée par le dessin de définition) ont un rôle de premier ordre en construction mécanique [6]. La connaissance approfondie de la fidélité des instruments de mesure c'est très importante, pour non-fiabiliser le contrôle d'état de surface en tenant compte tous les facteurs intervenant sur les grandeurs de critères de la rugosité. Aussi l'élaboration d'une méthodologie de

corrélation entre position de palpeur, sa forme ; la longueur de trajet, c'est l'objet cette étude.

II. TETE DE MESURAGE

Elle permet le déplacement du capteur dans les limites de la longueur de palpée choisie par l'opérateur.

a. Vitesses de palpée

Suivant les constructeurs les vitesses de palpée ont des valeurs qui s'échelonnent dans les limites suivantes données en mm/s : 0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,5, 1.

b. Référence de captage

La tête de mesure supporte la référence de captage qui permet d'obtenir un profil mesuré, image la plus approchée du profil réel. La référence de captage indépendante de la surface est l'image géométrique du profil réel palpé.

c. Système de référence adopté.

Elle sert de support de déplacement au capteur ou à la surface à mesurer pour apprécier à l'aide du palpeur les écarts géométriques du profil réel exploré. Sa position par rapport à la trajectoire à explorer doit être placée de manière à ce que l'écart maximum de position du profil total mesuré soit contenu dans l'échelle considérée. Elle peut être :

$\frac{3}{4}$ placée sur la surface à mesurer qui provoque son orientation,

$\frac{3}{4}$ placée extérieurement à la surface à mesurer.

d. Longueurs de palpée recommandées par l'ISO

Dans la première partie du traitement du signal, (appelée pré-course), la ligne moyenne doit d'abord s'établir dans les filtres. Pendant ce temps, le traitement du signal ne peut être effectué. Le tableau 3 donne les longueurs de palpée recommandées par l'ISO aux constructeurs d'appareils.

Type du profilomètre	λ Fph en mm	Longueur de palpée lors du mesurage mm
Longueur de palpée constante	0,08	0,4 – 2
	0,25	1,25 – 5
	0,8	2,4 – 8
	2,5	5 – 15
	8	16 – 40
Longueur de palpée réglable	0,08 – 0,25	2,5 – 16
	0,8	5 – 16

Fig 1. Longueurs de palpée recommandées par ISO

III. FACTEURS INTERVENANT SUR L'OBTENTION DE L'ÉTAT DE SURFACE

Parmi les divers facteurs dominants qui affectent l'état de surface d'une pièce mécanique, on note: l'outil mathématique, genre de rugosimètre, la qualité de l'échantillonnage et position de la pièce mesurée. La figure 1 représente les différents facteurs qui peuvent influencer sur le contrôle de l'état de surface mesurée.

IV. PRESENTATION DE LA SURFACE A CONTROLER

a. Définition des paramètres de rugosité

Cette section donne une définition des paramètres de mesure du TR200. Valeur arithmétique de la déviation moyenne du profil à l'intérieur de la longueur de base.

b. Moyenne arithmétique R_a de déviation du profil

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|$$

c. Valeur quadratique moyenne R_q de déviation du profil

$$R_q = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

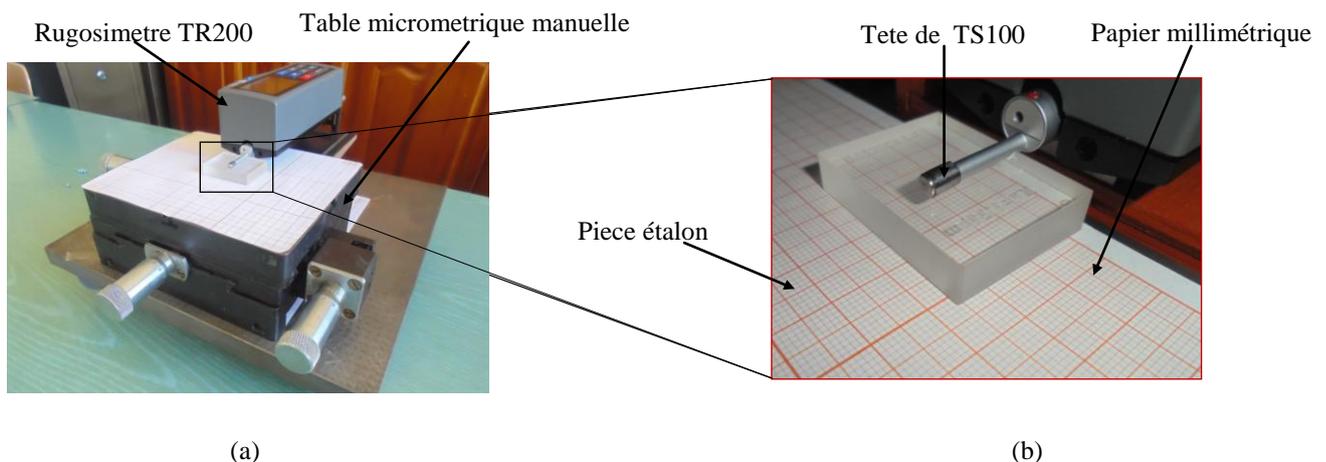


Fig.2. (a) Montage de l'inspection de la pièce rectifiée; (b) Illustration de la position du palpeur sur l'échantillon.

d.

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 y_{pi} + \sum_{i=1}^5 y_{yi}}{5}$$

e. Rapport t_p de longueur de portée de profil

$$t_p = \frac{\eta_p}{l}$$

$$\eta_p = b_1 + AA + b_i + AA + b_n$$

f. Hauteur totale R_t , saillie à creux, Profondeur maximum R_p de la saillie du profil

R_t est la somme de hauteur maximum de la saillie du profil et la profondeur maximum du creux de profil pour la longueur d'évaluation.

R_p est la distance de la ligne de saillie du profil vers la ligne médiane à l'intérieur de la longueur de base (voir figure 2).

g. Profondeur maximum R_m de creux du profil

R_m est la distance de la ligne du creux du profil vers la ligne médiane à l'intérieur de la longueur de base (voir figure 2).

h. Hauteur maximum R_y (ISO) de profil

R_y est la distance de la ligne en saillie du profil jusqu'à la ligne en creux à l'intérieur de la longueur de base.

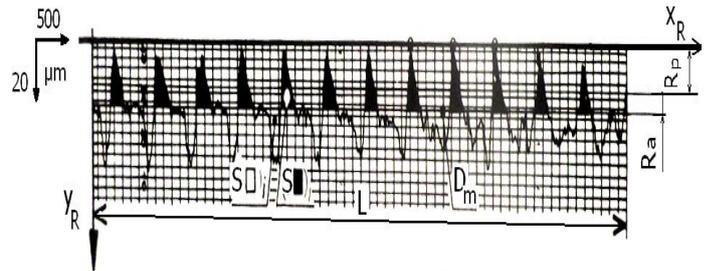


Fig.3 Courbe de l'état de surface obtenu

L'instrument portable de rugosité TR200 est fabriqué et développé par Time Group. Cet instrument s'applique aux sites de production et peut être utilisé pour mesurer les rugosités de surface d'éléments mécaniques variés, calculant les paramètres correspondants selon les conditions de mesure sélectionnées et affichant clairement tous les paramètres de mesure et graphiques de profil sur

Reglage la position de mesure de rugosimetre

Lors le contrôle l'états de surface d'une piece mecanique, il demande respecter la position de palpeur sur la piece tel qu'il crée un angle 0° comme vous voyer sur la figure 22 afin de prendre les valeur intiales z = 0 µm. en plus , on a pris en considération l' equilibrage des organes de rugosimetre qui sont soumis au mouvement de deplacement pendant l' acquisition les valeurs de z en fonction de temps.

Indicateur de la position horizontale



Fig.4 Position horizontale de rugosimetre

VII. PRINCIPE DE CALCUL DE DIRECTION DE PALPAGE

a. TS100 standard pick-up

Tête de palpeur est standard pick-up à l'utilisation générale pour surface plane limite de diamètre, maximum est égal à Ø5mm. Avec longueur maximum de course 22 mm (voir la figure 3). Nous calculons les variations de position de tête par rapport au contact du palpeur, mais on a deux sens de déplacement de palpeur à gauche et à droite (voir les figures 5 et 6) comme suivant :

Nous avons pris la tête d'un palpeur de type TS100 standard pick-up qui est utilisé généralement pour des surfaces planes avec un diamètre maximal égal à Ø5mm et une longueur maximale de course de 22 mm (voir la figure 3). On calcule les variations de position de tête par rapport au contact du palpeur, suivant les deux sens de déplacement du palpeur à gauche et à droite comme illustre les figures 6 et 7. La non-linéarité caractéristique du rugosimètre est due à la distorsion du profil de rugosité en surface réelle sous l'effet de l'aiguille. D'après la figure 6, on a :

$$OA = OC + CA \tag{7}$$

Par projection sur Ox et Oy, on obtient :

$$x_A = x_{A/C} + x_{C/O} \tag{8}$$

$$y_A = y_{A/C} - y_{C/O} \tag{9}$$

D'après la figure 7, on a :

$$OA = OB + BA \tag{10}$$

$$x_A = x_{A/B} + x_{B/O} \tag{11}$$

$$y_A = y_{A/B} + y_{B/O} \tag{12}$$

On a deux cas :

$$y_{C/O} = y_{B/O} \tag{13}$$

Ou bien

$$y_{A/C} \neq y_{A/B} \tag{14}$$

Si $y_{C/O} = y_{B/O}$, la pièce est étalonnée, Si non; ceci signifie que les deux positions de palpation n'ont pas les mêmes orientations.

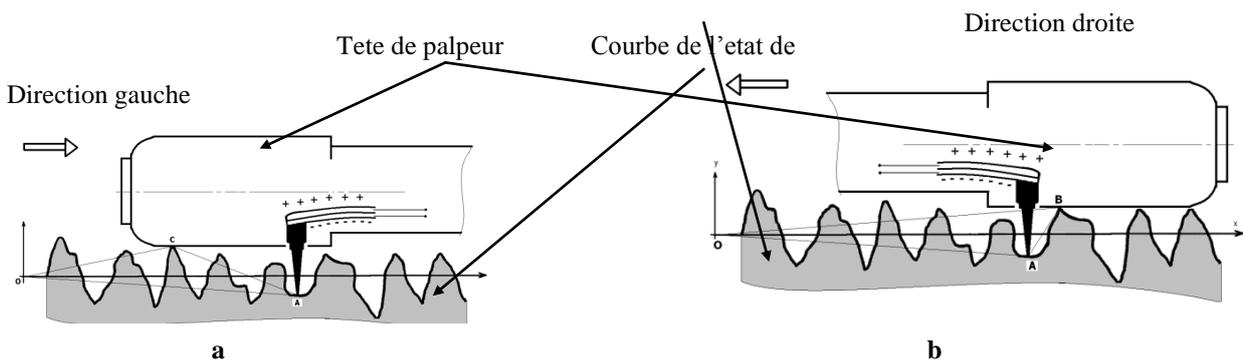


Fig. 5. Direction de palpeur: (a) de gauche à droite, (b) de droite à gauche.

Dans notre travail, nous avons évalué une pièce de étalonnage de rugosité $R_a = 0.555 \mu\text{m}$, en acier dur la longueur d'inspection 5 mm selon la norme ISO, en prenant dans notre considération la position horizontale de rugosimètre au début (voir la figure 4). Alors résultats obtenus est $R_a = 0.553 \mu\text{m}$ (voir les figures 6,7).



Fig.6. Résultats obtenus

i. Calcul des critères physiques et statistiques de la rugosité

En montrant la position de la sonde en mode simplifié, ce qui est facile à utiliser en mesure pratique. Après l'acquisition par rugosimètre voir la figure 4. Effectivement, Calculant les critères physiques et statistiques, puis nous traçons les graphes (voir les figures 8,9, 10,11).

b. Courbe de critères de physiques et statistiques

Le traçage de profil de critères illustre que on a différence entre les trajets tel que petite variation dans la rugosité R_t (voir la figure 8).

1.1. Erreur des critères physiques et statistiques

A partir les données qui saisissent par rugosimètre TR200, nous avons calculé les erreurs de ces paramètres de rugosité (voir la figure 9).

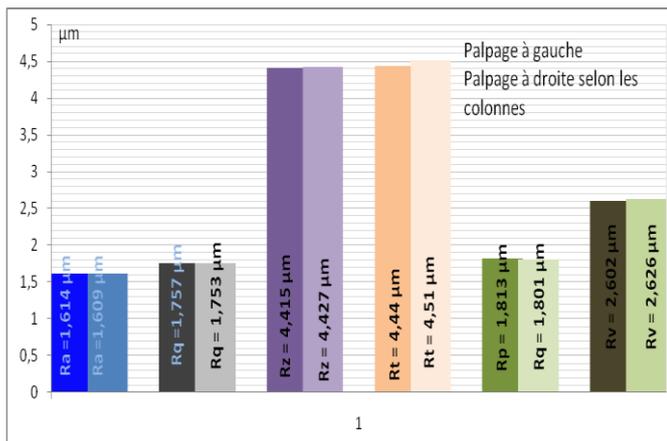


Fig.7 Critères physiques et statistiques suivant direction à gauche et à droite

1.2. Erreur des critères physiques et statistiques

A partir les données qui saisissent par rugosimètre TR200, nous avons calculé les erreurs de ces paramètres de rugosité (voir la figure 9).

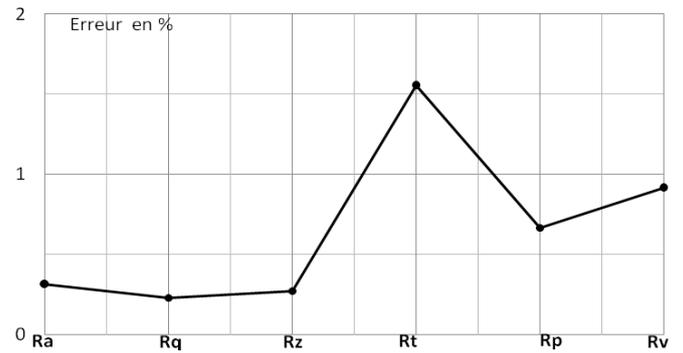


Fig.8 Erreur des critères physiques et statistiques

1.3. Profil C par TR200

On a tracé les courbes $R_y = f(Rmr\%)$ suivant la direction gauche et droite de palpation par la tête de rugosimètre. voir la figure 10. Cela représente sur la rugosimètre graphe C. avec le format de l'axe varie de 0 jusqu'au 100 de Rmr et l'unité en %, c'est la même chose de R_y . La forme de profil est dans ce cas droite avec une pente négative.

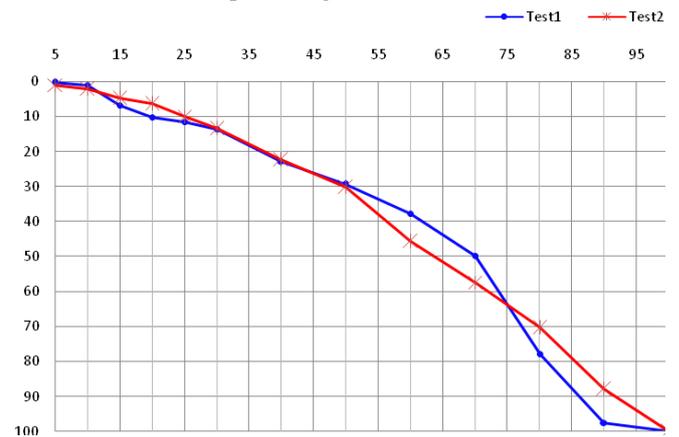


Fig. 9 Profil de t_p .

j. Erreur de profil C par TR200

Dans l'essai de mesure constatant que les deux sens d'acquisition par le palpeur sont fortement influencés sur le profil C rugosité, où l'on remarque que la variation de l'erreur entre deux profils est évidemment dans l'intervalle 0 à 60% en considérant les écarts des erreurs sont grandes. Expérimentale se rapproche de plus en plus à la valeur moyenne 30% où l'état de surface mesurée par cet instrument qui est non-fiable dans les deux sens opposés. Voir la figure 11.

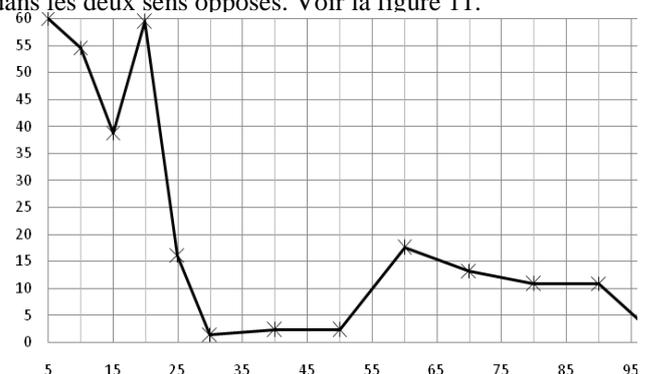
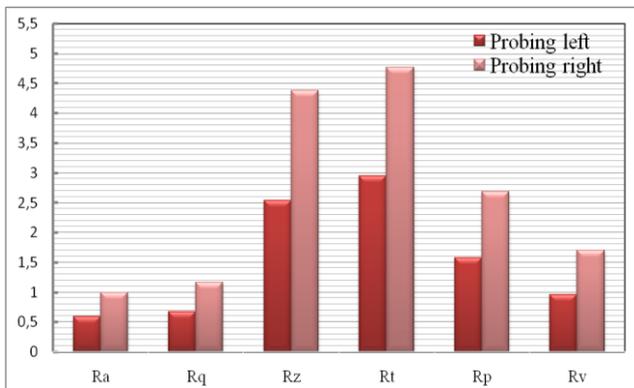


Fig.11 Erreur de graphe C de TR200



IX. Conclusion

Ce travail représente une application sur le contrôle de l'état de surface par rugosimètre sur une pièce de l'étalonnage qui porte la qualité de $Ra=0.555 \mu m$ en prenant de deux sens opposé de trajet de palpeur afin de vérifier la non-fiabilité de l'inspection de spécification de surface par cet instrument.

Cette approche a été montrée que les deux directions de tête ne sont pas mêmes résultats après avoir calculé les critères physiques et statistiques à condition que les appuis de C et B ne restent pas dans le même l'hauteur par apport à la référence ox. On peut conclure que cette méthode de palpation n'est pas convenable pour évaluer les grandeurs de la rugosité d'une surface rectifiée avec petite déplacement de palpeur. Ceci ne nous permet pas d'assurer la fiabilité de contrôle de l'état de surface en cas des pièces rectifiées. D'ailleurs, on a pu montrer que non-fiabilité de rugosimètre TR200 est limitée à la procédure de fabrication et la longueur de surface palpée.

References

- [1] ISO 12085, Spécification géométriques des produits (GPS). États de surfaces : Méthodes du profil. Paramètres liés aux motifs, août 1996.
- [2] M. Viaud, Etat de surface mesure de rugosité, 3e édition, CETIM Formation, 1998
- [3] J.Nabil, R.Philippe, B.Maxence, Relevance of roughness parameters of surface finish in precision hard turning, Scanning vol. 36, 86–94 (2014).
- [4] F.Hennebelle, T.Coorevits, M.Bigerelle, Optimization of the Straightness Measurements on Rough Surfaces by Monte Carlo Simulation, scanning vol. 36, 161–169 (2014).
- [5] G.Sylvain, B.Maxence, A.Karine, Roughness statistical influence on cell adhesion using profilometry and multiscale analysis, Scanning vol. 36, 2–10 (2014).
- [6] A.Benamar, A.Geneviève et M.Boumahrat, Durée de vie d'un carbure P20 pour le chariotage d'un acier C38 la rugosité contrôlée, Mécanique & Industries 6, 635–640 (2006).
- [7] B. Bloul, B. Aour, A. Bourdim, Influence de tournage sur l'état de surface en utilisant le réseau de neurone, CAM2015, El-ouad, Algérie
- [8] R.Deltombe, K. J. Kubiak, M. Bigerelle, How to Select the Most Relevant 3D Roughness Parameters of a Surface, scanning vol. 36, 150–160 (2014).
- [9] B.Bloul, Caractérisation d'une roue dentée en développante de cercle sur la machine à mesurer tridimensionnelle, Thèse de doctorat de l'ENP Oran 2015.
- [10] S.Boukebbab, Analyse de la signature des procédés d'usinage en vue d'une démarche qualitative dans le respect des spécifications techniques, Séminaire International sur les Technologies Mécaniques, 05 et 06 Décembre 2009, Tlemcen, Algérie.
- [11] B.Bloul, A.Bourdim, A.Ahad, R.Don, Processing determination the default of variation of center distance according to factor of vibration imposed by the network, Proceedings of the 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Dubai, United Arab Emirates (UAE), March 3 – 5, 2015.
- [12] B.Bloul, A.bourdim, Control inspection involute curve of gear tooth of pinion type cutter using the fuzzy logic, Int. J. Metrol. Qual. Eng, vol 3, pp 47–54, 2012.
- [13] G.Ammar, Eléments d'analyse de la fiabilité et du contrôle de qualité statistiques appliquées sur des exemples, édition hermès Lavoisier.2013.
- [14] Manuel de l'état de surface TR200 ayant envoyé par entreprise de CV instruments Europe BV, 2015.

SURFACE CHARACTERIZATION OF PACK BORONIZED HOT WORK TOOL STEEL CLOSE TO AISI H11 STEEL TYPE

M.L. Fares¹, B. Mounia¹, O. Assala¹, F. Boukhari²

1. Metallurgy and Engineering Materials Laboratory, Metallurgy and Engineering Materials Department, Badji-Mokhtar University of Annaba, P.O. Box:12, 23000, Annaba, Algeria.

2. Department of Chemical and Process Engineering, University of Versailles St-Quentin, Paris; France.

Abstract: The present work examined the effects of pack-boronizing treatment on the surface characteristics of modified industrial Hot-work tool steel close to standard AISI H11. For this purpose, a series of samples treated within the temperature range from 900 to 1000 °C for soaking periods of 2, 4, 6 and 8 h. Structural analyses of the modified metal surface were carried by both the optical and scanning electron microscopy and X-ray diffraction techniques. Mechanical characteristics, in terms of hardness and coefficient of friction were evaluated using Vickers indentation and scratch testing methods. The cross-sectional microstructures of the case layer showed that longer boronizing time and temperature result in thicker boride layers. Moreover, it was found that the boride layer topologies are smooth and the existence of a transition zone prevails between the substrate and the boride layer due to the nature and the concentration of alloying elements. The tribological behaviour was also found closely dependent on the processing conditions.

Keywords: Hot work steel; Pack-boronizing; Hardness; Coefficient of friction; Wear resistance.

MODALITES DE FORMATION DE LA GLAZE LAYER : DE LA STRUCTURE NANOCRISTALLINE A L’ENERGIE DISSIPEE GLOBALE

A. Viat^{1,2}, S.Fouvry¹, M.-I. De Barros Bouchet¹ et J.-F. Henne²

1.Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR 5513, Ecole Centrale de Lyon, 36 avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully Cedex

2.Herakles groupe Safran, Rue de Touban, Les 5 chemins, 33185 Le Haillan

MOTS CLES

Glaze Layer, usure, cobalt, céramique, haute température

INTRODUCTION

Un lit de débris compact peut être formé à hautes températures au contact entre deux métaux ou alliages métalliques. Ce troisième corps fritté est usuellement appelé « glaze layer » et a aussi été créé et décrit dans un contact métal-céramique lors d’une précédente étude [1]. Quand elle est formée, la glaze layer protège l’interface de l’usure et assure un faible coefficient de frottement. Son caractère fortuit (car créé à partir de débris d’usure) se révèle en fait bénéfique au fonctionnement des pièces mécaniques en contact, par exemple dans un assemblage aube-disque.

Dans cette étude, on s’intéresse en particulier au processus de formation de la glazelayer en l’abordant par deux angles différents. On traite d’une part la genèse microstructurale et d’autre part l’influence des paramètres de fretting (micro-déplacements alternés) sur l’énergie dissipée à la fabrication de la glaze layer.

ASPECTS NANOSTRUCTURAUX

Des observations morphologiques au MEB et MET-FIB ont permis d’observer la nanostructure de la glaze layer (Fig.1). La formation du troisième corps commence par la génération de débris dont la taille ne change pas entre l’arrachage initial depuis le substrat jusqu’au frittage final de la glaze layer. Ceci suggère que le mécanisme de recristallisation dynamique avec affinement extrême de la microstructure est plus probable que le broyage progressif des débris lors de la génération de la glaze layer.

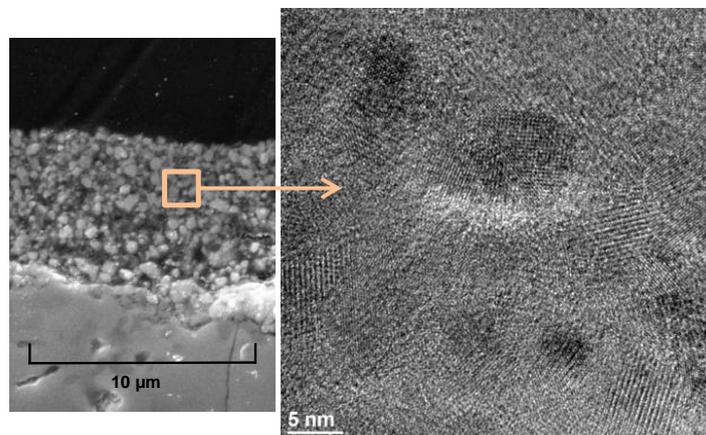


Fig. 1 – Glaze layer en formation aux échelles micro- et nanoscopique. Le tribofilm primitif est déjà nanocristallin.

ENERGIE DE FORMATION DE LA GLAZE LAYER

La formation de la glaze layer peut être quantifiée grâce à N_{GL} , le nombre de cycles de fretting nécessaire à la stabilisation du coefficient de frottement, c’est-à-dire de la glazelayer (Fig.2). N_{GL} est alors à l’origine du calcul de l’énergie d’usure spécifique dans le cas où une glazelayer est présente. L’influence de certains paramètres de fretting, déjà abordée [2], est ici étendue à la configuration spécifique de la lubrification à haute température.

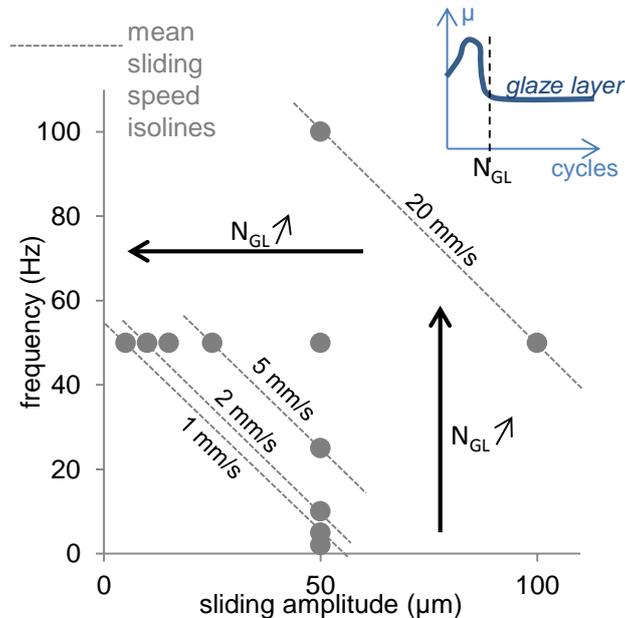


Fig. 2 – Plan d’expériences visant à évaluer l’influence de la vitesse de glissement sur le nombre de cycles à création de la glazelayer, N_{GL} .

CONCLUSION

L’énergie apportée à la création de la glaze layer est interprétée au regard du comportement micro- et nanoscopique des débris. L’objectif final est d’anticiper le volume de débris et la durée nécessaires à former une glazelayer pour une configuration mécanique donnée.

Références

- [1] Viat, A. et al. (2016) «*Nanocrystalline glaze layer in ceramic-metallic interface under fretting wear*», *Surf. Coat. Technol.*, **308**, 307–315.
- [2] Pearson, S. R. et al. (2015) «*Is the wear coefficient dependent upon slip amplitude in fretting? Vingsbo and Söderberg revisited*», *Wear*, **330–331**, 93–102.

DEMARCHE DE REDACTION D’UN GUIDE METHODOLOGIQUE D’OPTIMISATION DU COMPORTEMENT TRIBOLOGIQUE DE CONTACTS

O. Cloarec¹, M. Quillien², F. Robbe-Valloire²,

1. ARTEMA (Fédération des industries Mécaniques Courbevoie)

2. Laboratoire QUARTZ EA 7393 (Supméca Saint-Ouen)

MOTS CLES

Usure, frottement, optimisation

INTRODUCTION

Les entreprises de l’industrie mécanique qui conçoivent et fabriquent des composants mécatroniques (ex : roulement, joints d’étanchéité, visserie) disposent d’un savoir-faire important sur tous les aspects technologiques liés à la fabrication ou au fonctionnement du composant. La maîtrise du comportement tribologique fait généralement partie de ce savoir-faire. Il est, soit de nature empirique, alimenté dans ce cas par des essais ou des retours d’expérience, soit de type théorique et basé sur des outils analytiques ou numériques internes.

Pour rester compétitives et répondre au mieux aux nouvelles exigences environnementales, ces entreprises doivent régulièrement innover. Les évolutions technologiques conduisent notamment à rechercher des améliorations sur la tribologie des contacts. Améliorer conduit à faire des choix. Ces choix peuvent remettre en cause certains acquis au profit de savoir-faire nouveaux dont il convient de maîtriser en interne les coûts de développement. Il devient alors essentiel de procéder par étapes afin de valider des solutions par des expérimentations pertinentes et peu onéreuses avant de lancer toute modification de fabrication d’un produit.

A l’issue d’une enquête, initiée par le syndicat des industriels de la mécatronique ARTEMA, de nombreux industriels ont identifié la tribologie comme étant un facteur clé de la performance énergétique.

Les livres sur la tribologie existent en grand nombre, et ils apportent pour la plupart une description quasi exhaustive des multiples phénomènes possibles dans un contact. Ils ne vont pas être cités ici de peur d’en oublier mais ils sont majoritairement basés sur la description du contact et des phénomènes potentiellement observables dans le contact. En revanche, aucun ouvrage, à notre connaissance, ne propose explicitement une démarche simple de résolution d’un problème de tribologie.

L’objectif de ce document est de décrire la démarche utilisée pour la rédaction d’un guide destiné à proposer, non pas des informations nouvelles sur la tribologie, mais plutôt une réorganisation des informations classiques de la tribologie de manière à guider un industriel face à une démarche d’amélioration continue dans le domaine de la tribologie.

LES GRANDES ETAPES DE LA REDACTION DU GUIDE

Comme il a été évoqué précédemment, il ne s’agit pas, avec cet ouvrage, de proposer des informations nouvelles sur la Tribologie mais plutôt de travailler sur la manière de restituer les informations usuelles en Tribologie. L’idée est que ces informations soient fournies si possible en parfaite symbiose avec le déroulement de la démarche d’amélioration. Pour rédiger ce guide, 3 étapes (dont 2 quasiment réalisées à ce jour) ont été envisagées.

Etape 1 : Projet fin d’études des étudiants Supméca

S’agissant donc de réorganisation documentaire d’un existant, il n’a pas été convenu de démarrer l’étude avec des spécialistes de tribologie, mais plutôt avec des étudiants en fin d’études d’Ingénieur en Mécanique.

Groupe 1 : Mathilde TAFFOREAU - Gregory BARRAT (Supméca promotion 2015)

Groupe 2 : Houssam BELLA - Oscar MANCEAU (Supméca promotion 2016)

Le cahier des charges, pour ces 2 groupes, était de recenser les données issues de sources documentaires académiques sans aucun filtre possible puis de les structurer de manière à disposer d’un guide orienté sur la résolution de problème en tribologie. Ces 2 groupes successifs ont permis de tester diverses structurations possibles pour le document. Des tests sur des cas proposés par les industriels d’ARTEMA ont permis de mettre en avant une version basée sur une hiérarchisation des différents éléments, l’analyse s’appuyant sur l’architecture proposée en figure 1.

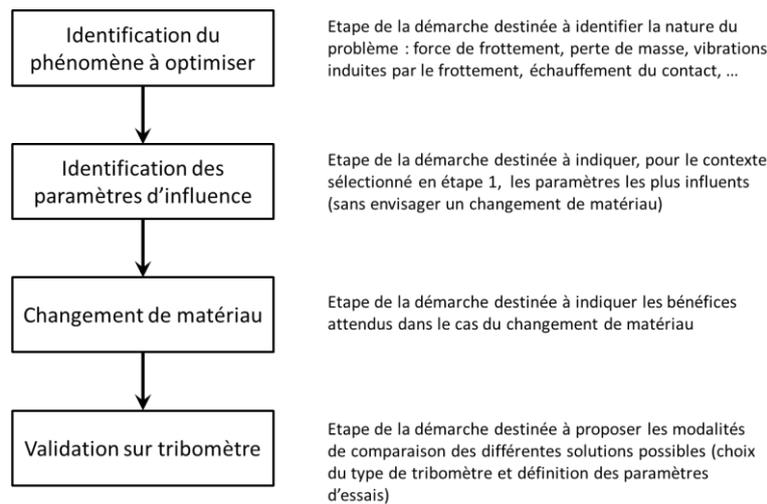


Figure 1: Architecture du guide.

La lecture est transformée en une succession d’exploitation de logigrammes pour lesquels une aide en ligne est éventuellement proposée.

Etape 2 : Groupe de travail industriel

Ce travail d’étudiants a permis d’entériner la structuration du document. Un comité de lecture a été constitué pour valider, et homogénéiser le contenu. Sa composition a obéi à un objectif de pluridisciplinarité à l’intérieur du domaine de la tribologie grâce au regroupement d’experts techniques d’industries proposant des composants très variés.

A l’heure où ce résumé est écrit, les recommandations du groupe de travail sont en cours de traitement et on s’oriente vers un guide d’une cinquantaine de pages.

CONCLUSIONS PERPECTIVES

La diffusion du guide est prévue en septembre après une dernière étape de validation par l’ensemble des membres du comité de lecture

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent tout particulièrement à remercier (participants du groupe de travail) : MM. Mohand ADJEMOUT (LATTY INTERNATIONAL), Richard BOULOM (PARKER HANNIFIN), Thierry BOUVIER (ETNA INDUSTRIE), Julien CARON (SMC France), René CATHIARD (LISI AUTOMOTIVE), Alexandre CECILLE (PARKER HANNIFIN MANUFACTURING FRANCE), Olivier CLOAREC (ARTEMA), Pierre LAGUIONIE (ETNA INDUSTRIE), et Michel PASQUIER (CMD TRANSMISSIONS).

SIMULATION NUMERIQUE DE LA LUBRIFICATION THERMO-HYDRODYNAMIQUE DE CONTACT PION-DISQUE

M. Belahcene¹, F. Robbe-Valloire² et M. Lounis³

1. Laboratoire FIMA, Université de Djilali Bounaama Khemis Miliana, Algérie

2. Laboratoire QUARTZ, Supméca de Paris, France

3. Laboratoire LAAR, Université des Sciences et de la Technologie d’Oran USTO, Algérie

MOTS CLES

Pion-Disque, Lubrification THD, Ansys-Fluent

INTRODUCTION

Les essais de contact pion-disque sont utilisés afin d’évaluer la représentation tribologique de plusieurs contacts solide-solide en mouvement sec ou lubrifié. Ces essais sont souvent utilisés pour évaluer le frottement et portent des caractéristiques des tribo-systèmes qui méritent des investigations plus étroites. L’usage peut être évalué en termes de perte ou modifications de masse dans la géométrie des corps en contact[1].

L’aspect thermique n’a pas été étudié dans la modélisation de la lubrification de contact pion-disque, la plupart des auteurs sont basés dans leurs travaux sur les modèles isothermes, sans tenir en compte l’évolution de la température de lubrifiant dans le contact[2]. Pour cela, ce travail a pour objectif principal de déterminer numériquement les effets thermiques sur la lubrification hydrodynamique (THD) de contact pion-disque à l’aide d’un code commercial Ansys-Fluent. L’intérêt de connaître la variation de la température est le fait que cette température est susceptible de modifier la viscosité de lubrifiant et il conviendra donc de prendre compte les effets thermiques locaux comme la dissipation visqueuse et le transfert thermique.

MODELE NUMERIQUE

La figure 1 présente le modèle 3D de la lubrification THD utilisé sur Ansys-Fluent. Le pion frotte sur un disque animé d’un mouvement de rotation, le dispositif est immergé dans un bain d’huile.

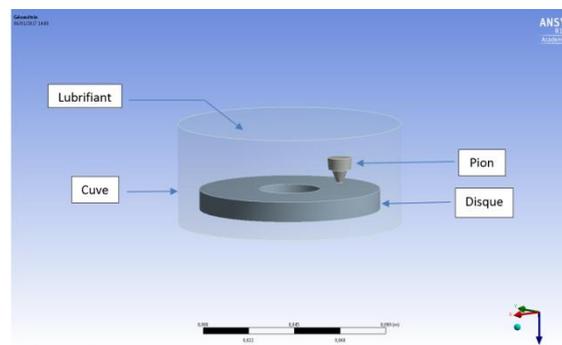


Figure 1: Modèle pion-disque sur Ansys-Fluent.

L'étude consiste à faire une analyse paramétrique de l'échauffement de l'huile en fonction des éléments suivants :

- Epaisseur du film d'huile : inférieur à 10 μm

- Vitesse de glissement du disque : entre 1 et 4 m/s.
- Viscosité d’huile : entre 0,01 et 0,1 Pa.s

L’écoulement de fluide est laminaire, le mode de transfert de la chaleur a été imposé sur les pièces avec un coefficient d’échange par convection. Les paramètres qui sont fixés dans la simulation sont présentés dans le Tableau 1. Le maillage utilisé c’est un maillage de 760109 nœuds et 3811570 éléments.

Caractéristiques	Lubrifiant	Pièces
Masse volumique (kg/m ³)	890	2700
Chaleur spécifique (j/kg.k)	1800	880
Conductivité thermique (W/m.k)	0,1	20
Coefficient d’échange par convection (W/m ² k)		500

Tableau 1 : Caractéristiques de lubrifiant et des pièces utilisées.

EXEMPLE DES RESULTATS

La figure 2 représente les vecteurs vitesses dans l’huile et le champ de la température dans le pion.

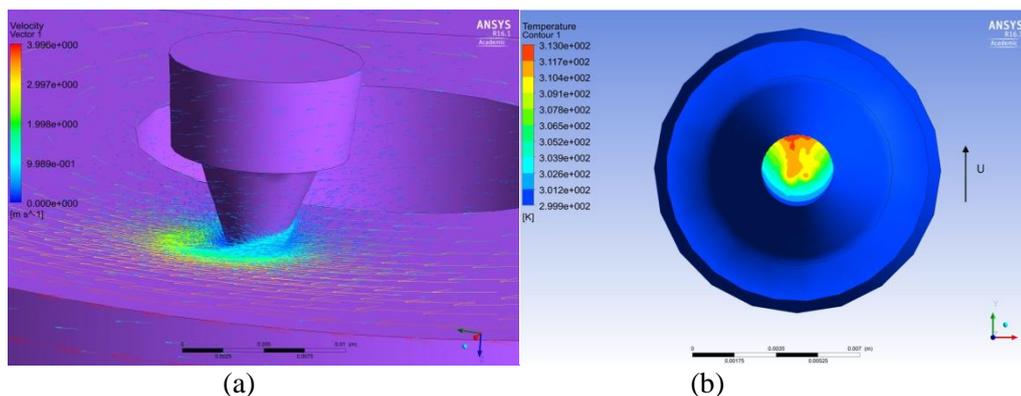


Figure 2: (a) Vecteurs vitesses dans l’huile, (b) Champ de température dans le pion.

CONCLUSION

L’influence des effets thermiques sur la lubrification hydrodynamique du contact pion-disque sera détaillée. Les résultats obtenus montrent que durant le glissement et avec une faible épaisseur d’huile entre les pièces, l’huile présente un échauffement significatif dans la partie arrière de la zone de contact qui nécessite sa prise en compte dans le processus de la lubrification THD. L’effet de la variation de la vitesse de glissement du disque, l’épaisseur d’huile entre les pièces et la viscosité de lubrifiant sur le contact sera également présenté.

Références

- [1] J.D. Bressan, D.P. Daros, A. Sokolowski, R.A. Mesquita, C.A. Barbosa (2008) «*Influence of hardness on the wear resistance of 17-4 PH stainless steel evaluated by the pin-on-disc testing*», Journal of Materials Processing Technology, **volume**(205), pp. 353-359.
- [2] F. Robbe-Valloire, B. Paffoni, R. Progri, R. Gras (2008) «*Limite d’utilisation de la courbe de stribeck pour la lubrification mixte entre surfaces parallèles*», Journées internationales francophones de tribologie (JIFT 2008).

Influence de la charge et du champ magnétique appliqués sur les caractéristiques d’un palier Magnéto- hydrodynamique à Ferrofluide

D. Bekhouche¹, A. Bouchoucha¹, H. Zaidi²

1.Laboratoire de Mécanique, Campus Chaabet-Ersas, Faculté des Sciences de la Technologie, Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie

2.Département Génie Mécanique et Systèmes Complexes, branche Mécanique des solides, CNRS, Université de Poitiers, ENSMA UPR 3346 SP2MI, Téléport 2, Boulevard Marie et Pierre Curie, Téléport 2, BP 30179,86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France.

MOTS CLES

Palier hydrodynamique, Ferro fluides, Equation de Reynolds modifiée, Charge appliquée, Champ magnétique.

INTRODUCTION

Nous présentons, dans ce travail, une étude numérique qui concerne un palier hydrodynamique court, lubrifié par des Ferro fluides. Pour ce faire, la modification de l’équation de Reynolds utilisée pour les paliers hydrodynamiques lubrifiés par des Ferro fluides Newtoniens, a été développée. D’autre part, un modèle de champ magnétohydrodynamique généré par un fil électrique concentrique a été développé et résolu numériquement, par la méthode des différences finies avec une technique itérative appropriée. La distribution de la pression est donc obtenue et est utilisée pour calculer les caractéristiques du palier. Les effets magnétiques du fluide magnétisé sont déterminés en faisant varier la charge et l’intensité du champ magnétique appliqués au palier. Les caractéristiques mécaniques du palier, le rapport d’excentricité, l’attitude de l’angle et le coefficient de frottement sont calculés. Les résultats obtenus montrent que l’effet combiné de la charge appliquée et de la force magnétique fournit la performance du palier, surtout, lorsque ce dernier fonctionne aux faibles charges et aux charges modérées et pour des valeurs élevées de la force magnétique. Par contre, quand les valeurs de la charge appliquées sont importantes, l’effet de la force magnétique est négligé devant celui de la charge.

INFLUENCE DE LA RUGOSITE SUR LE COMPORTEMENT TRIBOLOGIQUE DU COUPLE ACIER-ACIER : 42CrMo4-20MnCr5

H. Bouhabila^{1,2}, A. Bouchoucha², R. Benzerga³, C. Le Paven³,

1. Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de l’ingénieur, Université Boumerdes, Algérie

2. Laboratoire de mécanique, Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences de la Technologie, Université Les Frères Mentouri, Constantine, Algérie

3. IUT Saint Briec, Université de Rennes 1, 22004 Saint Briec, France

MOTS CLES

Rugosité, Qualité de surface, Tribologie, Frottement, Usure

INTRODUCTION

En productique, le but final est d’obtenir un produit dont la qualité d’exécution sera caractérisée par une précision dimensionnelle des formes géométriques et un degré de finition des surfaces lié directement à la notion de la rugosité [1]. L’état de surface est l’un des caractéristiques mécaniques les plus pertinentes dans la coupe des métaux [2], puisqu’il représente la phase de contrôle finale du cycle de production industrielle.

L’étude tribologique du couple acier-acier (42CrMo4-20MnCr5), a été réalisée en fonction de la rugosité (Ra) du cylindre en rotation monté sur le mandrin d’un tour. Le coefficient de frottement (sec ou lubrifié) μ et l’usure W (perte de masse du pion) sont déterminés grâce à un dispositif d’acquisition.

ETUDE EXPERIMENTALE

La machine utilisée est un tour parallèle de puissance $P = 4.9$ KW. La pièce cylindrique de dimensions ($\phi = 40$ mm, $L = 134$ mm) est fixée à l’aide d’un mandrin d’un côté et entre pointe tournante de l’autre côté (montage mixte).

Neuf pistes ont été réalisées avec différents paramètres de coupe choisis : la vitesse de coupe (Vc) variant de 800 à 1600 m.min⁻¹, une vitesse d’avance d’outil (f) variant de 0.1 à 0.2 mm.tr⁻¹ et un rayon de bec de l’outil (Rc) variant de 0.5 à 1.5 mm. L’opération effectuée est le chariotage en finition de 0.5 mm de passe [3]. La deuxième pièce est un pion de dimensions ($\phi = 10$ mm, $L = 20$ mm). La pièce usinée ainsi que le pion sont montrés figure 1.

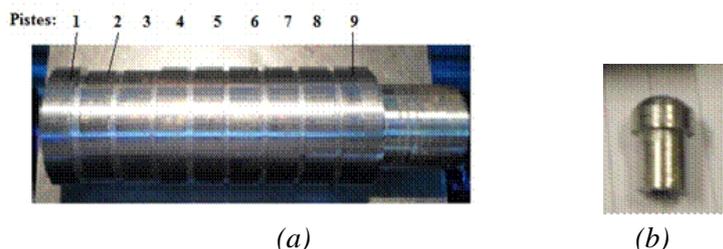
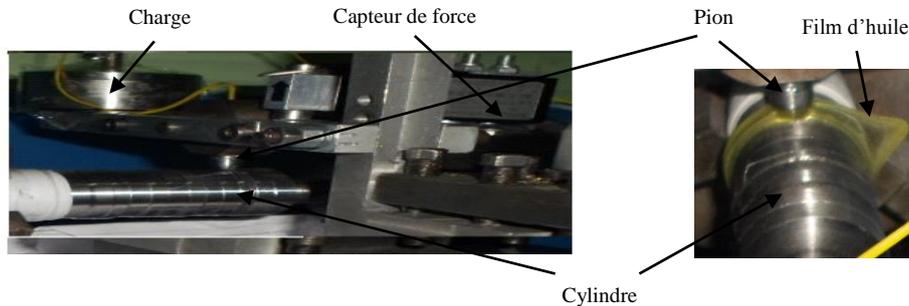


Figure 1 : Pièces usinées : (a) Cylindre de nuance 42CrMo4 et (b) Pion de nuance 20MnCr5

COMPORTEMENT TRIBOLOGIQUE

L’étude tribologique du couple acier-acier de nuances (42CrMo4 et 20MnCr5) a été réalisée en utilisant un tribomètre pion-cylindre équipé d’un dispositif d’acquisition figure 2. Les essais se

sont déroulés dans une ambiance atmosphérique. Les essais secs ont permis d’obtenir des valeurs du coefficient de frottement (μ proche de 0.9). C’est la raison pour laquelle, on a utilisé de l’huile commerciale 20W40 pour lubrifier le contact dynamique [4]. Dans ces conditions, μ diminue ($\mu = 0.3$) figure 2 (b).



(a) Contact sec

(b) Contact lubrifié

Figure 2 : Contact pion-cylindre

CONCLUSION

Il ressort de notre étude ce qui suit :

- Une diminution de la valeur maximale de la rugosité R_z , issue de l’usinage après essai tribologique, suite à la disparition des pics, dues aux fortes contraintes de cisaillement au niveau des aspérités qui se forment et se rompent de façon continue provoquant ainsi une déformation quasi-complète de la surface en contact du cylindre.
- Une variation du coefficient de frottement et de l’usure qui dépendent de la rugosité de surface de la piste du cylindre.
- Présence des microfissures (le long des surfaces usées) et des débris d’usure sous formes de bourrelets aux bords des surfaces du pion, facilitant ainsi l’enlèvement de la matière.
- Action des oxydes, en jouant le rôle de lubrifiant solide, dus à l’augmentation de la température, durant la déformation plastique.

Références

- [1] J.Cecha et al, « Surface roughness reduction using spray-coated hydro-gen silsesquioxane», Applied Surface Science, vol (280), pp. 424–430. (2013).
- [2] A. Boryczko et al, « Effect of waviness and roughness components on trans-verse profiles of turned surfaces », Measurement, vol (46), pp. 688–696. (2013).
- [3] R. Suresh, «Some studies on hard turning of AISI 4340 steel using multilayer coated carbide tool», Measurement, vol (45), pp. 1872–1884. (2012).
- [4] M. Sortino, «Dry turning of sintered molybdenum», Journal of Materials Processing Technology, vol (213), pp. 1179 –1190. (2013).
- [5] Y. Mouadji, «Effets du courant électrique sur le mécanisme de croissance de la couche d’oxyde a l’interface des contacts électrodynamiques cuivre-graphite et graphite-graphite», thèse de doctorat en Sciences, Université Constantine 1, (2013).
- [6] T. Leppert, « Effect of cooling and lubrication conditions on surface topo-graphy and turning process of C45 steel». International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol (51), pp. 120–126. (2011).

ETUDE TRIBOLOGIQUE DE BIOMATERIAUX : REVÊTEMENT D'HYDROXYAPATITE ET ALLIAGE DE TITANE TI-6AL-4V

M. Labaïz¹, F. Z. Derradji¹, L. Khelifa¹, A. Montagne², A. Iost²

1. Laboratoire de métallurgie et génie des matériaux, BP.12, 23000, Annaba, Algérie

2. Laboratoire MSMP, Arts et Métiers ParisTech, Boulevard Louis XIV 59046 Lille

MOTS CLES

Hydroxyapatite ; Alliage Ti-6Al-4V ; Revêtement ; Tribologie ; Usure

INTRODUCTION

L'hydroxyapatite sous forme (HA, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) est utilisée comme revêtement dans l'industrie biomédicale depuis plusieurs décades pour les implants dentaires et orthopédiques. Elle semble être le matériau céramique le plus adéquat pour la construction du tissu osseux artificiel grâce à ses excellentes propriétés de biocompatibilité. Malheureusement, les caractéristiques mécaniques des céramiques pures d'hydroxyapatite sont mauvaises.

Le titane et ses alliages sont intensivement utilisés dans l'implantation et connus comme des biomatériaux de choix à cause de leurs propriétés mécaniques excellentes et leurs modules d'élasticité qui les rend compatibles avec les structures osseuses [1] L'hydroxyapatite est utilisée comme revêtement sur des alliages de titane pour faciliter le greffage de l'implant avec le tissu de l'os parce qu'elle représente le premier constituant minéral de l'os [2].

Ce travail a pour but l'étude tribologique d'un dépôt d'hydroxyapatite sur un substrat en alliage Ti-6AL-4V. Dans ce travail, des échantillons d'essai obtenus par projection plasma ont été étudiés. Après observation microstructurale en microscopie optique et à balayage, la rugosité de surface et la dureté ont été mesurées. Un test d'usure rotatif a été utilisé pour la mesure du coefficient de frottement μ et quantifier la perte de masse, à la vitesse 2,5cm/s et aux charges (1, 3, 6 N). Pour l'hydroxyapatite seule la charge 1N a été imposée.

MATERIAUX ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

Les matériaux utilisés sont un substrat en Ti-6Al-4V biphasé $\alpha+\beta$ nu ou recouvert d'hydroxyapatite par projection plasma, cette dernière est symbolisée HAP. Pour la caractérisation, on a déterminé la dureté, la rugosité, coefficient de frottement et la perte de matériau par usure. Le tribomètre utilisé pour déterminer le coefficient de frottement est du type rotatif bille-disque de CSM. La microstructure pour l'alliage Ti-6Al-4V a été observée par microscopie optique, les phases ont été déterminées par DRX. Les surfaces d'usure ont été étudiées par profilométrie optique 3D et observées puis analysées par MEB et EDS.

RESULTATS

La Figure 1 présente l'évolution du coefficient de frottement pour les deux matériaux étudiés sous différentes charges appliquées à une vitesse de 2,5 cm/s. On remarque pour l'hydroxyapatite que le coefficient de frottement est directement stable avec une valeur moyenne de 0,208. Pour Ti-6Al-4V à la charge 1N, c'est l'accommodation des surfaces, puis le coefficient de frottement se stabilise avec

une valeur moyenne de 0,526, ce qui est déjà supérieur à celui de l'hydroxyapatite. Pour toutes les charges étudiées (1, 3, 6 N), le coefficient de frottement de l'alliage Ti-6Al-4V est supérieur à celui de l'hydroxyapatite (1N).

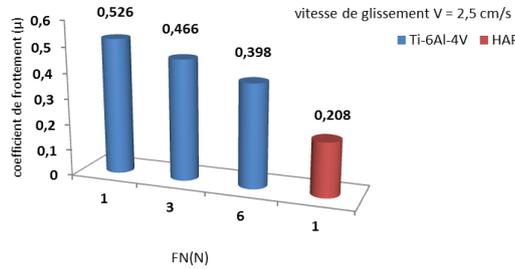


Figure 1: Comparaison du coefficient de frottement.

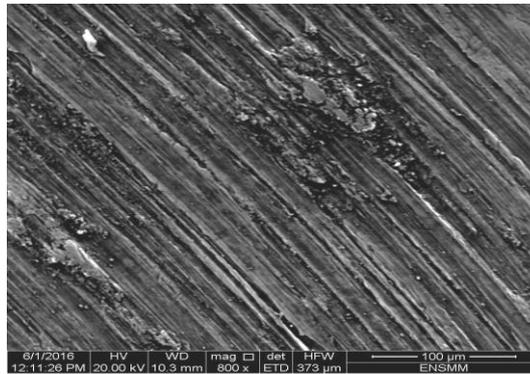


Figure 2: Photo M.E.B montrant l'usure de la surface de Ti-6Al-4V (FN=1N, Vg=2,5cm/s, parcours 30 m)

CONCLUSION

Les résultats montrent que le coefficient de frottement instantané évolue selon la variation des paramètres opératoires, pour une vitesse de glissement $V_g = 2,5 \text{ cm/s}$ et l'effort normal $FN = (1, 3 \text{ et } 6 \text{ N})$. On a trouvé un coefficient de frottement moyen μ pour Ti-6AL-4V et Ti/dépôt HAP sous trois charges, respectivement égal à (0.526, 0.466, 0.424, 0.398, 0.208). Le revêtement d'hydroxyapatite présente un meilleur comportement en frottement usure que l'alliage Ti-6Al 4V. Les pistes d'usure observées par MEB montrent une usure abrasive.

Références

- [1] M.Fellah, M.Labaiz, (2014) « Tribological behavior of Ti-6Al-4V and Ti-6Al-7Nb Alloys for Total Hip Prosthesis, advances in tribology », vol.14, ID 451387, pp. 1-13.
- [2] E. Peón Avés, M. S. Sader (2007) « Comparative Study of Hydroxyapatite Coatings Obtained by Sol-Gel and Electrophoresis on Titanium Sheets » Revista Matéria. vol.12, n. 1, pp. 156 – 163.

ETUDE D’UN CONTACT SEC EN ROULEMENT AVEC GLISSEMENT COMPARAISON EXPERIENCE / THEORIE

E. Cullaz¹, F. Macewko², M. Quillien¹, F. Robbe-Valloire¹

1. Supméca Quartz EA7393 3 rue Fernand Hainaut 93400 Saint-Ouen

2. Valéo 81 avenue Roger Dumoulin 80000 Amiens

MOTS CLES

Roulement, Glissement, loi de comportement

INTRODUCTION

Pour prédire l’endommagement de certains composants fonctionnant en roulement avec peu de glissement, il est nécessaire de connaître les lois de frottement en glissement, le modèle de Coulomb étant insuffisant. En effet, il ne propose qu’une approche avec ou sans glissement et pas de régime intermédiaire. Des expérimentations sur tribomètre bidisque nous ont permis d’obtenir expérimentalement les lois de frottement dans des conditions de fonctionnement proches du système réel considéré. L’étude vise à comparer nos résultats expérimentaux à ceux obtenus à partir de la théorie « linéaire » de Kalker appliquée au contact roulant entre deux corps élastiques en présence de frottement sec.

ETUDE EXPERIMENTALE

Le pré-dimensionnement de notre système fonctionnant à sec, en roulement avec faible glissement, nécessite la connaissance des lois de frottement dans les phases de faibles glissements.

Pour cela, nous avons réalisé une étude expérimentale sur un tribomètre bidisque. Ce dispositif, développé pour étudier les phénomènes de roulement avec glissement, permet de faire varier la vitesse relative de glissement entre deux disques. Le contact entre les deux disques, un disque cylindrique et un disque torique, est ponctuel (voir Figure 1). Les vitesses de rotation peuvent varier entre 100 et 10500 tr/min et le dispositif de chargement permet d’appliquer, par l’intermédiaire de masses suspendues, un effort normal de 70 à 700 N. Les vitesses de rotation des deux disques sont mesurées par deux capteurs magnétiques [1].

La fabrication des disques en acier est conforme à la fabrication des pièces réelles avec les mêmes traitements de surface, procédés et états de surface que ceux des pièces réelles.

Le taux de glissement est défini par :

$$Tg = \frac{V_{\text{glissement}}}{|V_{\text{roulement}}|} = \frac{R_2\omega_2 - R_1\omega_1}{\frac{1}{2}(R_2\omega_2 + R_1\omega_1)} \quad \text{avec } R_1 = R_2 = R \quad (1)$$

Les glissements dans le système réels étant très faibles, nous avons choisi de faire varier le taux de glissement entre -0.2 et +1 % et de nous focaliser sur l’intervalle $\pm 0.2\%$.

Malgré la diversité des conditions expérimentales choisies (3 pressions de contact, 2 vitesses de rotation, 2 rayons R_b de disque torique), l’évolution du coefficient de frottement en fonction du taux de glissement, dans l’intervalle considéré, est linéaire. Les pentes des droites sont assez proches les unes des autres avec une valeur moyenne de 0.6 (voir Figure 2). C’est cette valeur reliant le coefficient de frottement et le taux de glissement que nous avons retenue et implémentée dans notre modèle théorique.

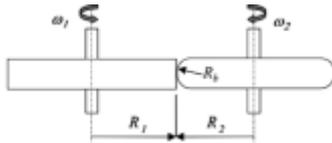


Figure 1 : Schéma des disques du bidisque

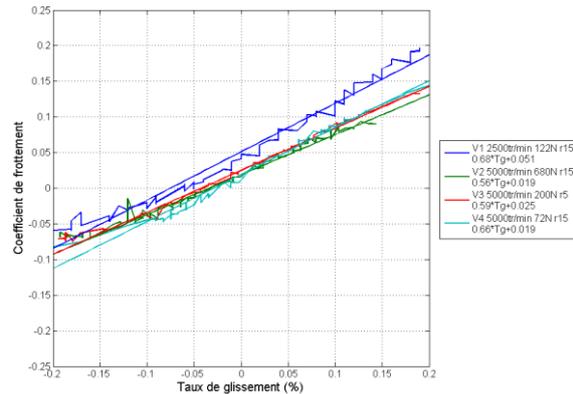


Figure 2 : Evolution du coefficient de frottement en fonction du taux de glissement

ETUDE THEORIQUE

La loi de frottement que nous avons définie est phénoménologique et n'est donc valide que pour les matériaux utilisés (nature et traitement de surface associé). De nouvelles expérimentations seront donc nécessaires pour étudier d'autres traitements de surface ou d'autres matériaux. Afin de faciliter le pré-dimensionnement, nous avons appliqué la théorie linéaire de Kalker [2], ne nécessitant pas de code de calculs. Dans le cas d'un contact ponctuel elliptique en roulement stationnaire, lorsque les taux de glissement sont très faibles, la zone d'adhérence tend à couvrir l'aire de contact. La théorie linéaire suppose que les différences de déplacement élastique s'opposent exactement aux différences des déplacements de corps rigides. Cela permet d'en déduire le torseur des efforts au contact en fonction des taux de glissement. On obtient ainsi dans notre cas l'effort tangentiel :

$$F_x = \frac{E}{2(1-\nu)} ab \left(C_{11} + C_{14} \frac{b^2}{8R^2} \right) T_g \quad (2)$$

Avec : E et ν , les constantes matériaux; a et b , les dimensions de l'ellipse de contact et C_{11} et C_{14} , les coefficients calculés par Kalker, ne dépendant que du rapport $g = b/a$.

L'équation (2) permet de retrouver la linéarité $f = f(T_g)$ avec des pentes comprises entre 0.84 et 1.8. Selon la configuration, on observe un facteur de 1.4 à 2.7 par rapport aux pentes déterminées expérimentalement. L'écart entre les valeurs théoriques et expérimentales est d'autant plus faible que la pression est élevée.

CONCLUSIONS

La comparaison entre expérience et théorie montre qu'un écart significatif existe. La présentation aura pour objectif d'explicitier l'origine de cet écart.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BOSREDON B., GRAS R., SEIGE P. « Cryotribomètre bidisque - Premiers résultats expérimentaux » Revue Française de Mécanique, 1994, n°1994-3, pp 193-201
- [2] KALKER J.J. « A minimum principle for the law of dry friction, with application to elastic cylinders in rolling contact » Part 1et 2, Trans. ASME, Journal of applied Mechanics, December 1971, pp 875-887
- [3] LEGRAND E., ROBBE-VALLOIRE F. « Analyse des efforts tangentiels dans les contacts billes-bagues non lubrifiés » Bulletin SFM Revue Française de Mécanique n°1994-2, pp93-102

