

Kaouthar BOUGUERRA

Analyse physico-chimique des mécanismes de lubrification électrochimique des aciers inoxydables ;
développement d'une approche expérimentale et numérique pour l'estimation de la durée de vie

Résumé :

La tribocorrosion des aciers inoxydables en milieu alcalin représente un enjeu majeur pour la durabilité des équipements industriels, notamment dans l'industrie agroalimentaire. Cette thèse a mis en évidence un mécanisme de lubrification électrochimique pour un couple de frottement AISI 316L / AISI 316L. Cette lubrification induite par la formation d'un tribo-film protecteur composé d'oxydes et d'hydroxydes de chrome et de fer ainsi que des carbonates métalliques. Ce film suit un cycle de dépassivation-repassivation, réduisant significativement le frottement et l'usure. La nature des composés formant la couche passive semble jouer un rôle majeur dans le pouvoir lubrifiant. L'étude des paramètres tribologiques montre que ce comportement est stable avec une fréquence comprise entre 2 et 5 Hz (sur une amplitude de ± 5 mm sous 0.5 MPa) avec une concentration optimale de 5 % en NaHCO_3 . Tandis qu'une fréquence plus élevée (8-10 Hz) entraîne sa déstabilisation. Ce processus n'est pas perturbé par des arrêts intermédiaires jusqu'à 24h, ce qui montre un fort potentiel d'application. L'étude comparative a révélé que ce phénomène est partiellement reproductible sur certains aciers inoxydables (AISI 304, Uranus 45), mais limité sur d'autres aciers (Nitronic 60, 42CrMo4). L'approche par Machine Learning a confirmé la capacité des modèles Random Forest et Gradient Boosting à prédire le coefficient de frottement et le potentiel électrochimique avec un coefficient de détermination $R^2 > 0,98$.

Mots clés : Tribocorrosion, aciers inoxydables, lubrification électrochimique, NaHCO_3 , films passifs, Machine Learning.

Summary :

The tribocorrosion of stainless steels in an alkaline environment is a major challenge for the durability of industrial equipment, particularly in the food industry. This thesis highlights an electrochemical lubrication mechanism for an AISI 316L / AISI 316L friction pair. This lubrication is induced by the formation of a protective tribo-film composed of chromium and iron oxides and hydroxides, as well as metallic carbonates. This film undergoes a depassivation-repassivation cycle, significantly reducing friction and wear. The nature of the compounds forming the passive layer appears to play a major role in the lubricating effect. The study of tribological parameters shows that this behavior remains stable at a frequency between 2 and 5 Hz (with an amplitude of ± 5 mm under 0.5 MPa) with an optimal NaHCO_3 concentration of 5%. In contrast, a higher frequency (8–10 Hz) leads to its destabilization. This process is not disrupted by intermediate stops of up to 24 hours, demonstrating strong application potential. The comparative study revealed that this phenomenon is partially reproducible on certain stainless steels (AISI 304, Uranus 45) but limited on others (Nitronic 60, 42CrMo4). The Machine Learning approach confirmed the ability of Random Forest and Gradient Boosting models to predict the friction coefficient and electrochemical potential with a determination coefficient $R^2 > 0.98$.

Keywords: Tribocorrosion, stainless steels, electrochemical lubrication, NaHCO_3 , passive films, Machine Learning