ASSESSMENT OF CURRENT MODELS FOR CHARACTERIZING THE WEAR PROCESS

تقييم النماذج الحالية لتوصيف عملية التآكل

Scientific Supervisor

المشرف العلمي

Zhang Nan
Student at Sukhoi State Technical University

تشانغ نان
طالب بجامعة سوخوي الحكومية التقنية

Vladimir Viktorovich Komrakov
PhD, Associate Professor, Department of Information Technology, GSTU

د. فلاديمير فيكتوروفيتش كومراكوف
أستاذ مشارك في قسم تقنية المعلومات بجامعة سخوي الحكومية التقنية

Abstract: *This paper focuses on introducing several common wears describing mathematical models and empirical formulas, and discusses the current applications of wear prediction in enhancing the overall reliability of mechanical systems, aiming to gain a deeper understanding of the advancements in this field through the exploration of key findings and methods.*

Keywords: *Wear prediction; Mathematical model of wear prediction*

الخلاصة : تركز هذه الورقة على تقديم العديد من النماذج الرياضية والصيغ التجريبية التي تصف التآكل الشائع، وتناقش التطبيقات الحالية للتنبؤ بالتآكل في تعزيز الموثوقية الشاملة للأنظمة الميكانيكية، بهدف اكتساب فهم أعمق للتقدم في هذا المجال من خلال استكشاف النتائج والأساليب الرئيسية.

الكلمات المفتاحية : تحمل الأمثل التشحيم. تقليل التآكل؛ التشحيم الهيدروديناميكي نمذجة الاحتكاك الديناميكي

Introduction

Accurate wear prediction is crucial for enhancing the reliability and longevity of mechanical systems, as it optimizes maintenance cycles and reduces production costs. This paper explores several common mathematical models and empirical formulas used for wear prediction, highlighting their applications in improving mechanical system reliability. By examining key findings and methodologies, the study aims to provide insights into advancements in wear prediction techniques [1-3].

المقدمة

يُعدّ التنبؤ الدقيق بالتآكل أمرًا بالغ الأهمية لتعزيز موثوقية الأنظمة الميكانيكية وإطالة عمرها، إذ يُحسّن دورات الصيانة ويُخفّض تكاليف الإنتاج. تستكشف هذه الورقة البحثية العديد من النماذج الرياضية والصيغ التجريبية الشائعة المستخدمة في التنبؤ بالتآكل، مُسلّطةً الضوء على تطبيقاتها في تحسين موثوقية الأنظمة الميكانيكية. من خلال دراسة النتائج والمنهجيات الرئيسية، تهدف الدراسة إلى تقديم رؤىً حول التطورات في تقنيات التنبؤ بالتآكل [1-3].

Results and discussion

Mathematical models are typically based on physical principles and describe various influencing factors in the wear process; whereas empirical formulas summarize empirical relationships based on experimental data for quick estimation of wear amounts. Currently, the application of mathematical models based on wear prediction plays a crucial role in enhancing the reliability of mechanical components. Common wear prediction mathematical models and empirical formulas include wear models based on Archard's law, wear formulas based on the Coulomb friction model, and empirical formulas targeting different wear mechanisms, among others.

The Archard wear model is one of the most widely used classical models for wear prediction. This model assumes that wear is formed by small cutting, peeling, and other actions at surface contact points, and that the amount of wear is proportional to the contact area, normal pressure, and material hardness. Its basic expression is (1).

النتائج والمناقشة

تعتمد النماذج الرياضية عادةً على مبادئ فيزيائية وتصف عوامل مؤثرة مختلفة في عملية التآكل؛ بينما تلخص الصيغ التجريبية العلاقات التجريبية بناءً على البيانات التجريبية لتقدير سريع لكميات التآكل. حاليًا، يلعب تطبيق النماذج الرياضية القائمة على التنبؤ بالتآكل دورًا حاسمًا في تعزيز موثوقية المكونات الميكانيكية. تتضمن النماذج الرياضية الشائعة للتنبؤ بالتآكل والصيغ التجريبية نماذج تآكل تستند إلى قانون آرشارد، وصيغ تآكل تستند إلى نموذج احتكاك كولومب، وصيغ تجريبية تستهدف آليات تآكل مختلفة، من بين أمور أخرى. يُعد نموذج آرشارد للتآكل أحد أكثر النماذج الكلاسيكية استخدامًا للتنبؤ بالتآكل. يفترض هذا النموذج أن التآكل يتشكل من خلال القطع الصغير والتقشير وإجراءات أخرى عند نقاط التلامس السطحية، وأن مقدار التآكل يتناسب مع مساحة التلامس والضغط العمودي وصلابة المادة. تعبيره الأساسي هو (1).

$$V = k \cdot \frac{W \cdot S}{H} \qquad 1)$$

Where: V is the wear volume (mm³); k is the wear coefficient (dimensionless), usually determined experimentally; W is the normal pressure (N); S is the relative sliding distance (m); H is the material hardness (MPa).

The Coulomb friction model is primarily used to describe the relationship between the friction force and the contact surface of objects, particularly during sliding friction processes. This model assumes that the friction force is proportional to the normal pressure and is independent of the relative sliding velocity of the objects. Based on the Coulomb friction model, the wear prediction formula is (2)

حيث: V هو حجم التآكل (مم³)؛ k هو معامل التآكل (بدون أبعاد)، والذي يُحدد عادةً تجريبيًا؛ W هو الضغط العمودي (N)؛ S هي مسافة الانزلاق النسبية (م)؛ H هي صلابة المادة (ميجا باسكال). يُستخدم نموذج احتكاك كولومب بشكل أساسي لوصف العلاقة بين قوة الاحتكاك وسطح تلامس الأجسام، وخاصةً أثناء عمليات الاحتكاك الانزلاقي. يفترض هذا النموذج أن قوة الاحتكاك تتناسب طرديًا مع الضغط العمودي ولا تعتمد على سرعة الانزلاق النسبية للأجسام. بناءً على نموذج احتكاك كولومب، تكون صيغة التنبؤ بالتآكل هي (2).

$$F_f = \mu \cdot W \qquad 2)$$

Where F_f is the friction force (N); μ is the friction coefficient (dimensionless); W is the normal pressure (N).

When the friction force is known, the relationship between wear rate and friction coefficient can be further obtained. For example, under conditions of a higher friction coefficient, the friction force is larger, resulting in greater wear. By combining the Coulomb friction model with the wear mechanism, the resulting wear formula is as follows (3)

حيث F_f هي قوة الاحتكاك (نيوتن)؛ μ هو معامل الاحتكاك (بدون أبعاد)؛ W هو الضغط العمودي (نيوتن). عند معرفة قوة الاحتكاك، يمكن التوصل إلى العلاقة بين معدل التآكل ومعامل الاحتكاك. على سبيل المثال، في ظروف معامل احتكاك أعلى، تكون قوة الاحتكاك أكبر، مما يؤدي إلى تآكل أكبر. بدمج نموذج احتكاك كولومب مع آلية التآكل، تكون صيغة التآكل الناتجة كما يلي (3).

$$V = k_1 \cdot F_f \cdot S \cdot \mu \qquad 3)$$

Where k_1 is the wear constant, determined experimentally; F_f is the friction force; S is the relative sliding distance; μ is the friction coefficient. This formula indicates that an increase in friction force and friction coefficient will directly lead to an increase in wear rate. Unlike the Archard model, the Coulomb friction model focuses more on the relationship between friction force and wear, making it suitable for explaining mechanisms such as abrasive wear and adhesive wear.

Abrasive wear typically occurs when hard particles or particulate matter come into contact with the material surface. The amount of wear is usually related to hardness, abrasive particle size, and the contact time with the surface. An empirical formula is given in equation (4).

حيث k_1 هو ثابت التآكل، المُحدد تجريبيًا؛ F_f هي قوة الاحتكاك؛ S هي مسافة الانزلاق النسبية؛ μ هو معامل الاحتكاك. تشير هذه الصيغة إلى أن زيادة قوة الاحتكاك ومعامل الاحتكاك تؤدي مباشرةً إلى زيادة معدل التآكل. بخلاف نموذج آرشارد، يركز نموذج احتكاك كولومب بشكل أكبر على العلاقة بين قوة الاحتكاك والتآكل، مما يجعله مناسبًا لشرح آليات مثل تآكل المواد الكاشطة وتآكل المواد اللاصقة. يحدث التآكل الكاشط عادةً عند ملامسة الجسيمات الصلبة أو الجسيمات لسطح المادة. يرتبط مقدار التآكل عادةً بالصلابة وحجم جسيمات المواد الكاشطة وزمن ملامستها للسطح. ترد صيغة تجريبية في المعادلة (4).

$$V = k_2 \cdot P \cdot D \cdot L \qquad 4)$$

Where V is the wear volume (mm³); P is the normal pressure (N); D is the diameter of the abrasive particles (mm); L is the sliding distance (m); k_2 is the wear constant, which depends on material properties and abrasive type. This formula is applicable to the abrasive wear mechanism, indicating the relationship between wear amount and normal pressure, abrasive particle size, and sliding distance.

حيث V هو حجم التآكل (مم³)؛ P هو الضغط العادي (N)؛ D هو قطر جسيمات المادة الكاشطة (مم)؛ L هي مسافة الانزلاق (م)؛ k_2 هو ثابت التآكل، والذي يعتمد على خصائص المادة ونوعها. تنطبق هذه الصيغة على آلية تآكل المادة الكاشطة، حيث توضح العلاقة بين مقدار التآكل والضغط العادي، وحجم جسيمات المادة الكاشطة، ومسافة الانزلاق.

Conclusion

Mathematical models and empirical formulas for wear prediction provide important tools for tribological research and engineering practice. Although existing wear models can predict wear conditions under certain common operating conditions relatively well, in complex operating conditions, it is still necessary to combine experimental data and numerical simulation methods to improve the accuracy of predictions.

الخاتمة

تُوفر النماذج الرياضية والصيغ التجريبية للتنبؤ بالتآكل أدواتٍ مهمةً لبحوث الاحتكاك والممارسة الهندسية. على الرغم من قدرة نماذج التآكل الحالية على التنبؤ بظروف التآكل في ظل ظروف تشغيل شائعة معينة بشكل جيد نسبيًا، إلا أنه في ظروف التشغيل المعقدة، لا يزال من الضروري الجمع بين البيانات التجريبية وطرق المحاكاة العددية لتحسين دقة التنبؤات.

Literature المراجع والمصادر

1. Cortellessa V, Singh H, Cukic B. Early reliability assessment of UML based software models[C]//Proceedings of the 3rd international workshop on Software and performance. 2002: 302-309.
2. Ciancone A, Drago M L, Filieri A, et al. The KlaperSuite framework for model-driven reliability analysis of component-based systems[J]. Software & Systems Modeling, 2014, 13: 1269-1290.
3. Wang J, Li Y, Zhao R, et al. Physics guided neural network for machining tool wear prediction[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2020, 57: 298-310.

ASSESSMENT OF CURRENT MODELS FOR CHARACTERIZING THE WEAR PROCESS

تقييم النماذج الحالية لتوصيف عملية التآكل

Zhang Nan
Student at Sukhoi State Technical University

تشانغ نان
طالب بجامعة سوخوي الحكومية التقنية

Scientific Supervisor / المشرف العلمي

Vladimir Viktorovich Komrakov
PhD, Associate Professor, Department of Information Technology, GSTU

د. فلاديمير فيكتوروفيتش كومراكوف
أستاذ مشارك في قسم تقنية المعلومات بجامعة سخوي الحكومية التقنية

Abstract: *This paper focuses on introducing several common wears describing mathematical models and empirical formulas, and discusses the current applications of wear prediction in enhancing the overall reliability of mechanical systems, aiming to gain a deeper understanding of the advancements in this field through the exploration of key findings and methods.*

Keywords: *Wear prediction; Mathematical model of wear prediction*

الخلاصة : تركز هذه الورقة على تقديم العديد من النماذج الرياضية والصيغ التجريبية التي تصف التآكل الشائع، وتناقش التطبيقات الحالية للتنبؤ بالتآكل في تعزيز الموثوقية الشاملة للأنظمة الميكانيكية، بهدف اكتساب فهم أعمق للتقدم في هذا المجال من خلال استكشاف النتائج والأساليب الرئيسية.

الكلمات المفتاحية : تحمل الأمثل التشحيم. تقليل التآكل؛ التشحيم الهيدروديناميكي نمذجة الاحتكاك الديناميكي