

УДК 621.891

Формування композиційних покриттів триботехнічного призначення для роботи при підвищених температурах з урахуванням напружено-деформованого стану

С.В. Федорчук*

Національний авіаційний університет, Київ



Проведено аналіз факторів, що впливають на напружено-деформований стан при терті композиційних покриттів при підвищених температурах. Встановлено залежності концентрації напружень від об'ємного співвідношення матриці і включень, кількості і форми наповнювачів у композиційному матеріалі. Показано перспективність композицій, що містять зносостійкий наповнювач розміром 20 – 50 мкм в кількості до 20 – 30 % об'єму.

Прогресивним напрямком триботехнічного матеріалознавства є розробка композицій на металевій основі, зміцнених тугоплавкими високоміцними волокнами або пластинами. Такі матеріали можуть працювати в широкому діапазоні температур. Аналіз антифрикційних властивостей виявив важливу роль розміру включень наповнювача та його об'ємного вмісту. На зносостійкість гетерогенних матеріалів суттєво впливає напружений стан, що виникає під час контактування поверхонь при терті.

Проблема використання цих композитів пов'язана з тим, що внаслідок різних значень фізико-механічних характеристик таких як теплоємність, теплопровідність, коефіцієнтів теплового розширення на межі між матрицею та включеннями, у перехідній зоні між матрицею та включеннями, а також у перехідній зоні між покриттям та основою виникають великі напруження. Відомі експериментальні та теоретичні дані не дають змоги зробити висновок про розподіл напружень у композиційному матеріалі за реальних умов тертя, зокрема з урахуванням температурного режиму елементів пари тертя. Внаслідок суттєвої різниці в коефіцієнтах теплопровідності та питомої теплоємності матеріалів матриці та включень (карбіди, бориди, силіциди, нітриди та інші) миттєві температури в різних точках композиту можуть значно відрізнятись. Ці перепади температур можуть викликати руйнування композиту, структурні та фазові перетворення, накопичення значних пошкоджень. Проте вдалий підбір співвідношення складових може сприяти зменшенню цих напружень, підвищенню працездатності

* Друга премія ім. М.П. Брауна

Науковий керівник роботи доктор технічних наук, професор Кіндрачук М.В.

деталей та конструкції в цілому. Важливим є також визначення точок з максимальними перепадами температур і напружень та впливу на них внутрішніх та зовнішніх факторів.

Тому наукові дослідження направлені на аналітичні дослідження впливу природи твердих включень, їх розміру і об'ємного вмісту на напружено-деформований стан, що виникає під час тертя в приповерхневих шарах композиційного матеріалу з урахуванням температурного фактору та встановлення можливостей підвищення зносостійкості композиційних матеріалів шляхом обґрунтованого вибору наповнювача для роботи при підвищених температурах.

Так, нами проведено аналіз чинників, що мають найбільший вплив на напружено-деформований стан при терті та виходячи з ідеалізованих умов розраховані залежності концентрації напружень у композиції від співвідношення механічних властивостей, об'ємного співвідношення матриці і включень та теплових характеристик [1]. З аналізу отриманих залежностей можна зробити висновок, що за умов тертя слід надавати перевагу композиціям, що містять 30 – 40 % (об.) високомодульних волокон, причому при розташуванні волокон перпендикулярно до поверхні тертя композиції характеризуються вищими механічними властивостями у порівнянні з композиціями з паралельними розміщенням волокон, або при використанні сферичного наповнювача. Оскільки в отриманих залежностях характер зміни напружень від вмісту наповнювача для різних матеріалів (TiB_2 , SiC , CrB_2) є більш значно вираженим ніж при зміні температур, то можемо зробити висновок, що в досліджуваному інтервалі температур (кімнатна температура, 300 °C, 450 °C) більш суттєвий вплив на напружено-деформований стан матеріалу мають фізико-механічні властивості компонентів композиту ніж теплові.

Продовженням проведених робіт стали аналітичні дослідження полів температур та термонапружень в композиційному матеріалі [2]. Результати розрахунків показали суттєву неоднорідність по всіх координатах нестационарних теплових полів, викликаних у композиційних матеріалах процесами тертя. Конфігурація цих полів зумовлена гетерогенністю структури, теплофізичними властивостями композиту та динамікою процесу тертя. Параметри структури та її склад мають значний вплив на статичні характеристики цих полів. Використання імітаційного моделювання дозволило виявити, що в композиційних матеріалах під впливом температурних полів виникають поля термічних напружень зі значними перепадами, які залежать від неоднорідності фізико-механічних властивостей композиційного матеріалу. Найбільш навантаженими ділянками композиційного матеріалу покриття є перехідні зони між покриттям і основою та між включеннями і матрицею. Позитивний ефект щодо зменшення перепадів напружень та підвищення релаксаційної здатності проявляється при застосуванні дрібнодисперсних композиційних матеріалів.

Таким чином, проведені аналітичні дослідження дали змогу сформулювати вимоги до створення композиційних покриттів для роботи при підвищених температурах. Так, з метою зменшення напружень та термонапружень доцільно використовувати дрібнодисперсний високомодульний наповнювач (можливий ефект від використання наповнювача нанорозміру) при розташуванні волокон перпендикулярно до поверхні тертя композиції.

З урахуванням розроблених вимог було створено ряд композицій та проведені їх триботехнічні дослідження в умовах тертя ковзання без змащення, які показали [3], що найбільш ефективним для підвищення зносостійкості є використання у якості наповнювача композицій, які містять зносостійкий наповнювач розміром 20 – 50 мкм в кількості 20 – 30 об. %, що узгоджується з отриманими аналітичними залежностями.

Також отримані результати за проведеними аналітичними та триботехнічними дослідженнями були використані при створенні зносостійкого сплаву на основі заліза

з додаванням Ni, Ti, Cr та B [4], що має високі експлуатаційні властивості при підвищених температурах на повітрі.

Висновок Таким чином, проведена робота заклала теоретичне та експериментальне підґрунтя для вирішення практичної задачі – створення композиційних покриттів для роботи при підвищених температурах. Разом з тим, ще велика кількість питань є недослідженою. Так в майбутньому будуть проведені дослідження композиційних покриттів в яких в якості наповнювача буде використано запатентований сплав [4]. Планується проведення триботехнічних випробовувань за різних умов тертя (фреттинг корозії, зі змащенням) та розробка технологічних рекомендацій до створення покриттів триботехнічного призначення для роботи при підвищених температурах.

Література

1. Кіндрачук М.В. Напряженно-деформированное состояние композиционного материала, нагруженного силами трения и температурой / М.В. Кіндрачук, А.А. Корниенко, С.В. Федорчук // Проблемы трибологии. – 2006. – № 1. – С. 153 – 157.
2. Формування напружено-деформованого стану та нестационарних термічних полів у композиційному матеріалі при терті / М.В. Кіндрачук, С.В. Федорчук, Джамаль І. Мансур // Вісник НАУ. – 2006. – № 2. – С. 65 – 70.
3. Кіндрачук М.В. Трибологія градієнтних покриттів з макро- та нанонаповнювачами / М.В. Кіндрачук, А.А. Корниенко, С.В. Федорчук // Проблемы трибологии. – 2007. – № 3. – С. 41 – 44.
4. Пат. 27849 Україна, МПК С23С 8/02. Зносостійкий сплав / В.Є. Панарін, М.В. Кіндрачук, Джамаль І. Мансур, С.В. Федорчук, В.В. Погоріла. – Заявл. 21.08.07; опубл. 12.11.07. // Бюл. изобретений. – 2007. – № 11.

С.В. Федорчук

Формирование композиционных покрытий триботехнического назначения для работы при повышенных температурах с учетом деформационно-напряженного состояния

Резюме

Проведен анализ факторов, которые влияют на напряженно-деформационное состояние при трении композиционных покрытий при повышенных температурах. Установлены зависимости концентрации напряжений от объемного соотношения матрицы и включений, количества и формы наполнителей в композиционном материале. Показана перспективность композиций, содержащих износостойкие наполнители размером 20 - 50 мкм в количестве до 20 - 30 об. %.

S.V. Fedorchuk

Formation of composite tribotechnical coatings for operation under high temperature including stress-deformation condition

Summary

The factors influencing to stress-deformation condition at friction of composite coatings under elevated temperature are analyzed. The dependences of stress concentration on volume ratio of matrix and inclusions, quantity and shape of fillers in composite material are established. Composites containing wear-resistant fillers of 20 - 50 μm and quantity of 20 - 30 vol. % are shown to be advanced.