

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОБМІНУ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ТА НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ТІЛ З ПОКРИТТЯМИ ЗА ВРАХУВАННЯ СУХОГО ТЕРТЯ

Олександр Гачкевич, Ростислав Терлецький, Орест Гуменчук

*Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАН України*

dept13@iapmm.lviv.ua, or1961@ukr.net

Постійне підвищення рівня навантажувально-швидкісних режимів експлуатації техніки і необхідність збільшення її ресурсу вимагає покращення фізико-механічних, триботехнічних та інших властивостей матеріалів деталей машин. Оскільки зміцнення чи модифікація поверхневого шару дозволяє попередити зародження в них деформаційних дефектів і подальше руйнування (зношування), то формування на поверхні захисних покриттів є перспективним шляхом для створення високоміцних і зносостійких елементів виробів, що мають покращені фізико-механічні властивості і стійкість до руйнування в процесі фрикційної взаємодії в складних експлуатаційних умовах.

Для створення таких елементів актуальними є теоретичні дослідження термомеханічної поведінки шаруватих елементів конструкцій (зокрема, з покриттями) при терті та інтенсивному тепловому навантаженні за дії електромагнітного випромінювання світлового діапазону (зокрема, теплового) під час технологічної термообробки. Ці дослідження вимагають розвитку модельних уявлень про процес деформування шаруватих тіл з врахуванням фізичних процесів тертя, поширення випромінювання і тепла, а також розробки відповідних моделей термомеханіки шаруватих тіл. У спрощених моделях фрикційної взаємодії [1], тіла, що контактують, як правило, вважають напівпросторами і у цьому випадку не враховують теплообмін із навколишнім середовищем, зокрема випромінюванням.

З використанням математичних моделей термомеханіки шаруватих пластин [2, 3] та одновимірної моделі суцільного фрикційного контакту [1] здійснено постановку задачі про дослідження теплового і напруженого станів тіл з покриттями при сухому терті. Отримано вихідні співвідношення для системи нескінченних плоскопаралельних шарів, яка складається з рухомого шару, до якого прикладено притискуюче розподілене навантаження, та контактуючого з ним шару (підложки), на який нанесено покриття. Система в цілому знаходиться в умовах конвективно-променевого теплообміну з зовнішнім середовищем. При дослідженні напруженого стану в розглядуваній три-

шаровій системі для оцінювання впливу нагріву при терті і притискаючого зусилля компоненти тензора напружень у шарах подано у вигляді суми складників, зумовлених відповідно нагрівом та силовим навантаженням. Розроблено числову методику розв'язування сформульованих нелінійних контактнo-крайових задач теплопровідності і досліджено температуру та напружений стан в системі залежно від притискального навантаження та швидкості руху при терті. Встановлено, що врахування теплообміну випромінюванням суттєве при оцінці теплового і напруженого станів, а нехтування його впливом приводить до завищення рівнів температур і теплових напружень. Зона стискальних напружень розташована в підложці і покритті, а розтягувальних – в рухомому шарі. На поверхнях контакту мають місце стрибки напружень. За розглянутих товщин шарів і умов їх закріплення, а також притискальних сил температура та напруження зростають зі збільшенням швидкості тертя. Визначальними при оцінці напруженого стану є теплові напруження.

Моделюючи покриття тонким проміжковим шаром (прошарком) дослідження теплової поведінки тришарової системи зведено до дослідження двошарової, а вплив покриття враховано узагальненими контактними умовами. При цьому напружений стан в приповерхневих областях шарів, спричинений нагріванням під час тертя, можна оцінити за отриманими наближеними співвідношеннями, які враховують приведені характеристики на згин і розтяг проміжкового шару (покриття). Також отримано вихідні співвідношення для визначення температури і напружень в двошаровій пластині (шар з покриттям) для задачі технологічної термообробки з допомогою теплового випромінювання. При цьому отримано узагальнені граничні умови (умови теплообміну через покриття) та наближені вирази для теплових напружень, що враховують приведені характеристики на згин і розтяг покриття.

1. *Амосов А.П.* Теплофизические модели трения инертных и взрывчатых материалов. – Москва: Машиностроение, 2011. – 363 с.
2. *Терлецький Р., Турій О.* Моделювання та дослідження теплопереносу у пластинах з тонкими покриттями за врахування впливу випромінювання // *Mat. методи та фіз.-мех. поля.* – 2012. – **55**, № 2. – С. 186–201. Те саме: *Terlets'kyi R., Turii O.* Modeling and investigation of heat transfer in plates with thin coatings with regard for the influence of radiation // *J. Math. Sci.* – 2013. – **192**, No. 6. – P. 703–722.
3. *Hachkevych O., Terlets'kyi R., Turii O.* The formulation and development of methods of solving thermomechanics problems for irradiated layered solids // *Mathematical Modeling and Computing.* – 2017. – **4**, No 1. – P. 21–36.

MODELLING OF RADIATIVE HEAT TRANSFER AND STRESSED STATE OF COATED SOLIDS TAKING INTO ACCOUNT DRY FRICTION

New mathematical models are proposed for the study of thermal and stress states of solids with coatings during dry friction. They use mathematical models of thermomechanics of irradiated layered plates developed by the authors and a one-dimensional model of continuous frictional contact. A numerical technique for solving the formulated nonlinear contact-boundary heat conduction problems was developed, and the temperature and stress state during dry friction, depending on the compressive load and friction speed, were investigated.