

УДК 621.793; 621.794

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРАДИЕНТНОГО СЕРЕБРЯНОГО ПОКРЫТИЯ С КОНТРАТЕЛОМ

© 2013 Д.А. Деморецкий, А.Р. Галлямов, И.Д. Ибатуллин, К.В. Савельев

Самарский государственный технический университет

Поступила в редакцию 01.04.2013

В статье приведен анализ конечно-элементной модели контактного взаимодействия единичного выступа с поверхностью детали, имеющей градиентное серебряное покрытие. Численный анализ проведен в среде ANSYS с использованием модуля ANSYS Autodyn. Показана картина распределения полей напряжений, деформаций и перемещений в области контакта, указывающая на важную роль градиента механических свойств в снижении контактных давлений и улучшении условий контакта реальных пар трения.

Ключевые слова: *градиентное покрытие, поле напряжений, деформация, численная модель, серебро*

Одним из принципов обеспечения высокой несущей способности пар трения, сформулированных И.В. Крагельским, является обеспечение положительного градиента механических свойств поверхностного слоя трущихся деталей. Положительный эффект реализуется за счет локализации процессов деформации в зоне фактического контакта двух тел в тонком поверхностном слое, исключая возможность реализации глубинного вырывания и выхода узла трения из строя. В работе [1] была показана возможность создания положительного градиента механических свойств в серебряном антифрикционном антизадирином покрытии

за счет управления параметрами асимметричного переменного тока при электрохимическом осаждении покрытия. Исследования показали, что плотность тока преимущественно оказывает влияние на скорость осаждения покрытия, частота тока – на качество получаемого осадка, а коэффициент асимметрии – на размер зерен серебряного покрытия. Результаты экспериментальных исследований показали, что наиболее благоприятным является режим, при котором за одну катодную полуволну наносится один моноатомный слой осаждаемого металла.

Таблица 1. Влияние размера зерна электрохимического серебряно-алмазного осадка на противоположные свойства покрытия

Коэффициент асимметрии	1,1	1,5	2	8
размер зерен, мкм	5-7	7-9	10-12	18-21
микротвердость, кгс/мм ²	115-120	110-115	100-110	100-85
скорость изнашивания, мкм/час	1,7	4,2	6,3	9,88

В разработанном процессе осаждение серебра ведется на плотности тока 11 А/дм², частоте тока 100 Гц и изменяющемся коэффициенте асимметрии тока k_a от 1,1 до 8. Результаты оценки структуры осаждаемого покрытия при изменении k_a при постоянной плотности тока 11 А/дм² приведены в таблице 1, из которых видно, что с ростом

коэффициента асимметрии происходит увеличение размеров зерен, вместе с тем микротвердость получаемого осадка несколько снижается.

Для обеспечения высокой стойкости поверхностных слоев к отслаиваниям и задирам при трении необходимо обеспечить положительный градиент механических свойств по глубине, при котором твердость материала с увеличением глубины растет. Реализовать данный триботехнический принцип можно путем периодического изменения соотношений анодного и катодного токов в процессе нанесения покрытия, при которых реализуется уменьшение твердости с увеличением толщины. В настоящей статье приведены результаты качественной и количественной оценки распределения полей напряжений и деформаций в зоне фактического контакта, который был смоделирован внедрением жесткого сферического выступа в градиентный поверхностный слой.

Деморецкий Дмитрий Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Конверсионные и двойные технологии энергонасыщенных материалов и изделий». E-mail: dda74@inbox.ru

Галлямов Альберт Рафисович, младший научный сотрудник кафедры «Конверсионные и двойные технологии энергонасыщенных материалов и изделий». E-mail: gallyamov.albert@bk.ru

Ибатуллин Ильдар Дугласович, доктор технических наук, профессор кафедры «Нанотехнологии в машиностроении». E-mail: tribo@rambler.ru

Савельев Константин Владимирович, старший научный сотрудник кафедры «Технология твердых химических веществ». E-mail: txb@inbox.ru

Численный анализ данного взаимодействия проводили с использованием программного пакета ANSYS версии 12.1.0, с использованием модуля ANSYS Autodyn. С помощью данного программного пакета проводилось моделирование фрикционного взаимодействия с целью получения картины распределения полей напряжений, деформаций и перемещений в области контакта серебряного покрытия с поверхностью контртела. В качестве модельного образца выбрана прямоугольная призма из бериллиевой бронзы (ГОСТ 18175-78), имеющей следующие характеристики: модуль Юнга 141 ГПа, твердость 4500 МПа; предел прочности 1250 МПа, плотность 8200 кг/м². На одной из поверхностей призмы было смоделировано градиентное серебряное покрытие путем наложения на основу слоев с различными механическими свойствами. Неизменными свойствами покрытия были: модуль Юнга 130 МПа, плотность 10490 кг/м³. Градиентное серебряное покрытие было разбито на три подслоя, каждый из которых имел толщину 10 мкм. При этом первый от поверхности подслоя имел твердость 1200 МПа и предел прочности, равный 40 МПа, промежуточный слой обладал твердостью 800 МПа и пределом прочности 27 МПа, верхнему слою заданы значения твердости равные 600 МПа и предела прочности 20 МПа. Градиентное серебряное покрытие сравнивалось со штатным серебряным покрытием толщиной в 30 мкм и постоянным значением твердости по глубине равным 1200 МПа и пределом прочности 40 МПа. Поверхности покрытий в обоих случаях условно приняты идеально ровными. Материал индентора (контртела), моделирующего твердый

выступ, принимается как абсолютно жесткое тело, напряженно-деформированное состояние которого не учитывается. Глубина внедрения контртела равна 3 мкм. Длина тангенциального перемещения контртела задана в пределах $L = 50$ мкм. Тип конечных элементов PLANE 42. Форма контртела – шар.

Моделированию подлежала следующая совокупность операций. В поверхность модельного образца внедряется шар, движущийся с постоянной линейной скоростью по оси OX равной 10 м/мин. Глубина внедрения шара в пластину составляет 3 мкм. После внедрения индентору сообщается тангенциальное перемещение на заданное расстояние, и происходит оценка напряженно-деформированного состояния модели. На первом этапе была создана компьютерная геометрическая модель двух элементов: шара и модельного образца. После построения геометрическая модель разбивалась на конечные элементы размером (10-20) мкм. Задача решалась в двух постановках. В первой задаче (а) модельный образец представляет собой монолит из серебра с прочностными характеристиками, постоянными во всем заданном объеме. Во второй задаче (б) модельный образец состоит из подложки (бериллиевая бронза) и 3-х слоев серебра с различными прочностными характеристиками, увеличивающимися по мере заглубления в образец. Характеристики конечно-элементной модели:

- шар: 9260 узлов, 8000 элементов;
- пластина (задача а): 6273 узла, 5120 элементов;
- пластина (задача б): 9758 узлов, 6400 элементов.

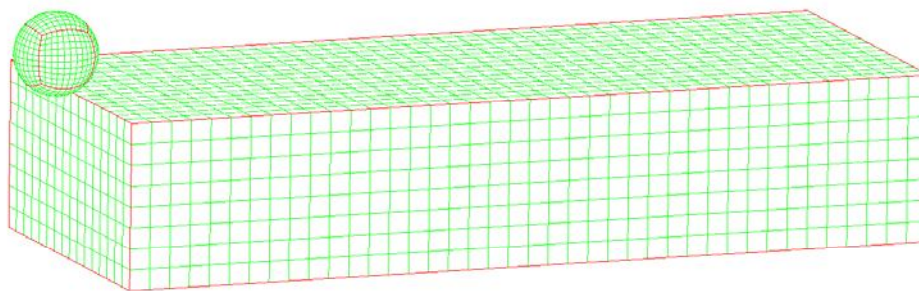


Рис. 1. Разбиение модельного образца (а) на конечные элементы

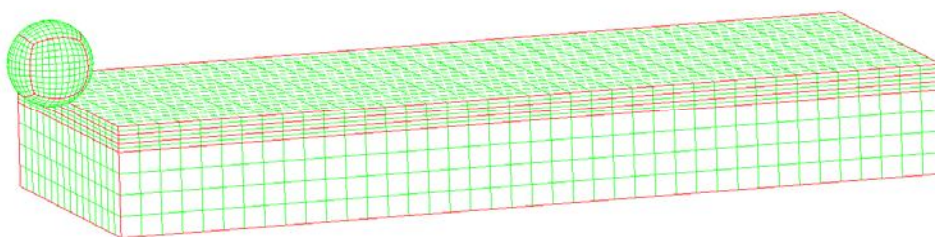


Рис. 2. Разбиение модельного образца (б) на конечные элементы

Общий вид моделей после разбиения на конечные элементы представлен на рис. 1 и 2. Модель образца жестко закрепляется по нижней грани. После приложения соответствующих нагрузок – пере-

мещений устанавливаются опции решателя. Угловые скорости шара и линейные скорости по осям OY и OZ ограничивались и равнялись 0. В результате моделирования внедрения шара в упругопласти-

ческое полупространство были получены поля напряжений, представленные на рис. 3-6.

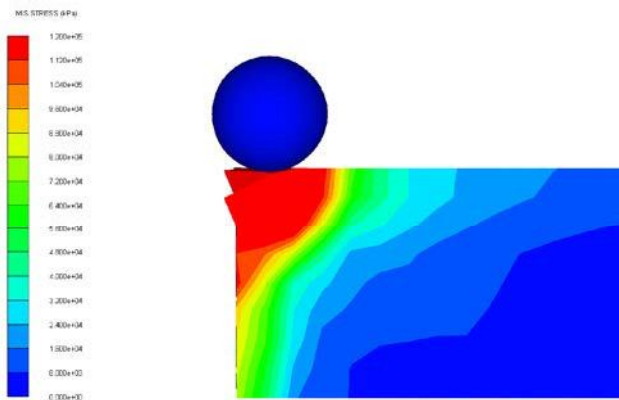


Рис. 3. Поле напряжений в области внедренного шара (задача а)

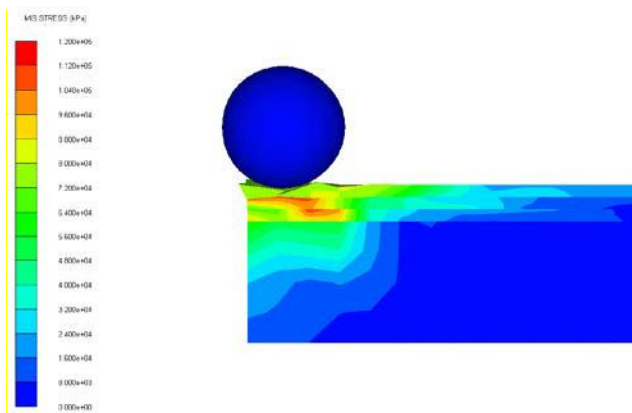


Рис. 4. Поле напряжений в области внедренного шара (задача б).

Выводы: результаты исследований показали, что максимальное напряжение в зоне контакта выступа с поверхностью без градиента (задача а) составляет 160 МПа, что на 33% превышает напряжения в градиентном покрытии 107 МПа (задача б), возникающие в аналогичных условиях. Это подтверждает справедливость правила И.В. Крагельского и обосновывает необходимость

управления свойствами антизадирных покрытий в процессе осаждения.

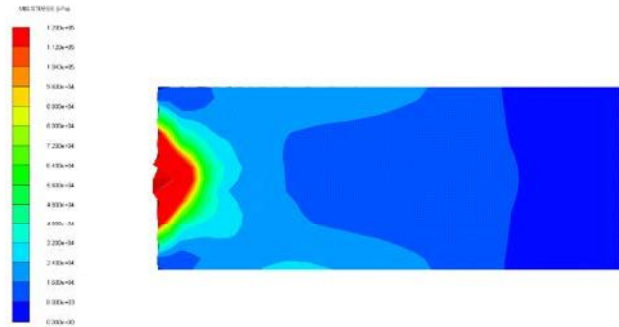


Рис. 5. Поле напряжений в области внедренного шара (задача а). Вид сверху

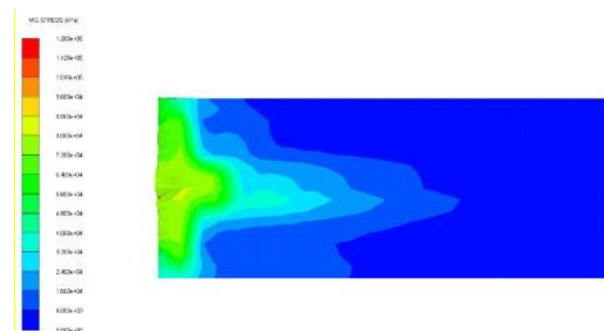


Рис. 6. Поле напряжений в области внедренного шара (задача б). Вид сверху

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках выполнения ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы», госконтракт № 14.518.11.7023.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ненасиев, М.В.* Градиентные антифрикционные серебряно-алмазные покрытия / *М.В. Ненасиев, И.Д. Ибатуллин, А.Р. Галлямов, А.Н. Иванов* // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, №1. С. 578-581.

MODELING THE CONTACT INTERACTION OF THE GRADIENT SILVER COVERING WITH THE COUNTERBODY

© 2013 D.A. Demoretsky, A.R. Gallyamov, I.D. Ibatullin, K.V. Savelyev
Samara State Technical University

The analysis of final element model of contact interaction of a simple ledge with a surface of detail having a gradient silvering is provided in article. The numerical analysis is carried out in the ANSYS medium with ANSYS Autodyn module use. The picture of distribution the fields of tension, deformations and movements to the contact areas, indicating an important role of mechanical characteristics gradient in decrease in contact pressure and improvement the conditions of real friction pairs contact is shown.

Key words: *gradient covering, field of tension, deformation, numerical model, silver*

Dmitriy Demoretskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department "Conversional and Double Technologies of Power Saturated Materials and Products". E-mail: dda74@inbox.ru; Albert Gallyamov, Minor Research Fellow at the Department "Conversional and Double Technologies of Power Saturated Materials and Products". E-mail: gallyamov.albert@bk.ru; Ildar Ibatullin, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department "Nanotechnologies in Mechanical Engineering". E-mail: tribo@rambler.ru; Konstantin Savelyev, Senior Research Fellow at the Department "Technology of Solid Chemical Substances". E-mail: ttxb@inbox.ru