

О концептуальном подходе к повышению несущей способности упрочняющих защитных покрытий

В статье рассмотрена концепция повышения несущей способности упрочняющих защитных покрытий (УЗП), которая обеспечивает использование всех возможностей в достижении максимальных эксплуатационных свойств как за счет выбора технологических режимов, так и разработкой новых конструктивных схем покрытий.

несущие способность, защитные покрытия, концептуальный подход

Введение. Уровень развитых в научно-промышленном отношении стран во многом определяется достижениями в области новых материалов, ибо они являются реальной основой создания современной наукоемкой продукции [1]. Одна из тенденций развития машиностроения заключается в ужесточении эксплуатационных факторов – нагрузок, температур, скоростей, новых агрессивных рабочих сред. Поэтому на первый

© Е.К.Солових, 2011

план выдвигается проблема защиты материалов от коррозии и износа. Исследования Европейского экономического объединения установило, что 4,2% бюджета развитых европейских стран поглощают повреждения поверхности конструктивных элементов в отраслях сельскохозяйственной техники, автомобильной и судостроительной промышленности [2]. Поэтому наиболее приоритетным направлением в современном машиностроении являются технологии упрочняющих защитных покрытий (УЗП).

Широкое внедрение многофункциональных покрытий сдерживается общеизвестными их недостатками – когезионным растрескиванием и адгезионным отслоением в условиях эксплуатации, снижением прочности и деформативности основного материала, высокой энергоемкостью технологии нанесения, экологическим ущербом технологии. В теории и практике УЗП сложился подход, заключающийся в создании УЗП с заранее заданными функциональными свойствами [3]. Подобный подход вызывает два вопроса: как определяется заранее требуемый уровень свойств и как этот уровень сравнивается с возможностями технологии УЗП.

Поэтому **цель** представленной статьи заключается в новой современной концепции повышения несущей способности и долговечности УЗП технологическими и конструктивными методами.

Концептуальный подход заключается в объединении в одной научной программе таких составляющих: технологий покрытий, математического моделирования, расчета напряженно-деформированного состояния (НДС), экспериментальных исследований. Сосредоточение в единой комплексной программе исследований методов математического моделирования экспериментальных исследований комплекса термомеханических свойств УЗП, а также расчета НДС дают возможность определить оптимальные технологические режимы и конструктивную компоновку многофункциональных покрытий с помощью которых достигается максимально возможная прочность и долговечность при минимальных затратах. Этим заложены основы общей методологической базы представленного исследования.

Результаты и их обсуждение.

Концептуальный подход предполагает такие этапы:

- многокритериальная оптимизация серийной традиционной технологии УЗП и конструктивной схемы покрытия по комплексу термомеханических свойств;
- определение максимальных возможностей серийной технологии, позволяет перейти к дальнейшему повышению несущей способности УЗП переходом к УЗП дискретного островкового типа;
- дальнейшее повышение несущей способности осуществляется переходом к дискретным покрытиям каркасного типа.

При многофакторном планировании эксперимента учитываются конструкционные, технологические и эксплуатационные факторы [4]. К конструкционным факторам относятся материал покрытия, его толщина, чередование и соотношение слоев в многослойном покрытии. К технологическим факторам относятся температура нанесения покрытия и продолжительность, состав и давление реактивной среды, рабочие токи. В качестве эксплуатационных факторов рассматриваются нагрузка, скорость скольжения, смазка, рабочая температура.

Критериями оптимизации в виде функций отклика из математических регрессионных моделей приняты характеристики, которые наиболее адекватны долговечности и работоспособности детали с покрытием. В качестве критериев оптимизации приняты: адгезионная и когезионная прочность, соотношение их равнопрочности, критическая деформация основы при растрескивании или отслоении покрытия, изотермическая и термоциклическая ползучесть, предел высокочастотной усталости, эрозионная стойкость в пылевом газовом потоке, износостойкость при различных видах нагружения. Наряду с термомеханическими свойствами в качестве критериев оптимизации используются себестоимость процесса, материало- и энергоёмкость, а также производительность технологического оборудования.

Оптимизация технологических процессов и конструктивных схем покрытий обеспечивает построение математических моделей, отражающих взаимосвязь между входными факторами и критериями оптимизации. Таким образом оптимизация определяет максимальные возможности данной технологии, а также условия достижения максимального уровня эксплуатационных свойств. Экспериментальный характер функций отклика (рис.1) свидетельствует об эффективности применения многокритериальной оптимизации.

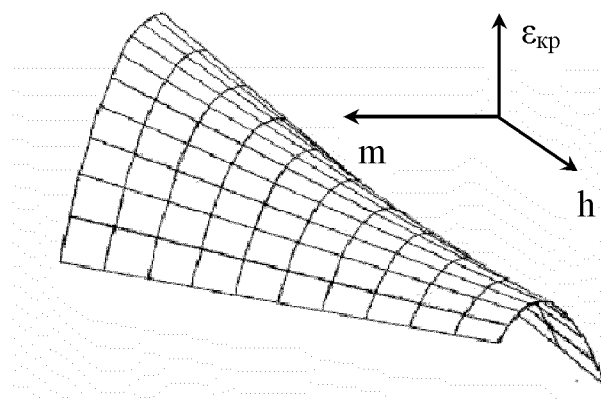


Рисунок 1 - Зависимость критической деформации основы $\epsilon_{кр}$ от толщины покрытия h и навески порошка m_n на один цикл при детонационно-газовом напылении

В соответствии с концепцией дальнейшее повышение несущей способности УЗП осуществляется переходом к покрытиям дискретной структуры островкового типа. Для этого необходимо решить две задачи:

- разработать технологическое обеспечение для серийных технологий при минимальной их модернизации;

- расчетным методом определить геометрические параметры дискретной структуры, обеспечивающие минимальный уровень напряженно-деформированного состояния (НДС) в условиях эксплуатации.

Технологии УЗП, использующие высококонцентрированные потоки энергии (плазменные и лазерные технологии, электроискровое легирование) дискретны по своей природе. Для таких традиционных технологий, как вакуум-плазменная и химико-термическая, применяются сеточные экраны и активные экранирующие пасты [5-8]. Геометрические параметры, обеспечивающие минимальный уровень НДС в условиях эксплуатации, определены расчетными методами [9-12]. Дискретная структура УЗП островкового типа обеспечивает дальнейшее повышение износостойкости (рис.2). Приведены сравнительные результаты по износостойкости стали 38Х2МЮА с различными технологиями упрочнения: ТО (базовая термообработка – цементация и закалка), КИБ (вакуум-плазменная технология), ИА (ионное азотирование), ЛТО (лазерная термообработка) и ЭИЛ (электроискровое легирование). Износостойкость определена в условиях трения скольжения при нагрузке $P=12$ МПа, скорости скольжения $V=1,2$ м/с и пути скольжения $L=10^3$ м. Из рис.2 следует, что износостойкость дискретных покрытий островкового типа в 2...5 раз выше износостойкости традиционных сплошных покрытий и в 3...7 раз выше, чем у традиционной цементации с закалкой.

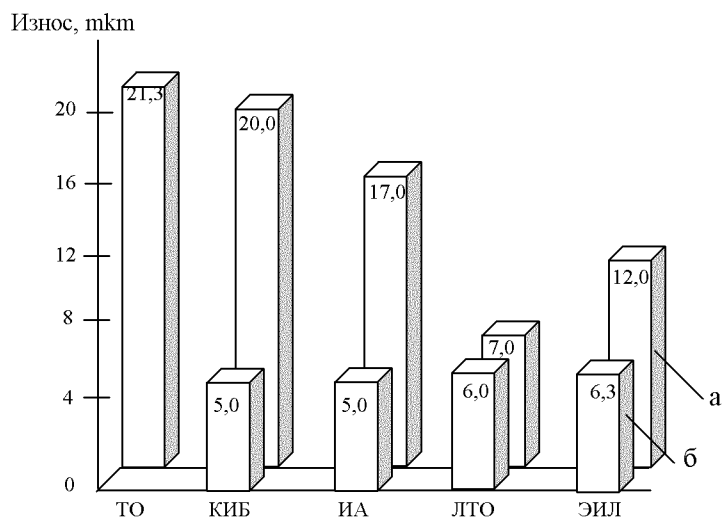
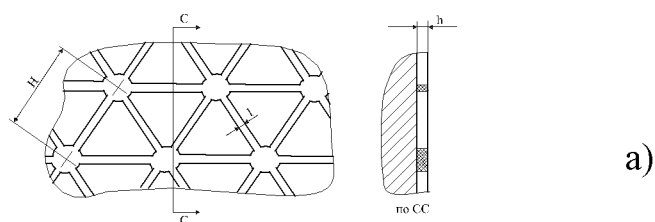
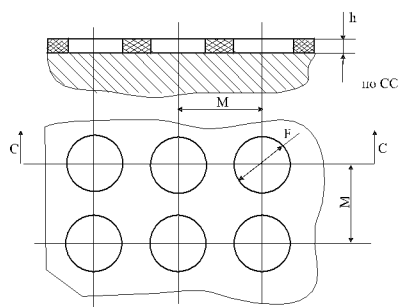


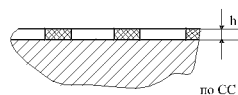
Рисунок 2 - Износ сплошных (а) и островковых (б) покрытий при 20⁰С без смазки

Дальнейшее повышение несущей способности УЗП в соответствии с принятой концепцией осуществляется переходом к дискретным покрытиям каркасного типа, представляющим собой зеркальное негативное изображение покрытий островковой структуры [13]. Каркасные покрытия состоят из перемычек, выполненных из материала покрытия, и впадин между перемычками. Рассмотрены каркасные покрытия ажурного, перфорированного и ячеистого типа (рис.3).

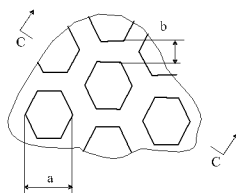




б)



в)



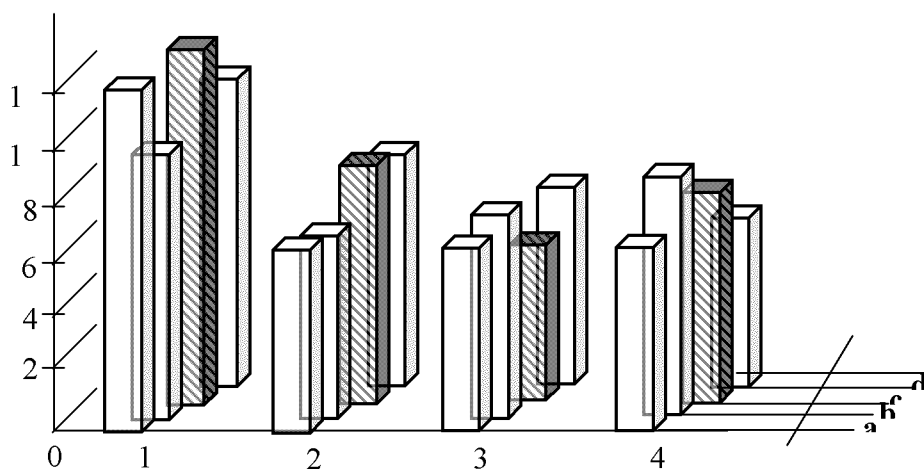
а – ажурные; б – перфорированные; в – ячеистые

Рисунок 3 - Каркасные покрытия

Геометрические параметры каркасных покрытий (H , D , l , M , a , b) определены расчетным путем из условия минимального уровня НДС в условиях эксплуатации [9-12]. Покрытия каркасного типа выполняют такие функции:

- наличием регулярных полостей-впадин улавливают твердые частицы износа, а также абразивные частицы из окружающей среды;
- удерживают и накапливают продукты вторичных структур при их периодическом разрушении;
- удерживают смазку в полостях каркасного покрытия [14].

На рис.4 приведены сравнительные результаты по износостойкости дискретных покрытий островкового (1), ажурного (2), перфорированного (3) и ячеистого (4) типов при ужесточении эксплуатационных факторов. Материал основы – сталь 40Х, вакуум-плазменное покрытие TiN.



1- островковые, 2 – ажурные, 3 – перфорированные, 4 - ячеистые;
 а – удвоенная контактная нагрузка, $P=24$ МПа; б – удвоенная скорость скольжения, $V=2,4$ м/с;
 с – температура испытаний 400°C ; д – испытания в абразивной эмульсии

Рисунок 4 - Износостойкость при ужесточении режимов испытаний

Дискретная структура позволила увеличить толщину покрытия до 24 мкм без растрескивания и отслоения. Режимы испытаний на трение скольжение: $P=24$ МПа, скорость скольжения $V=2,4$ м/с, температура испытаний 400°C , путь скольжения $L=10^3$ м. Из рис.4 следует, что каркасные покрытия почти в 2 раза более износостойкости, чем островковые покрытия.

Выводы. Концепция повышения несущей способности УЗП обеспечивает использование всех возможностей в достижении максимальных эксплуатационных свойств как за счет выбора технологических режимов, так и разработкой новых конструктивных схем покрытий.

Список литературы

1. Братухин Л.Г. Развитие производства перспективных для оборонных отраслей промышленности материалов на базе металлургического комплекса России / Л.Г. Братухин // Вестн. машиностр. – 1997. – № 3. – С.36–39.
2. Tratamiento de superficies // Deform. metals. – 1992. –18, № 194. –С.45–48.
3. Студент М.М. Розроблення багатofункціональних покриттів із порошкових дрітків на основі Fe-Cr-B-Al та Fe-Cr-C-Al. – Автореф. ... докт. дис. – ФМІ НАНУ, Львів, 2011. – 33 с.
4. Ляшенко Б.А. Оптимизация технологии нанесения покрытий по критериям прочности и износостойкости / Б.А.Ляшенко, Е.К.Соловых, В.И.Мирненко и др. // ИПП им. Г.С.Писаренко НАНУ, - Киев – 2010. – 193 с.
5. Соловых Е.К. Технологическое обеспечение вакуум–плазменных покрытий дискретной структуры / Е.К.Соловых, Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковский и др. // Технологические системы. – 2007, № 2. – С.22–27.
6. Пат. 26555 Україна, С23С 14/32, С23С 14/04. Спосіб нанесення зносостійких несучільних покриттів на неметалеві матеріали / Ляшенко Б.А., Солових Є.К., Антонюк В.С. та ін. Опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.
7. Пат. 26322 Україна, С23С 14/00, С23С 14/24, С23С 14/26. Установа для вакуум–плазмового напилення / Солових Є.К., Ляшенко Б.А., Антонюк В.С. та ін. Опубл. 10.09.2007, Бюл. № 14.
8. Солових Е.К. Технологическое обеспечение дискретной структуры поверхности при азотировании / Е.К. Солових, Б.А. Ляшенко, В.Г. Каплун и др. // Технологические системы. – 2009, № 2.– С.55–59.
9. Антонюк В.С. Аналітичні та числові методи проектування дискретних покриттів на інструментальних матеріалах / В.С. Антонюк, О.Б. Сорока, Є.К Солових та ін. // 36. „Математичні проблеми механіки неоднорідних структур. – Львів – 2006. – Т.1. – С.121–123.
10. Ляшенко Б.А. Технологические, конструктивные и эксплуатационные особенности упрочняющих покрытий дискретной структуры на деталях машин и инструменте./ Б.А. Ляшенко, Соловых Е.К., Сорока Е.Б. и др. // Сб. тр. XIII междуна. науч.–техн. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века» – Севастополь, 11–16 сент. 2006 – Донецк: ДонНТУ – 2006, Т.4. –С.292–296.
11. Клименко С.А. Оптимизация дискретной структуры при поверхностной электроконтактной закалке./ С.А. Клименко, Е.К. Соловых, Е.Б. Сорока и др.// Инженерия поверхности и реновация изделий: Матер. 6 междуна. науч.–техн. конф., 30 мая – 1 июня, 2006, Ялта – Киев: АТМ України – 2006. –С.83–85.
12. Напряженно–деформированное состояние инструментальных материалов с вакуум–плазменными покрытиями/ Сорока Е.Б., В.С. Антонюк, Е.К. Соловых и др. // Инженерия поверхности и реновация изделий: Матер. 8 междуна. науч.–техн. конф., 27–29 мая, 2008, Ялта – Киев: АТМУ – 2008. – С.223–225.
13. Пат. 40289 Україна, С23С 14/32. Спосіб нанесення несучільних зносостійких покриттів / Ляшенко Б.А., Рутковський А.В., Калініченко В.І., Солових Є.К. Опубл. 25.03.09, Бюл. № 6.
14. Соловых Е.К., Ляшенко Б.А., Калиниченко В.И. Износостойкие несплошные покрытия каркасного типа // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: „НАУ-друк”, 2010. –Вип. 54. –С.31-46.

Є. Солових

Про концептуальний підхід до підвищення несучої здібності упрочнюючих захисних покриттів

В статті розглянута концепція підвищення несучої здібності зміцнюючи захисних покриттів

(ЗЗП), яка забезпечує використання усіх можливостей в досягненні максимальних експлуатаційних властивостей як за рахунок вибору технологічних режимів, так і розробкою нових конструкційних схем покриттів.

E. Solovykh

About conceptual approach to carries capacity increase of hardening protecting coatings

The conception of carrier capacity increase of hardening protecting coating which provides the use of all possibilities in the achievement of maximal operation properties due to the choice of technological regimes and the development of new construction circuits of coatings.

Одержано 14.05.11