

Фізичні принципи формування наноструктурного стану в жароміцних сплавах при фрикційній обробці плоских та складнофасонних поверхонь.

Физические принципы формирования наноструктурного состояния в жаропрочных сплавах при фрикционной обработке плоских и сложнофасонных поверхностей.

Physical principles of nanostructure state in high temperature alloys under friction stir treatment of flat and complex shaped surfaces.

1. **Номер державної реєстрації теми - 0109U003780**

2. **Науковий керівник -** чл.-кор.НАН України, д.ф.-м.н., проф. Сидоренко С.І., Сидоренко С.И., Sidorenko S.I.

3. **Суть розробки, основні результати.**

(укр)

Досліджено і запропоновано фізичні принципи формування мікро- та наноструктурних станів в приповерхневих шарах, які полягають в наступному: суперпозиція (поєднання) процесів деформації тертям та деформації перемішуванням що забезпечує такі наперед задані особливі структурно-фазові неоднорідності (розподіли) по глибині покриття (наприклад, мікро- і наноструктурування приповерхневих шарів на глибинах міліметрового діапазону від поверхні виробів, що значно перевищує глибини мікро- та наноструктурування під дією лише тертя; формування приповерхневих шарів, які складаються з когезійно пов'язаних між собою мікро- та нанорозмірних структурних складових з середнім розміром 20-30мкм та 10-30нм відповідно та ін.), які забезпечують покращені фізико-технічні характеристики: підвищення зносостійкості в 1,5 рази, корозійної стійкості в 1,5-2 рази, мікротвердості в 2-2,5 рази в порівнянні із властивостями матеріалів до обробки.

(рос.)

Определены физические принципы формирования микро- и наноструктурных состояний в приповерхностных слоях, которые состоят в следующем: суперпозиция (объединение) процессов деформации трением и деформации перемешиванием что обеспечивает такие наперед заданные особенные структурно фазовые неоднородности (распределения) по глубине, (например, микро- и наноструктурирования приповерхностных слоев на глубинах миллиметрового диапазона от поверхности изделия, что значительно превышает глубины микро- и наноструктурирования под действием только трения; формирование приповерхностных слоев, состоящих из когезионно связанных между собой микро- и наноразмерных структурных составляющих со средним размером 20-30мкм и 10-30Нм соответственно и др.), которые обеспечивают улучшенные физико-технические характеристики: повышение износостойкости в 1,5 раза, коррозионной стойкости в 1,5-2 раза, микротвердости в 2-2,5 раза по сравнению со свойствами материалов до обработки.

(англ.)

Physical principles of micro- and nanostructured states in surface layers were determined. They are as follows: superposition (integration) processes of deformation by friction and deformation by stirring provides such preassigned special structural phase inhomogeneities (distributions) by depth (for example, micro- and nanostructured surface layers at depths from the surface of millimeter-range products, which greatly exceed the depth of micro- and nanostructuring comparing with the effect of only friction, the formation of surface layers consisting of cohesive interconnected micro- and nano-sized structural components with an average size of 20-30mkm and 10-30nm, respectively, and so on), which provide improved physical and technical characteristics: wear resistance of 1.5 times, the corrosion resistance of 1.5-2 times and the microhardness of 2-2.5 times in comparison with properties of materials before processing.

4. **Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

1. І.В. Кривцун, П.М. Кавуненко, М.А.Полещук, В.І.Зеленін, В.І. Ліпсій, Б.Д. Лебідь, В.В.Тісенков. Є.В. Зеленін. “Спосіб нанесення покриттів на поверхню осей вагонних колісних пар”, Патент №50760 від 25.06.2010р.

2. Патент №49908, 11.05.2010р. Бюл. №9, на корисну модель “Спосіб видобування синтетичних алмазів”, Богатирьова Г.П., Майстренко А.Л., Сизоненко О.М., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Петасюк Г.А., Нестеренко Ю.В., Тафтай Е.І.
3. Патент №49909, 11.05.2010р. Бюл. №9, на корисну модель “Спосіб виготовлення мікропорошків надтвердого матеріалу”, Богатирьова Г.П., Майстренко А.Л., Сизоненко О.М., Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Петасюк Г.А., Нестеренко Ю.В., Тафтай Е.І.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Отримані в роботі результати для покриттів, виготовлених методом ФПТП, та для поверхонь, оброблених методом ОПТП, по ряду параметрів перевищують вітчизняні та світові аналоги.

Міжнародним патентом (WO 2009030960 «FRICTION STIR SURFACING PROCESS AND DEVICE FOR TREATING RAILS», 2007) та аналогічним японським патентом JP 5169292 заявлено метод зміцнення поверхні залізничних рейок, подібний до розробленої в роботі НТУУ "КПІ" методики ОПТП, який дозволяє отримувати зміцнений поверхневий шар глибиною 100-150 мкм при проведенні обробки поверхні тертям з перемішуванням плоским індентором. Розроблений в роботі НТУУ "КПІ" індентор з куполоподібною робочою поверхнею дозволяє зміцнювати шари глибиною до 0,8 – 1мм. Схема обробки, запропонована вказаними вище патентами, використовується лише для матеріалів, що добре зміцнюються під дією тертя та пластичної деформації (сталь Гатфільда з високим вмістом марганцю). В той же час результати, отримані в роботі НТУУ "КПІ", дозволяють досягти ефекту зміцнення поверхневого шару матеріалу в тому числі на більш широкому спектрі матеріалів, таких як, наприклад, мідь марки М1 та нікель марки Н1 (встановлено, що твердість обробленого поверхневого шару підвищується в 1,5–2 рази в порівнянні з твердістю матеріалу в вихідному стані).

В міжнародному патенті (WO 2009146172 (A2) «CONTROL SYSTEMS FOR FRICTION STIR WELDING OF TITANIUM ALLOYS AND OTHER HIGH TEMPERATURE MATERIALS», 2009) задекларована конструкція обладнання для поверхневого зміцнення та для зварювання матеріалів, здатних працювати при високих температурах, та для титанових сплавів. За патентом, виготовлення обладнання для обробки та складної системи контролю передбачає значні матеріальні та ресурсні витрати. Схема обробки поверхні методом ОПТП, запропонованим в роботі НТУУ "КПІ", передбачає використання в якості базового обладнання стандартний вертикальний фрезерувальний верстат, що дозволяє знизити витрати при впровадженні метода ОПТП в промисловому виробництві.

Вітчизняний аналог – патент України № u 2007 08386 «Спосіб формування покриття на поверхні виробу» від 20.07.2007 (автори: Патон Б.Є. Жадкевич М.Л., Зеленін Є.В. та ін.), відрізняється тим, що на поверхню виробу накладають пластину з матеріалу покриття, яку попередньо піддають механічній та термічній обробці. Проведені в роботі НТУУ "КПІ" дослідження структури та властивостей покриттів, отриманих методом ФПТП з використанням порошкового матеріалу (який попередньо наноситься на поверхню виробу методом мікроплазмового напилення), доводять можливість отримання якісних покриттів (з відсутністю макроскопічних дефектів); використання даної схеми обробки дозволяє підвищити термін експлуатації індентора для нанесення покриття в 2 рази в порівнянні зі схемою, що заявлена в патенті України № u 2007 08386; крім того виключаються операції механічної підготовки та термічної обробки пластини з матеріалу покриття, а глибина зони мікро- та наноструктурування при використанні режиму обробки: навантаження 460-480 Н/мм² та швидкість руху індентора 42-44 мм/хв., – збільшується на 15-20% в порівнянні з аналогом.

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Технологічні режими формування покриттів методом тертя з перемішуванням та методом обробки поверхні тертям з перемішуванням мають низьку собівартість в порівнянні з іншими методами формування та високоенергетичної обробки покриттів; розроблені

методи добре можуть бути автоматизовані, не потребують спеціально підготованого обслуговуючого персоналу. Виключно важливою є можливість застосування розроблених режимів для відновлення ресурсу деталей машин, що є одним із актуальних завдань по створенню "матеріалів для сталого розвитку" та енергозберігаючих технологій. Це разом із новими покращеними властивостями робить запропоновані методи привабливими для промисловості та просування на ринок.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Підприємства машинобудівного комплексу, зокрема, – транспортного та енергомашинобудування, дослідно-технологічні виробництва профільних галузевих установ та установ НАН України, а також вищі заклади освіти матеріалознавчого, машинобудівного та металургійного профілю.

8. Стан готовності розробки.

Створено лабораторний прототип обладнання. Можливе виготовлення дослідно-промислових зразків нового устаткування, які адаптовані до існуючого промислового обладнання і які можуть бути включені у промислове виробництво без великих додаткових витрат.

9. Існуючі результати впровадження.

Результати роботи мають практичне значення для розробки конкурентоспроможних технологій зміцнення та захисту деталей машин з високими експлуатаційними властивостями, передані і прийняті до використання: ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України; Дніпродзержинським металургійним комбінатом; НВО "Мотор-Січ", м. Запоріжжя; АНТК ім. О.К. Антонова, м. Київ.

10. Назва організації, телефон, e-mail

НТУУ «КПІ», інженерно фізичний факультет, кафедра фізики металів, тел. (044) 454-91-99, e-mail: sidorenko@kpi.ua



Робоча зона експериментальної установки для формування покриттів методом тертя з перемішуванням та для обробки поверхні методом тертя з перемішуванням

11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. V.N. Mordyuk, V.V. Silberschmidt, G.I. Prokopenko, Yu.V. Nesterenko, M.O. Yefimov Ti particle-reinforced surface layers in Al: Effect of particle size on microstructure, hardness and wear // Materials characterization. Vol. 61, Num. 11, November 2010, P. 1126-1134. Опублікована on-line 19.07.2010р. Сайт: www.elsevier.com/locate/matchar
2. С.І. Сидоренко, Ю.В. Нестеренко, Є.В. Зеленін, Н.С. Івахненко Вплив високо енергетичного оброблення на структуру захисно – відновлювальних покриттів для лопаток газових турбін та величину залишкових макропружень в їх приповерхневих шарах // Металлофізика и новейшие технологии. – 2010, т.32, №2 с.255-260. (публікація со студентами)

3. Сидоренко С.И., Нестеренко Ю.В., Зеленин В.И., Кавуненко П.М., Третьак Н.Г., Зеленин С.В. Особенности формирования структуры при наплавке меди М1 методом НТП // *Металлофизика и новейшие технологии*. – 2010, т. 32, №9, с. 1277-1282.
4. Demchenko L.D., Sidorenko S.S. The Effect of Plastic Deformation on Nitrogen Diffusion in α -Fe // *Defect and Diffusion Forum*. – 2011Ю, Vols. 309-310. – P. 155-160, www.scientific.net
5. Титенко А.Н, Демченко Л.Д., Бабій О.М., Скирта Ю.Б. Температурно-деформаційні стани сплавів з пам'яттю форми на основі заліза як реакція на складні зовнішні термомеханічні впливи // *Металознавство та обробка металів*. – 2011, №2, с. 3-7.
6. Титенко А.Н, Демченко Л.Д., Бабій О.М., Скирта Ю.Б. Температурно-деформаційні стани сплавів з пам'яттю форми на основі заліза як реакція на складні зовнішні термомеханічні впливи // *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Матеріали для роботи в екстремальних умовах-3”*. – Київ: НТУУ “КПІ”. – 2010, 28 – 29 грудня, с. 262-265.
7. Демченко Л.Д., Сидоренко С. И., Чернега С.М., Титенко А.Н. Влияние неравновесно-напряженного состояния на диффузионное формирование структуры в сплавах на основе железа при насыщении азотом и углеродом // *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Матеріали для роботи в екстремальних умовах-3”*. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2010, 28 – 29 грудня. - С. 143-147.
8. К.А. Ющенко, В.С. Савченко, Г.В. Звягінцева, С.І. Сидоренко, С.М. Волошко, Ю.В. Нестеренко. Дифузія та сегрегація сірки в сталі Х20Н16АГ6 за умов високотемпературного відпалу та одночасного розтягу в насичуючому середовищі. Частина I. Дифузія сірки в сталі // *Металлофизика і новітні технології*. – 2011, том 33, №6.
9. М.Кавуненко, И.М.Попович, М.А.Полещук, В.И.Зеленин, А.Л.Майстеренко, Е.В.Зеленин В.А. Лукаш, Н.М.Прокопенко, О.В.Харченко. Восстановление плит медных кристаллизаторов непрерывной разливки стали методом наплавки трением с перемешиванием // *Сборник трудов. ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины. Выпуск 13 «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент и технология его изготовления и применения»*. Киев – 2010г.
10. П. Богатырева , А.Л. Майстренко , О.Н. Сизоненко, Н.А. Олейник, Г.Д. Ильницкая, Петасюк Г.А., Шамраева В.С., Ю.В.Нестеренко, Э.И. Тафтай, А.С. Торпаков, Е.В. Липян , А.Д. Зайченко. Высоковольтный электрический разряд в жидкости как метод воздействия на основные характеристики микропорошков синтетического алмаза // *Сборник трудов. ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины. Выпуск 13 «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент и технология его изготовления и применения»*. Киев – 2010г, с. 302-307.
11. Г.П. Богатырева , А.Л. Майстренко , О.Н. Сизоненко, Н.А. Олейник, Г.Д. Ильницкая, Петасюк Г.А., Ю.В.Нестеренко, Э.И. Тафтай ,А.С. Торпаков ,Е.В. Липян , А.Д. Зайченко Высоковольтный электрический разряд в жидкости как метод воздействия на основные характеристики микропорошков кубического нитрида бора // *Міжнародний збірник наукових праць, випуск 40 “Прогресивні технології системи машинобудування”*. Донецьк – 2010, с. 98-104.
12. L.D. Demchenko, S.I. Sidorenko, A. N. Titenko The effect of preliminary plastic deformation on Nitrogen and Carbon diffusion in α -Fe-based // *3-rd INTERNATIONAL CONFERENCE HighMatTech*. – 2011, October 3-7, Kiev, Ukraine. – p. 166.
13. В.И.Зеленин, М.А.Полещук, П.М.Кавуненко А.Л.Майстеренко, В.А. Лукаш, Е.В.Зеленин. К вопросу о повышении износостойкости плит медных кристаллизаторов непрерывной разливки стали методом наплавки трением с перемешиванием // *Сборник трудов ИСМ им. В.Н.Бакуля НАН Украины. Выпуск 14 «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент и технология его изготовления и применения»*. Киев – 2011г, с. 533-536.