

УДК 620.178.16

**В.И. Кубич, ст. преп., Л.И. Ивченко, проф., д-р техн. наук**  
*Запорожский национальный технический университет*

## Трибоспектральный анализ поверхностных слоев медьсодержащего покрытия на чугунной подложке

Приведены результаты склерометрирования поверхностных структур образованных в слоях чугунной подложки натурального образца - шейки и покрытия из бронзы БрОФ4-0,25, при его формировании фрикционной обработкой в галлиево-индиевой среде, и проведения испытаний на износостойкость трибосопряжения «шейка-покрытие-вкладыш»

**слой, взаимодействие, поверхностное сканирование, индентор, покрытие, подложка, структура**

**Вступление.** Структурное состояние приповерхностных слоев элементов трибосопряжений обуславливает их способность выдерживать деформации, определяемые условиями контактного взаимодействия, и противостоять зарождению внутренних дефектов, лежащих в основе протекания процессов поверхностного разрушения. Для работы трибосопряжения «шейка-вкладыш» коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания характерны знакопеременные и изменяемые по величине нагружения от сил, действующих в кривошипно-шатунном механизме, и смены видов трения по наличию смазочного материала - моторного масла: переход от граничного трения к жидкостному. В условиях разрушения масляных пленок – контакт по ювенильным контурным площадкам контакта. В таких условиях трибосопряжения с шейками коленчатых валов, восстановленными шлифованием под ремонтный размер, имеют низкий ресурс работы. При шлифовании поверхности шейки возможны процессы интенсификации неоднородности структур с фрагментальным переупрочнением, что затрудняет последующую (эксплуатационную) структурную прирабатываемость материалов деталей, которая характеризуется сменой упрочнения и разупрочнения. В результате в приповерхностных слоях накапливаются дефекты, снижающие усталостную прочность и приводящие к образованию абразивных частиц. Упрочнение поверхности связано с уплотнением структуры материала, что снижает капиллярообразование, их наполняемость поверхностно-активными веществами моторного масла, ухудшает процессы смачивания поверхности, активизации прирабатываемости самого моторного масла. Последнее обусловлено формированием на активных центрах мономолекулярных слоев многоатомных молекул и их структурирование, что обеспечивает уровень несущей способности масляной пленки [1-3].

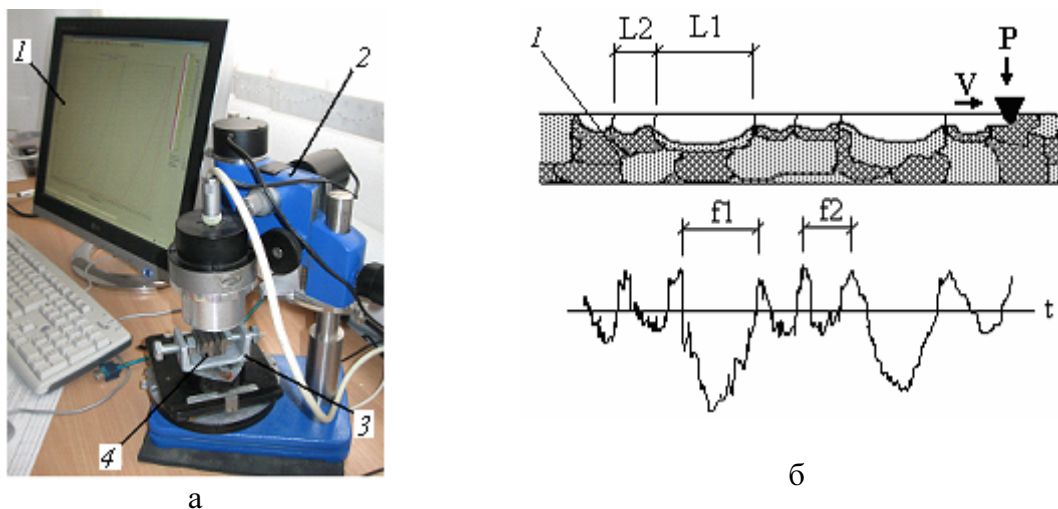
**Постановка проблемы.** Повышение износостойкости трибосопряжений восстанавливаемого коленчатого вала возможно за счет применения поверхностно-активной галлиево-индиевой среды для фрикционного формирования покрытия из бронзы БрОФ4-0,25 на поверхности его шеек [4].

В проведенных ранее электронно-микроскопических и микрорентгеноспектральных исследованиях поперечных шлифов образцов покрытия, сформированного с использованием галлиево-индиевой среды на стали 45 и чугуне ВЧ50 была выявлена характерная неоднородность их структуры, обусловленная

соответствующим распределением элементов покрытия (медь, галлий, индий, олово, железо, кислород). По результатам исследований представлена модель поперечного сечения покрытия, которая отображает пластинчатый характер структуры квазипериодического типа в направлении от поверхности покрытия к основному металлу и сосредоточение элементов в зависимости от их природы в разных прослойках [5]. Однако есть предположение о том, что подобная ориентация структуры может быть следствием полирования поверхности во время изготовления шлифа. Этот факт и вызывает необходимость в проведении дополнительных исследований строения структурного состояния покрытия на обрабатываемой подложке шейки. Полученные результаты свидетельствуют или, опровергнув представленную модель с характерными признаками неоднородности формируемых структур.

Целью работы является проведение трибоспектрального анализа поверхностных слоев покрытия, шейки без выполнения операций по шлифованию исследуемой поверхности.

**Методы исследования.** Для проведения исследований использовался метод сканирования поверхности индентором (склерометрия). Метод сканирования базируется на непрерывной регистрации сопротивления движению индентора по поверхности с заданной нагрузкой. Сканирование анализируемых поверхностей выполнялось с помощью прибора «Микрон-гамма» (рис. 1). Определение статистических связей между сопротивлениями локальных микрообъемов материала контактному деформированию методами теории случайных процессов позволяет произвести комплексную оценку состояния поверхностного слоя на трассе сканирования [6]. По спектральной плотности можно судить о размерах, количестве и о прочности фрагментов на трассе сканирования. Такая операция позволяет оценить разброс и неоднородность прочностных свойств структур, что и обусловит пластинчатый характер структуры квазипериодического типа.



1 - окно программного обеспечения измерений; 2 - направляющая прибора; 3 - струбцина; 4 - фрагменты образцов шеек; б - модель, поясняющая принцип трибоспектрального метода: 1 - структура поверхностного слоя; L1 - мягких и крупные фрагменты; L2 - твердых и мелкие фрагменты; P - направление силы нагружения индентором, сН; V - скорость перемещения индентора, мкм/с; t - время сканирования, с; f1, f2 - линейные размеры фрагментов с разными прочностными свойствами, мкм

Рисунок 1 - Внешний вид приборов аппаратного комплекса: а - нанотестер «Микрон-гамма»

Для поверхностного сканирования использовались следующие режимы:

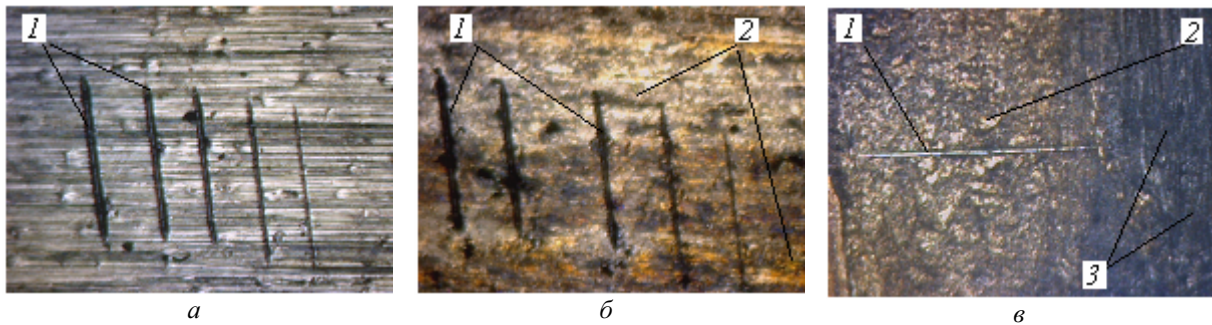
- нагрузка на индентор постоянная: 10, 20,30,40, 50 сН;
- скорость перемещения индентора 10 мкм/с;
- средняя длина трассы сканирования 350-550 мкм;
- размер сканируемого участка  $\approx (350 \times 520)$  мкм.

Для анализа использовались образцы-шейки, материал чугун ВЧ50, без покрытия, с покрытием до испытаний, с покрытием после испытаний трибосопряжений «шейка-покрытие-вкладыш» с натурными образцами на износостойкость [7]. При этом для измерений после испытаний использовались фрагменты образцов-шеек (рис.1, поз.4), вырезанные из них электроэрозионным способом [8].

Результаты поверхностного сканирования фиксировались программным обеспечением прибора и отображались на экране монитора в виде графических зависимостей изменения глубины внедрения индентора по пути его перемещения с задаваемой нагрузкой.

**Результаты исследований и обсуждение.** На рис.2 представлены фотографии сканированных поверхностей образцов со следами царапания с явно выраженной шириной борозд.

На рис.3 приведены виды графических зависимостей глубины внедрения индентора по пути его перемещения, которые отображают прочностные свойства структур поверхностных слоев образцов.



1 - следы трассирования с разными нагрузками; 2 - медьсодержащая структура; 3 - поверхность без покрытия

Рисунок 2 - Фотографии поверхностей образцов-шеек (а) без покрытия до испытаний, (б) с покрытием до испытаний, (в) с покрытием после испытаний, х600

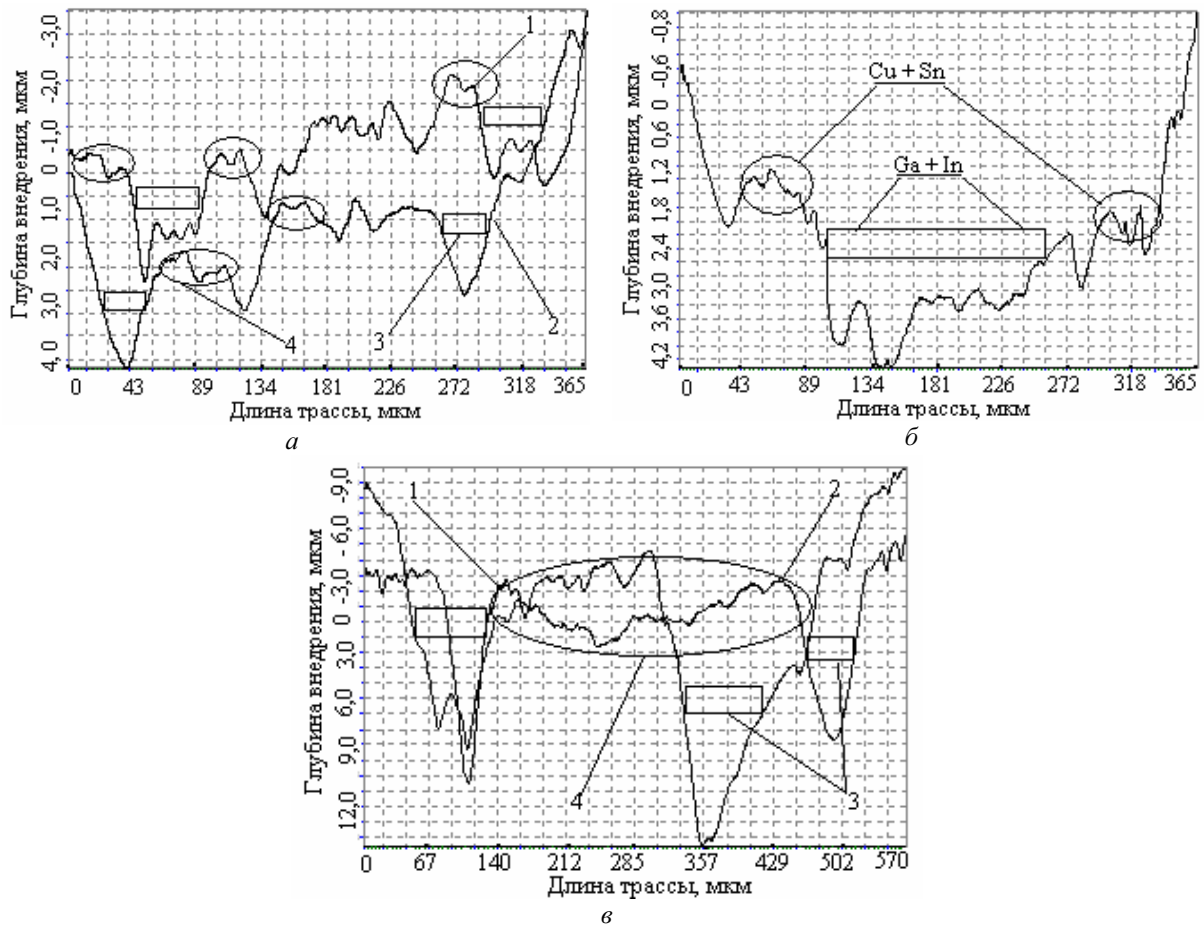
Анализ полученных графических зависимостей показал следующее. Для образцов без покрытия наблюдается:

- при нагрузке на индентор  $P_1=10$  сН на глубине 2,2-2,4 мкм располагаются фрагменты более прочных перлитных структур[8] с размерами: длина  $l_{cp}=43-47$  мкм, высота  $h_{cp}=2,2-2,4$  мкм и фрагменты менее прочных перлитных структур с размерами длина  $l_{cp}=36-53$  мкм, высота  $h_{cp}=1,5-2,2$  мкм;
- при нагрузке на индентор  $P_5=50$  сН на глубине 1,7-4,5 мкм также располагаются фрагменты с геометрическими размерами, характерными для нагрузки  $P_1=10$  сН;
- для нагрузок на индентор  $P_1- P_4$  (20,30,40 сН) характер изменения графической зависимости аналогичен для нагрузок  $P_1, P_5$ .

Для образцов с покрытием плотность распределения фрагментов структур с отличающимися прочностными свойствами иная:

- при нагрузке на индентор  $P_3=10$  сН максимальная глубина внедрения 3,4-3,6 мкм, преимущественно фрагменты менее прочные, образованные галлием и индием, с геометрическими размерами: длина  $l_{cp}=145-158$  мкм, высота  $h_{cp}=2,5-2,8$  мкм, более прочные, образованные медью и оловом, с размерами длина  $l_{cp}=36-43$  мкм, высота  $h_{cp}=2,8-3,2$  мкм;

- при нагрузке на индентор  $P_1, P_2, P_4, P_5$  (10,20, 40,50) сН глубины внедрения составили 3,4-6,0 мкм. Фрагментальное выражение распределения прочностных свойств структур сохраняется, при этом геометрические размеры менее прочных структур имеют размеры  $l_{cp}=137-158$  мкм,  $h_{cp}=1,2-2,0$  мкм.



*a* - без покрытия, 1 - нагрузка  $P_1=10$  сН; 2 - нагрузка  $P_5=50$  сН; 3 - менее прочные фрагменты; 4 - более прочные фрагменты; *б* - с покрытием до испытания  $P_3=30$  сН; *в* - с покрытием после испытания: 1 - нагрузка  $P_1=10$  сН; 2 - нагрузка  $P_3=30$  сН; 3 - менее прочные фрагменты; 4 - более прочные фрагменты

Рисунок 3 - Вид графических зависимостей изменения глубины внедрения индентора по длине трассы сканирования поверхности

Для образцов с покрытием после испытаний характерно наличие участков с относительно ровными прочностными свойствами и участков с ярко выраженными пиками, вершинами вглубь образца. Длина участков более прочных структур на глубине 1,2-2,2 мкм составляет 253-271 мкм, менее прочных 55-95 мкм, причем глубины внедрения составили 7-11 мкм.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что как структура приповерхностного слоя чугушной подложки, так и структура формируемого покрытия перед испытаниями обладает неоднородностью распределения прочностных свойств.

Характер распределения фрагментов по глубине с разными геометрическими размерами и прочностными свойствами обуславливает формирование ячеистой структуры, которая при поперечном шлифовании образцов и определяет ее пластинчатый вид.

#### **Выводы.**

В результате проведенного трибоспектрального анализа поверхностных слоев покрытия, шейки без выполнения операций по шлифованию исследуемой поверхности получены сведения, подтверждающие факт неоднородности распределения прочностных свойств поверхностных структур и их пластинчатого строения.

#### **Список литературы**

1. Справочник по триботехнике: в 3-х т. Т.1 Теоретические основы / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 1989. - 400 с.
2. Белый А.В. Структура и методы формирования поверхностных слоев/А.В.Белый, Г.Ф.Карпенко, Н.К.Мышкин - М.: Машиностроение, 1991. - 268 с.
3. Гаркунов, Д.Н. Триботехника /Д.Н. Гаркунов. - М.: Машиностроение, 1985. - 424 с.
4. Пат. № 49630 Україна, МПК (2009) С23С 30/00. Склад поверхнево-активної речовини для формування зносостійких покриттів / В.І. Кубіч, Л.Й. Івшенко, заявник і патентовласник Запорізький національний технічний університет. -№ u200909788; заявл. 11.05.2010; опубл. 11.05.2010, Бюл. №9, 2010.
5. Кубич В.И. О состоянии поверхностных слоев шеек коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания, подвергнутых антифрикционной обработке / В.И. Кубич, Л.И. Ившенко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. - 2009.- №1. - С. 37-42.
6. Игнатович С.Р. Аппаратурный комплекс для микро- и нанотестирования поверхности материалов и покрытий / С.Р. Игнатович, В.Н Шмаров, И.М. Закиев // Технологические системы. - 2009. - №5(49). - С.72-78.
7. Кубич В.И. Износостойкость деталей трибосопряжения «шейка-вкладыш» с медьсодержащими покрытиями / В.И. Кубич, Л.И. Ившенко // Проблемы трибологии. - 2011. - №2. - С.103-110
8. Кубіч В.І. Металлографічний аналіз приповерхневих шарів підложек образцов шеек коленчатых валов ДВС / В.І. Кубіч // Тиждень науки - 2011: щоріч. наук.-практ. конф., 11-15 квітня 2011 р.: зб. тез допов., Т.І. - Запоріжжя, 2011. - С.184-185.

*В. Кубіч, Л. Івшенко*

#### **Трибоспектральний аналіз приповерхневих шарів покриття, що утримує мідь на чавунній підкладці**

Наведено результати склерометрування поверхневих структур, що утворюються в шарах чавунної підкладці натурального зразку - шийці та покриття з бронзи БрОФ4-0,25, при його формуванні фрикційною обробкою у галієво-індієвому середовищі, і проведення випробувань на зносостійкість трибоз'єднання «шийка-покриття-вкладиш».

*V. Kubich, L. Ivshenko*

#### **Spectrum of dimensions that can be obtained by means of friction surface layer coating that keeps copper in cast-iron lining**

The results of measurements using the instrument sclerometer surface structures formed in the layers of cast-iron lining specimen - neck and finish with bronze BrOF4-0, 25, at his formation of friction treatment in, gallium-indium environment, and testing for durability triboconjugation of «neck - coating - bearing».

Получено 30.05.12