

УДК 621.891:620.178.16

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА
ФОРМИРОВАНИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩЕГО ПОКРЫТИЯ
В ГАЛЛИЕВО-ИНДИЕВОЙ СРЕДЕ
НА НАТУРНОМ ОБРАЗЦЕ-ШЕЙКЕ**

В.И. Кубич¹

В статье приведены результаты констатируемых звуковых эффектов, цветности и качества исходного покрытия, при формировании его из бронзы БрОФ4-0,25 в галлиево-индиевой среде на натуральных образцах-шейках, что позволило свидетельствовать о протекании процессов образования промежуточных трибологических структур, которые могут визуализироваться и характеризоваться по совокупности проявляющихся признаков.

***Ключевые слова:** трибологическая структура, покрытие, шейка, слой, фрикционное взаимодействие, поверхность.*

Постановка проблемы

При фрикционном формировании износостойких поверхностных структур, например на шейках коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания, происходит адгезионно-когезионное взаимодействие между компонентами используемых материалов, в основе которого лежат диффузионные процессы, сопровождающиеся обменом энергией. Равновесное состояние между установившимся и неуставившимся диффузионным обменом в процессе массопереноса может сопровождаться временным постоянством физико-механических свойств промежуточных структур, сформировавшихся в определенный момент времени фрикционного контакта. При этом каждому установившемуся состоянию структур может соответствовать совокупность признаков, выделяющих каждое из них по отношению друг к другу в зависимости от интенсивности смены ведущего механизма разрушения одних связей и формирования новых. Такое трибологическое состояние может контролироваться инструментальными методами, и фиксироваться на нано, микро, и макроуровнях. Возможности определяются наличием специального оборудования и разработанных методик. В качестве признаков могут выступать наличие тональностей и частот звука, цветность поверхности, образование видимого испарения.

В работе [1] установлено влияние состава галлиево-индиевой среды, при формировании исходного покрытия из бронзы БрОФ4-0,25 на шейках

¹ © Кубич В.И., к.т.н, Запорожский национальный технический университет (ЗНТУ).

коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания на эволюцию трибо-технических характеристик, механических свойств и химического состава вторичных структур, формирующихся в контактных слоях поверхностей его трибосопряжений. При этом обоснован и разработан состав поверхностно-активной галлиево-индиевой среды с содержанием % (ат.): галлий 81, индий 19, для формирования износостойкого покрытия из оловянистой бронзы БрОФ4-0,25 на рабочих поверхностях шеек коленчатых валов. Основной акцент в работе сделан на установление закономерностей изменения трибологического состояния контактируемых поверхностей в условиях перехода от граничного к сухому трению, когда имеет место быть проявление свойств формирующегося исходного покрытия. Совершенствованию же технологических режимов процесса фрикционно-механической обработки стальной, чугуновой поверхности в исследованиях внимание не уделялось [2]. Параметры обработки соответствовали ранее установленным: давление прижатия инструмента - бронзового прутка (БрОФ4-0,25) 0,7-0,77 МПа к вращающемуся с частотой 65 мин⁻¹ образцу, продольной подача инструмента-цилиндра 0,8 мм/об, количество проходов 4-6 [3].

Сам процесс формирования покрытия с приведенным комплексом материалов представляет собой достаточно красочно-экзотическую картину изменения звуковых эффектов и цветности контактных и неконтактных поверхностей.

Подробные сведения о наблюдениях: за процессом массопереноса меди, олова с инструмента - бронзового прутка на активированную галлиево-индиевой средой стальную, чугуновую подложку образца; за проявлением внешних признаков формирования трибологических структур в результате поэтапного фрикционного взаимодействия ранее не публиковались.

Полученные результаты могут послужить дополнением проведенных ранее исследований, и представляют научный интерес - как пояснения о реальности протекания процессов образования промежуточных структур на пути формирования конечного исходного покрытия.

Методы исследования

Покрытие формировалось на натуральных образцах - шейках, вырезанных электроэрозионным способом из восстановленных под ремонтный размер коленчатых валов двигателей ЗМЗ - материал чугун ВЧ50 и ЗИЛ - материал сталь 45. Для определения направленности протекания процессов массопереноса, выявления внешних признаков формирования промежуточных структур допускались незначительные отклонения от режимов обработки: приостановки продольной подачи; увеличение давления в зоне контакта до 0,9-1,0 МПа. Образцы устанавливались на цилиндрической направляющей оправки, закрепленной в бабке токарно-винторезного станка ИТ-1М. Покрытие формировалось на поверхности образцов путем прижа-

тия инструмента - бронзового прутка (БрОФ4-0,25) к образцу (рис.1). Контролируемыми параметрами являлись:

- - наличие звуковых эффектов;
- - качество покрытия;
- - поверхностная температура покрытия;
- - относительная объемная температура инструмента - бронзового прутка.

Температура измерялась с помощью мультиметра DT-835 путем временной плотной фиксации спайки термопары TP-01A на поверхности покрытия при остановке вращающегося образца, и введением спайки в поверхностное отверстие инструмента - прутка.

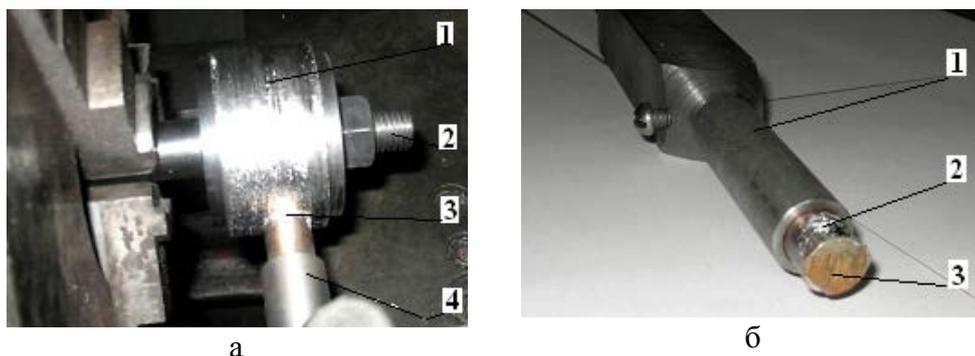


Рис. 1. Элементы процесса формирования покрытия на образцах: а - установка образца-шейки на оправку: 1- образец-шейка; 2 - оправка; 3 - галлиево-индиевая среда; 4 - корпус устройства; б - устройство для нанесения покрытия; 2 - следы галлиево-индиевой среды на инструменте-цилиндре; 3 - инструмент-пруток (материал БрОФ4-0,25)

Результаты исследований и обсуждение

В результате проведения работ наблюдалось следующее.

Контакт вращающейся поверхности образца-шейки с цилиндрическим прутком в галлиево-индиевой среде при увеличении давления на пруток сопровождался появлением звука – постоянного писка высокой частоты, неприятной для слуха. При этом температура образца росла. Среда сплошно размазывалась по исходной поверхности (рис.2, а), формируя на ней плотный жидкий слой из компонентов среды, имеющий четко выраженный стальной цвет с зеркальным отражением (рис.2, б). Толщина слоя составляла 0,1-0,3 мм.

На фоне общей однородности $\approx 90\%$ имели место фрагменты более уплотненного вида, округлой формы $d \approx 2-3$ мм, которые при последующих проходах пластически деформировались, участвуя в адгезионно-когезионном взаимодействии компонентов прутка с компонентами материала поверхности образца-шейки.

На контактной поверхности прутка также формировался слой среды, но плотность его была несколько выше, чем на вращающейся поверхности образца-шейки. На это указывал сам вид образующейся массы и ее тягучесть. Здесь в среду выделялось олово из состава бронзы БрОФ4-0,25 инструмента-цилиндра [4]. Температура для контактных поверхностей составляла 75-85 °С.

При дальнейшем увеличении давления цвет формирующейся структуры слоя - медьсодержащего покрытия на вращающемся образце темнел, наблюдались темно-серые и серые сплошные полосы шириной порядка 5-10 мм (рис.2 в). Толщина визуализируемого слоя среды уменьшалась на глазах. Температура на поверхности образца достигала 202-220 °С, а в приповерхностном слое контактной зоны инструмента-цилиндра 176-187 °С.

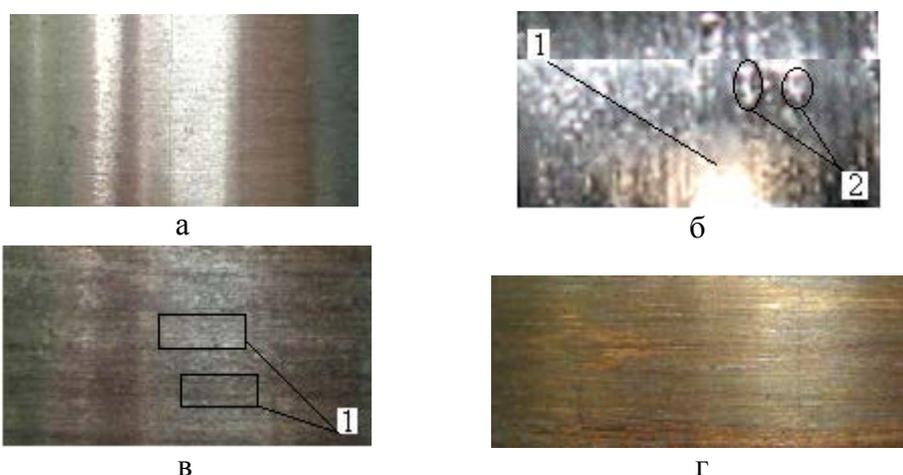


Рис.2. Вид поверхности образца-шейки при формировании покрытия:
 а - исходная шлифованная поверхность; б - с нанесенной галлиево-индиевой средой:
 1 - зона контакта с прутком; 2 - уплотненные фрагменты; в - промежуточное состояние
 структуры покрытия: 1 - полосы; г - состояние в конце обработки

При температуре на поверхности образца $\approx 200-210$ °С звук постепенно пропадал. В нагруженном подвижном контакте визуализировался факт массопереноса меди, олова с рабочей поверхности прутка на предварительно модифицированную галлиево-индиевой средой поверхность образца-шейки. Формируемое покрытие приобретало цвет материала инструмента, но уже с характерным оттенком (рис.2, г). Звуковое сопровождение процесса представляло собой «тихое шипение». Процессом массопереноса можно было управлять вручную, ощущая плотность фрикционного контакта прутка с образцом через маховик продольной подачи суппорта станка. Число проходов прутка до появления видимого слоя трибологических структур исходного покрытия составляло 2-3.

Если при обработке происходила задержка в продольной подаче, то слой трибологических структур наращивался с достаточно хорошей интенсивностью и формировались сплошные чередующиеся полосы (рис.3, а,б).

Если в момент начала формирования слоя трибологических структур кратковременно приостановить движение прутка, то наблюдался процесс переноса повышенного количества его материала на поверхность образца с характерными локальными очагами неравномерного когезионного взаимодействия в виде прерывистых полос с переменным поперечным сечением, чередующихся больших и малых плоско-сферических наростов округлой формы (рис.3, в,г) .

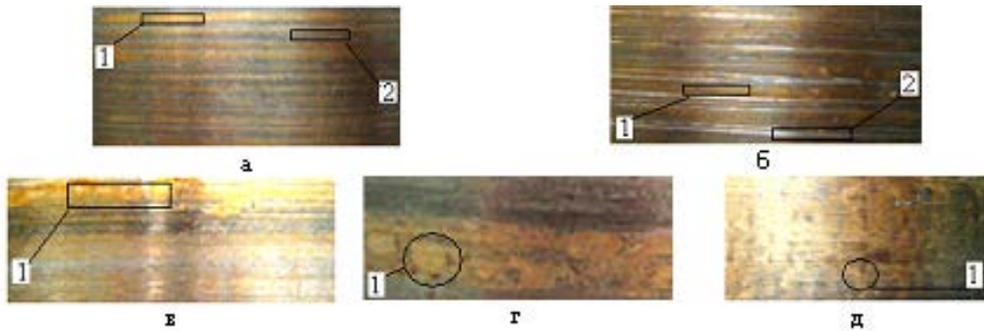


Рис.3. Вид дефектов покрытия: полосы (а) на чугунной (ВЧ50); (б) стальной (сталь 45) шейках: 1 - полоса покрытия; 2 - подслоя покрытия; очаги когезионного взаимодействия: 1(в) - прерывистая полоса переменного поперечного сечения; 1(г) - большие наросты округлой формы; 1(д) - малые наросты округлой формы

Если температура формирования слоя трибологических структур на промежуточных проходах была в пределах 215-230 °С, то наблюдалась следующая картина. На образце-шейке цвет покрытия менялся с грязно желтовато-оранжевого цвета прутка на чередующиеся по полосам очаговый красный и фиолетово-синий. При ювенилировании рабочей поверхности прутка, с использованием мелкозернистой наждачной бумаги, в течение первых актов последующего ее взаимодействия с промежуточными трибологическими структурами слоя покрытия образца на его неконтактной боковой поверхности образовывался налет фиолетово-синего цвета. В течение 3-5 минут цвет налета менялся в темно желтовато-оранжевый. Такой же налет наблюдался и на торцевых неконтактных поверхностях образцов и элементах оправки для их закрепления. Из приведенного следует, что контактное взаимодействие компонентов материала прутка с компонентами среды на жесткой стальной, чугунной поверхности обуславливает формирование локального теплового облака мелкодисперсных частиц в окружающем пространстве. При этом взвешенная масса частиц находится под действием факторов обработки:

- вращение образца-шейки создает завихрение потоков воздуха в около контактной зоне прутка, скорость перемещения, которых уменьшается с удалением от нее;
- продольное перемещение прутка - изменение направления потоков;
- давление в зоне контакта - выделение теплоты, обуславливающей химические реакции между мелкодисперсными частицами продуктов.
- механическое взаимодействие поверхностей сопровождается элементарными актами микрорезания, которые обуславливают насыщенность облака фракциями компонентов частиц.

Частицы компонентов, отделяясь друг от друга, имея достаточно малую массу, под действием центробежной силы приобретают движение в пространстве. Направленные тепловые потоки частиц, взаимодействуя с менее нагретыми участками поверхностей, их микропрофилем, образуют обнаруженный налет.

Изменение цвета покрытия с грязно желтовато-оранжевого цвета прутка на очаговый красный свидетельствует о том, что элементарные акты взаимодействия галлиево-индиевой среды с бронзой БрОФ4-0,25 сопровождаются выделением чистой меди. Этот факт подтверждает восстанавливающие функции галлия, указывает на возможность протекания структурно-фазовых превращений свойственных режиму избирательного переноса в трибосопряжении «пруток-среда-шейка» на стадиях формирования исходного покрытия [3, 5].

Присутствие фиолетово-синего цвета указывает на протекание окислительно-восстановительных реакций между галлием, индием, медью, оловом и фосфором, а возврат к первоначальному грязно желтовато-оранжевому цвету свидетельствует о неустойчивости состояния образующихся соединений.

На поверхности образцов-шеек из чугуна ВЧ50 покрытие формировалось лучшего качества, чем на стальных образцах, о чем свидетельствовали сплошность и однородность формирующихся исходных структур покрытия.

Выводы

1. Полученные результаты по наличию звуковых эффектов, цветности и качеству покрытия, при его формировании в галлиево-индиевой среде поэтапным фрикционным взаимодействием прутка из бронзы БрОФ4-0,25 со стальной, чугунной поверхностью, свидетельствуют о протекании процессов образования промежуточных трибологических структур. Такие структуры

могут визуализироваться и характеризоваться по совокупности проявляющихся признаков.

2. Более углубленное исследование состава и свойств наблюдаемого налета, образованного из формируемого локального теплового облака мелкодисперсных частиц из компонентов: медь; галлий; индий; олово; фосфор, может лечь в основу разработки технологии нанесения тонких покрытий на малогабаритные поверхности осаждением в среде фрикционно-механического взаимодействия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кубич В.И. Повышение износостойкости трибосопряжений коленчатого вала ДВС фрикционным формированием покрытия в галлиево-индиевой среде: Дис. кандидата тех.наук: 05.02.04. - К., 2012. - 203 с.
2. Патент № 49630 Україна, МПК (2009) С23С 30/00. Склад поверхнево-активної речовини для формування зносостійких покриттів / В.І. Кубіч, Л.Й. Івченко, заявник і патентовласник Запорізький національний технічний університет. -№ u200909788; Заявл. 11.05.2010; Опубл. 11.05.2010, Бюл. №9, 2010
3. Патент № 2060300 Российская Федерация, МПК^б С23С26/00. Способ фрикционно-механического нанесения антифрикционного покрытия / Колчаев А.М., Степанов В.Б.; заявитель и патентообладатель Рязанское высшее военное автомобильное инженерное училище. - № 93057526/02; заявл.28.12.93; Опубл. 20.05.96, Бюл. 17/2000
4. Кубич В.И., . Ивченко Л.И. Рентгеноспектральный анализ продуктов контактного взаимодействия поверхностей модифицированных финишной антифрикционной безабразивной обработкой в галлиево-индиевой среде // Проблемы трибологии. - 2009.- Вип. №4.- С.112-117.
5. Гаркунов Д.Н., Крагельский И.В., Поляков А.А. Избирательный перенос в узлах трения (эффект безызносности). - М.: Транспорт, 1969. – 103 с.

Рукопись поступила в редакцию 29.12.2012 г.