

УДК 621.9.048.6:621.794

В.В. ИВАНОВ, Ю.В. МАРЧЕНКО

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ МЕХАНОХИМИЧЕСКИХ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Рассмотрены перспективы применения вибрационных механохимических твердосмазочных покрытий. Даны примеры практического применения твердой смазки на основе дисульфида молибдена, образованные в условиях виброобработки. Приведена схема модели формирования покрытия дисульфид молибдена.

Ключевые слова: комбинированные методы обработки, вибрационная обработка, вибрационные механохимические покрытия, твердые смазки.

Введение. Развитие современной техники, внедрение нанотехнологий в создание новых машин и агрегатов требует разработки новых технологических процессов, обеспечивающих качество, высокие эксплуатационные свойства и товарный вид выпускаемой продукции, способной конкурировать в условиях рыночной экономики. Важным условием решения этих задач является совершенствование и развитие финишной обработки, в частности нанесения покрытий.

Одним из эффективных способов обработки, позволяющих комбинировать методы механической обработки с одновременным нанесением покрытий, является вибрационная обработка деталей в различных технологических средах с использованием колебаний различного спектра. При этом используется эффект совместного воздействия механической энергии и химических процессов в различном их сочетании.

Вибрационная обработка обеспечивает изменение физико-химических свойств поверхностных слоёв обрабатываемых деталей и характеризуется высокой производительностью. В качестве основных методов нанесения вибрационных механохимических покрытий, на сегодня получивших практическое применение, можно выделить: вибрационное механохимическое цинкование, (ВиМХЦ), вибрационное механохимическое оксидирование (ВиМХО), вибрационное механохимическое нанесение твердой смазки дисульфида молибдена (ВиМХТС M_0S_2) и др. Особо следует отметить роль твердых смазок в общей проблеме повышения надежности и долговечности машин и механизмов. Твердые смазки исключительно широко применяются в различных отраслях промышленности, однако их возможности далеко еще не исчерпаны.

Публикации о применении дисульфидов, селенидов, теллуридов, молибдена, дисульфидов вольфрама, тантала, титана и других металлов в качестве твердых смазок появились давно. Однако вопросы применения дисульфида молибдена (M_0S_2) до сих пор вызывают наибольший интерес.

В статье рассмотрены свойства дисульфида молибдена и возможность его применения в качестве основы самосвязывающего средства при формировании вибрационных механохимических покрытий.

Дисульфид молибдена как твердая смазка. По классификации, предложенной Кемпбелом, дисульфид молибдена как и графит, слюда, тальк, нитрид бора, стеарат-цинка относится к группе твердых смазок, кристаллическая решетка которых имеет слоистую структуру. Атомы каждого слоя связаны между собой прочными химическими связями, отдельные слои связаны между собой слабыми молекулярными силами, что обеспечивает легкость скольжения по плоскости спайности. Толщина одного элементарного слоя M_0S_2 равна $6,25 \text{ \AA}$. Пленка дисульфида молибдена толщиной $0,025 \text{ мкм}$ состоит из 40 слоев с 38 плоскостями скольжения между ними. Высокая адгезия дисульфида молибдена к металлам обусловлена прочными молекулярными связями, образуемыми атомами серы с металлом; строение кристаллической решетки обеспечивает наличие важных для смазочных материалов высоких адгезионных свойств. Дисульфид молибдена имеет гексагональную слоистую решетку в форме призматического шестигранника (рис.1).

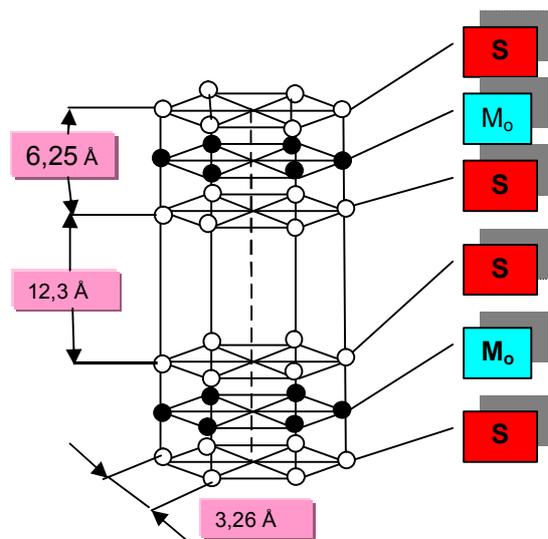


Рис.1. Кристаллическая решетка дисульфида молибдена

Параметры кристаллической решетки: ширина $3,26\text{ \AA}$, высота $12,3\text{ \AA}$, толщина одного элементарного слоя равна $6,25\text{ \AA}$. Его молекулярный вес $160,7$, удельный вес – $4,8$; твердость по Моосу $1-1,5$. Дисульфид молибдена устойчив к температуре от минус 80 до плюс 450°C , температура плавления – 1185°C . Допустимая динамическая нагрузка более 1500 кг/см^2 , а статическая – свыше $30\ 000\text{ кг/см}^2$. Пленка дисульфида молибдена толщиной 1 мкм содержит 1631 скользящую поверхность. Наличие слоев двух различных атомов в структуре дисульфида молибдена создает условия легкого скольжения пластинок [1].

Кристаллы дисульфида молибдена, жирные на ощупь, имеют голубовато-серый цвет, металлический блеск.

Коэффициент трения уменьшается при увеличении нагрузки, что связано с увеличением параллельности слоев. После приработки коэффициент трения стабилизируется. Соединение между атомами молибдена и серы очень прочное, чем объясняется повышенная устойчивость этого соединения к деформации и его исключительная химическая и термическая стабильность. Дисульфид молибдена устойчив почти против всех растворителей. Также он обладает антикоррозионными свойствами, препятствует окислению деталей под воздействием влаги, паров, газов.

Формирование вибрационных механохимических покрытий на основе дисульфида молибдена. Совокупность исключительных свойств дисульфида молибдена позволяют применять его как основу самосвязующего средства при формировании вибрационных механохимических покрытий. Об этом свидетельствуют исследования, проведенные в ДГТУ. В качестве оборудования применялась вибрационная установка УВГ 4-10 с частотой колебаний $15-33\text{ Гц}$ и амплитудой колебаний $1-5\text{ мм}$. С целью обеспечения равномерного распределения порошка в объеме камеры применялась рабочая среда: стальные шары диаметром от 2 до 5 мм и тонкодисперсный дисульфид молибдена марки МВЧ-1, размер частицы $1-7\text{ мкм}$. Полученные результаты показали значительное повышение износостойкости трущихся пар, от 4 до 20 раз в зависимости от условий эксплуатации. В процессе исследований отмечалось упругое и пластическое деформирование поверхностного слоя в зоне контакта рабочей среды с поверхностью обрабатываемой детали. Также имеет место физическая адсорбция частиц MoS_2 к металлической поверхности за счет сил Ван-дер-Ваальса и механического внедрения в результате воздействия рабочей среды.

На основе проведенных исследований предложена следующая модель формирования вибрационных механохимических покрытий на основе дисульфида молибдена (рис.2) [2-4]:

1. Механический контакт и адсорбция частиц MoS_2 . В момент приложения внешней нагрузки, благодаря силе соударения шара с поверхностью обрабатываемого материала, происходит упругая, пластическая и упругопластическая деформация в зоне контакта. За счет сближения

наносимого покрытия с деталью происходит адсорбции частиц на поверхности металла (см.рис.2,а).

2. Активация поверхностного слоя металла. Активация поверхности осуществляется в результате пластического деформирования и увеличения плотности дислокаций, разрушения окисных пленок и образования участков поверхности, увеличения площади поверхности (см.рис.2,а).

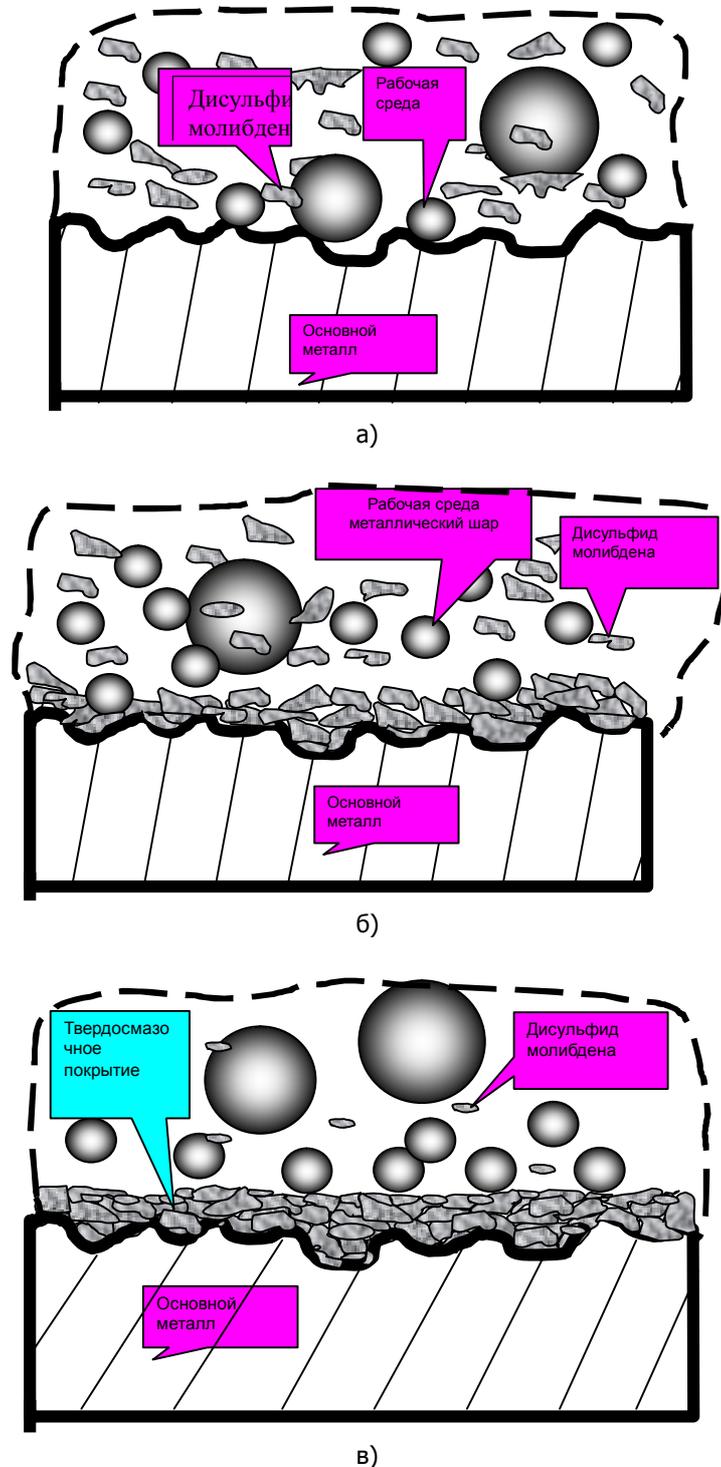


Рис.2. Схема модели формирования вибрационного механохимического покрытия на основе дисульфида молибдена

3. Образование граничного слоя. Этот этап осуществляется вследствие размельчения кристаллов MoS_2 , разрушения ими окислых пленок во впадинах микрорельефа, внедрения частиц порошка и адсорбции их к поверхностному слою активизирующего металла (см.рис.2,б).

4. Образование слоя смазки. Этот этап характеризуется утолщением частиц нанесенного покрытия, размельчением кристаллов, слипанием их друг с другом, образованием сплошного слоя смазки (см.рис.2,в).

5. Формирование поверхностного слоя покрытия. В результате скольжения частиц рабочей среды относительно образуемой поверхности частицы порошка ориентируются базовыми плоскостями параллельно поверхности трения (см.рис.2,в).

В результате проведенных исследований установлено, что образуемый в процессе вибрационной обработки слой твердой смазки дисульфида молибдена покрывается тонкой пленкой, имеющей ориентацию частиц базовыми плоскостями параллельно поверхности трения. Такое строение пленки, как показал анализ, дает возможность включения в нее наноразмерных структур.

Возможность их получения, как пишет профессор Р.Тенне (Израиль), достаточно проста. Для этого достаточно при определенных условиях ввести в реакцию обычный сероводород, а также обычный оксид вольфрама. При этом с течением времени частицы триоксида вольфрама сначала покрываются слоем дисульфида, затем вещество диффундирует внутрь, и постепенно с сохранением формы получается слоистое фуллереноподобное или нанотубулярное образование.

Нанотубулярные дисульфиды молибдена в этом отношении обладают еще более перспективными характеристиками. Их можно использовать не только в подшипниках или как присадку к смазочным маслам: еще одна возможность – использование в качестве смазки при хирургических операциях с участием пунктирующих наконечников или катетеров. В этом случае хирургический инструмент проникает в человеческий организм «как по маслу», без боли, по крайней мере, с использованием меньшей дозы анестетика.

Внедрение наноразмерных структур в вибрационные механохимические покрытия твердых смазок показало, что с уменьшением размера зерна от 1 мкм до 2 нм объемная доля межзеренного вещества увеличится до 88%, это позволит получать покрытия с уникально высокими свойствами. Например, их микротвердость в 2-7 раз выше, чем твердость крупнозернистых покрытий, прочность в 1,5-2 раза выше, а при уменьшении размера зерна от 10 мкм до 10 нм скорость износа покрытия уменьшается в 10 раз.

Выводы. Вибрационные механохимические покрытия на основе дисульфида молибдена с внедренными наноразмерными структурами открывают уникальные возможности для получения нового уровня свойств: высокой прочности, твердости, износостойкости, коррозионной стойкости, достаточно высокой пластичности, сохраняя при этом высокие эксплуатационные свойства изделий, и могут быть положены в основу одного из научных направлений: «Вибрационные многокомпонентные композиционные механохимические покрытия».

Библиографический список

1. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии. Часть I / А.П. Бабичев. – Ростов н/Д, 1993.
2. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии. Часть 2 / А.П. Бабичев. – Ростов н/Д, 1994.
3. Пугина Л.И. Дисульфид молибдена / Л.И. Пугина, М.Д. Синявская, И.М. Максимчук. – Киев: «Наукова думка», 1968.
4. Рысева Т.Н. Повышение износостойкости пар трения путем совмещения процессов вибрационного упрочнения и нанесения твердосмазочного покрытия дисульфида молибдена: дис. ... канд. техн. наук. – Ростов н/Д, 1975.

Материал поступил в редакцию 11.05.10.

V.V. IVANOV, Y.V. MARCHENKO

**APPLICATION PROSPECTS OF MOLYBDENUM DISULFIDE
FOR FORMING VIBRATORY MECHANO-CHEMICAL SOLID OIL COVERINGS**

A brief review of vibration mechano-chemical covering and samples of practical application of the solid oil on the basis of molybdenum disulfide, made up under conditions of vibration treatment are given. A model structure of forming molybdenum disulfide covering is displayed.

Key words: mixed treatment methods, vibration treatment, vibratory mechano-chemical coverings, solid oil.

ИВАНОВ Владимир Витальевич (р.1967), доцент кафедры «Технология машиностроения» Азовского технологического института (филиала) Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (1996), доцент(2006). Окончил ДГТУ (1992) по специальности «Технология машиностроения».

Область научных интересов: вибрационные механохимические покрытия.

Имеет 48 публикаций, в том числе 1 монографию.

ivanov@atidstu.ru

МАРЧЕНКО Юлианна Викторовна, доцент кафедры «Машиностроительные технологии и материалы» Азовского технологического института (филиала) Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (2001). Окончила Бишкекский государственный технический университет (1992) по специальности «Технология машиностроения».

Область научных интересов: техника и технология вибрационной обработки изделий машиностроения.

Имеет 40 публикаций.

daulianna1@rambler.ru