

УДК 621.9.048.6:621.794

UDC 621.9.048.6:621.794

**ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ  
ПОКРЫТИЯ И СВОБОДНО  
ДВИЖУЩИЕСЯ РАБОЧИЕ СРЕДЫ,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В УСЛОВИЯХ  
ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ**

**CHEMICAL AND MECHANICAL  
COVERINGS AND FREE-MOVING  
WORKING MEDIA USED IN  
VIBRATIONAL TREATMENT**

*Сакунов А. А., Иванов В. В.,  
Погорелов Н. П.*

*Sakunov A. A., Ivanov V. V.,  
Pogorelov N. P.*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[vivanov\\_dstu@mail.ru](mailto:vivanov_dstu@mail.ru)

[vivanov\\_dstu@mail.ru](mailto:vivanov_dstu@mail.ru)

[pony.47@mail.ru](mailto:pony.47@mail.ru)

[pony.47@mail.ru](mailto:pony.47@mail.ru)

[a-sakunov@mail.ru](mailto:a-sakunov@mail.ru)

[a-sakunov@mail.ru](mailto:a-sakunov@mail.ru)

Рассмотрены рабочие среды, их характеристики и материалы, наносимые в условиях вибрационной обработки. Доказано, что при нанесении покрытий состав рабочей среды определяется характеристикой наносимого покрытия и конфигурацией детали.

The paper considers working media, their characteristics and the materials applied in the conditions of vibration treatment. It is proved that the coating composition of the working medium is determined by the characteristics of the coating and the configuration of the part.

В результате проведенного исследования авторами были сделаны выводы о том, что для нанесения вибрационных химико-механических цинковых покрытий в качестве рабочих сред эффективно использование фарфоровых шаров вместо стальных. Также при нанесении оксидных покрытий на алюминиевые поверхности рекомендовано применение пластмассовых шариков диаметром 3 мм.

As a result of the study, the authors concluded that the use of porcelain balls instead of steel ones is effective for the application of vibrational chemical-mechanical zinc coatings as working media. Also, when applying oxide coatings on aluminum surfaces, the use of plastic balls with a diameter of 3 mm is recommended.

**Ключевые слова:** вибрационные химико-механические покрытия, дисульфид молибдена ( $MoS_2$ ), порошок цинка, рабочие среды, микро/нанопрофиль поверхности порошков.

**Keywords:** vibrational chemical and mechanical coverings; molybdenum disulfide ( $MoS_2$ ); zinc powder; working media; micro / nano surface profile of powders.

**Введение.** При нанесении на обрабатываемые поверхности различного рода покрытий состав рабочей среды определяется характеристикой наносимого покрытия и конфигурацией детали, причем абразивные среды применять для нанесения покрытий нельзя, так как скорость снятия пленки абразивом равна скорости образования этой пленки.

**Основная часть.** Формирование вибрационных химико-механических покрытий во многом зависит от режимов обработки, используемого оборудования, рабочих сред, материала покрытия и энергетического уровня системы (рис. 1). Нанесение твердосмазочных покрытий требует предельных режимов обработки и твердых металлических рабочих тел, используемых с целью

максимального воздействия на поверхность металла. При вибрационном химико-механическом цинковании нет необходимости использовать максимальные режимы, так как в процессе формирования покрытия участвует химическая реакция. Вибрационное химико-механическое оксидирование является химическим процессом, для активации которого используются мягкие режимы виброобработки и специальные рабочие среды.

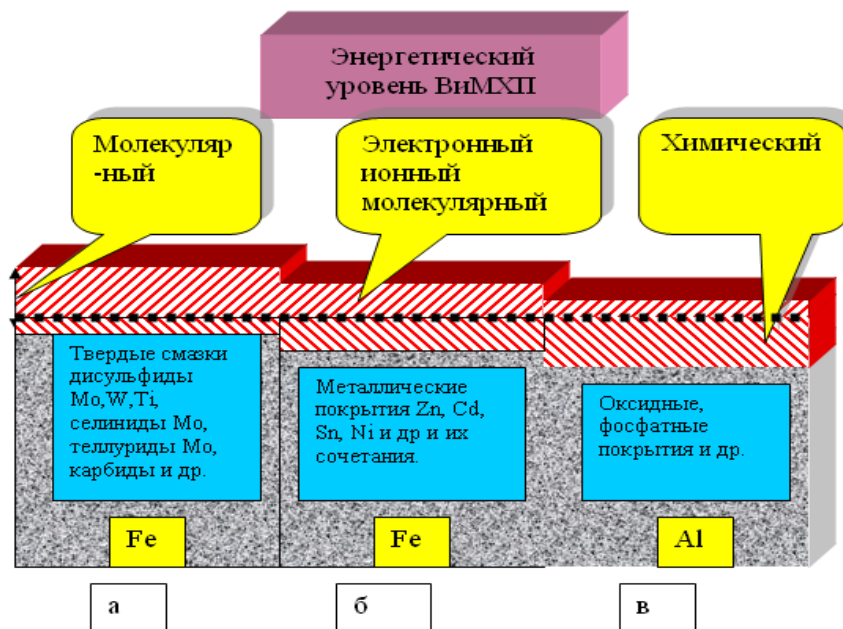


Рис. 1. Энергетический уровень системы: а) молекулярный, б) электронный, в) химический

Для нанесения вибрационных химико-механических покрытий в качестве рабочих сред используют такие материалы, как стальные закаленные полированные шарики, фарфоровые шары, полиэтиленовые шары (гранулы). Металлические шары из стали ШХ 15 ( $HRC\ 58-60$ ) различного диаметра (рис. 2) применяют для нанесения твердосмазочных покрытий, потому что они обеспечивают равномерное распределение наносимого вещества по всему объему рабочей камеры, а также «втирание» и «вбивание» этого вещества в обрабатываемую поверхность [1–3].

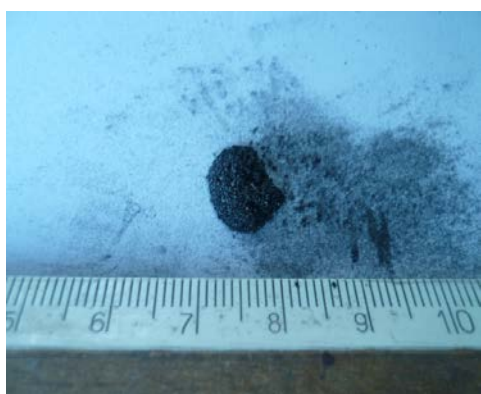


Рис. 2. Рабочая среда — шары из стали ШХ 15

В качестве сухой смазки рекомендуется использовать тонкодисперсный порошок дисульфида молибдена [4–6] высокой чистоты марки МВЧ-1 (ЦМТУО6-1-68) с содержанием  $MoS_2$  99,59 % и размером частиц 1–7 мкм (рис. 3, 4). В таблице 1 приведены некоторые характеристики  $MoS_2$  по данным ряда исследований.

Физико-химические свойства  $MoS_2$ 

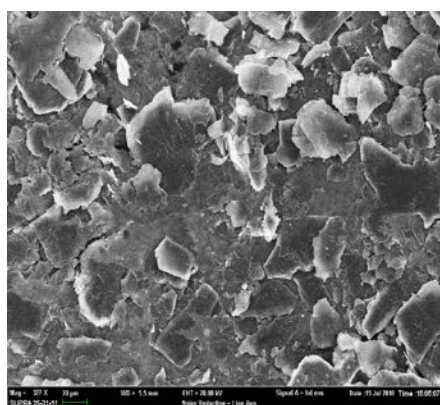
Показатели	Дисульфид молибдена
Внешний вид	Черный с металлическим блеском
Плотность, г/см <sup>3</sup>	4,7–4,8
Термическая стабильность до температуры, °С:	
в вакууме	1185
в аргоне	1340
в воздухе	450
в кислороде	Окисляется при нормальной температуре
Структура	Слоистая гексагональная
Твердость по шкале Мооса	1–1,5



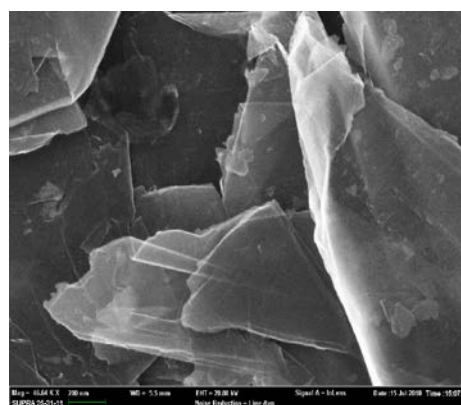
а)



б)

Рис. 3. Порошок дисульфида молибдена: а) в натуральную величину, б) частицы  $\times 600$ 

а)



б)

Рис. 4. Порошок дисульфида молибдена: а) микроизображение, б) наноизображение

Расчет необходимого количества порошка в процессе обработки определяется по формуле (1):

$$Q = (S_1 + S_2 + S_3) \cdot h \cdot \gamma, \quad (1)$$

где:

$S_1$  — общая площадь поверхности частиц рабочей среды;

$S_2$  — площадь поверхности обрабатываемых деталей;

$S_3$  — площадь внутренней поверхности камеры;

$h$  — оптимальная толщина покрытия, полученного в процессе обработки;

$\gamma$  — плотность порошка.

Для нанесения вибрационного химико-механического цинкового покрытия в качестве рабочей среды целесообразно использовать химически стойкие фарфоровые или стеклянные шары (рис. 5), обладающие относительно высокой твердостью. Экспериментально установлено, что наиболее подходящими для нанесения вибрационного химико-механического цинкового покрытия являются фарфоровые шары [7, 8].



а)



б)

Рис. 5. Образцы рабочих сред: а) стекло, б) фарфор

При нанесении ВиМХП на поверхность стальных деталей выбор рабочей среды определяется в пользу ее физико-химических свойств. В таблице 2 приведена сравнительная характеристика механических свойств рабочих сред.

Таблица 2

Сравнительная характеристика механических свойств рабочих сред

Механические свойства (твердость, шероховатость)	Рабочая среда	
	Фарфоровые шары диаметром 5–10 мм	Стеклянные шары диаметром 10 мм
$\sigma_b$ , МПа	40...120	20 ... 90
Мкм	0,08	0,02

Фарфоровые шары обладают одним существенным преимуществом — незначительной абразивной способностью. Данное свойство позволяет лучше активировать поверхности детали, не повреждая формирующееся покрытие, так как скорость активации меньше скорости образования покрытия. Это способствует ускорению прикатодных миграционных процессов, тем самым увеличивается скорость нанесения покрытия. В качестве материала покрытия используется цинковый порошок марки ПЦ–2 (ГОСТ 3640–79) с содержанием цинка 99,95 % и составом примесей в %:  $Pb$  — 0,036;  $Cd$  — 0,01;  $Sn$  — 0,004 (рис. 6, 7).

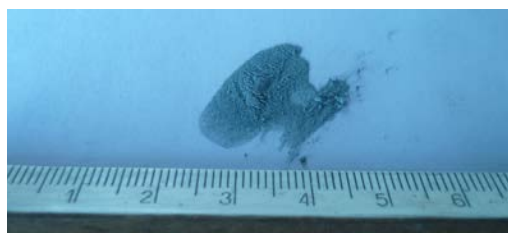
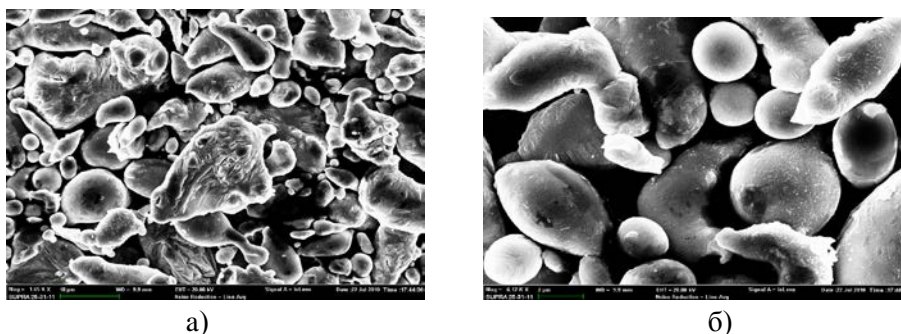


Рис. 6. Порошок цинка в натуральную величину



а)

б)

Рис. 7. Зерно порошка цинка: а) микро уровень, б) нано уровень

Рекомендуется использовать фракцию цинкового порошка с размером зерна 1...10 мкм. В процессе формирования вибрационного покрытия под влиянием ударов и воздействия химического раствора данная фракция наиболее предпочтительна.

Рабочая среда не должна взаимодействовать с технологической жидкостью (окисляющим раствором), быть легкой, эластичной, не допускать царапин и забоин. Поэтому в качестве рабочей среды использовались пластмассовые шарики диаметром 3 мм. Неметаллические тела обеспечивают равномерность оксидного покрытия по всей поверхности обрабатываемой детали, выполняют роль поставщиков окисляющего раствора в реакционную зону, а также обеспечивают сглаживание микронеровностей [9–10]. В таблице 3 приведены некоторые характеристики полиэтиленовых шаров.

Таблица 3

## Физико-химические свойства полиэтиленовых шаров

Показатели	Полиэтилен
Удельный вес, Г/см <sup>3</sup>	0,92–0,95
Предел прочности:	
при растяжении, кг/см <sup>2</sup> ,	110–140
при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	860–990
при изгибе, кг/см <sup>2</sup>	115
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup>	25
Теплопроводность при 20° $\frac{\text{кал} \cdot 10^{-4}}{\text{см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ\text{C}}$	2,1
Температурный предел применения материала, °С	–45–100 °
Водопоглощение за 24 часа при 20° С, %	0,01
Стойкость к действию кислот и окислителей (при обычных условиях)	стойк

В качестве технологической жидкости (окислительного раствора) выбран раствор, содержащий кремнефторид натрия и хромовый ангидрид в количестве 3...4 г/л по ГОСТ 9.305–84. Раствор позволяет вести процесс без подогрева и получать плотные пленки, что позволило ему получить большое распространение в промышленности.

**Заключение.** Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что применение рабочих сред при формировании ВиМХП является индивидуальным процессом. Обобщая комплекс проведенных теоретических и экспериментальных исследований в области формирования вибрационных химико-механических покрытий, можно сделать следующие выводы:

– на деталях из стали рекомендовано комбинирование методов вибрационной обработки и получения химико-механических покрытий;

– выявлено, что качество поверхностного слоя покрытий и его толщина находятся в корреляционной связи с динамическим режимом виброобработки. Механизм формирования покрытий в процессе виброобработки в рабочих средах характеризуется пластическим деформированием и микрорезанием в зоне контакта.

Полученные результаты, прошедшие комплексную экспериментальную проверку, могут быть использованы для нанесения вибрационных химико-механических покрытий в отраслях, где требуется обеспечение повышенного качества поверхностного слоя покрываемых деталей, например, в авиастроении и автомобилестроении.

#### Библиографический список

1. Бабичев, А. П. Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. — Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2008. — 694 с.
2. A.P. Babichev and S.N. Shudaley, *Vibration Mechanical Chemistry in Processes of Finishing – Hardening Working and Coatings of Machinery*. Monograph, DSTU Publishing House, Rostov-upon-Don, 2012.
3. J. Russell, *Mechanical plaiting*, Bookvika Publishing, 2012.
4. U. Meyer: *Galvanotechnik* (1982).
5. M.S. White: *Prod. Finish* (1977).
6. Иванов, В. В. Вибрационные механохимические методы нанесения покрытий «цинкование» / В. В. Иванов. — Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2007. — 140 с.
7. V.V. Ivanov, *Vibration Mechanical Chemical Coatings*. Monograph, LAPLAMBERT, Saarbrucken, Germany, 2014.
8. Иванов, В. В. Вибрационные механохимические методы нанесения покрытий «окислирование» / В. В. Иванов. — Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2010. — 142 с.
9. V.A. Lebedev V.V. Ivanov, and V. P. Fedorov: *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* (2016).
10. Иванов, В. В. Формирование многокомпонентного вибрационного механохимического покрытия с защитными и антифрикционными свойствами в условиях виброволнового воздействия / В. В. Иванов [и др.] // *Виброволновые процессы в технологии обработки высокотехнологичных деталей: сб. трудов междунар. науч. симпозиума технологов-машиностроителей*. — Ростов-на-Дону, 2017. — С. 56–59.