

УДК 621.822.177

## ТВЕРДОСМАЗОЧНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Трушов И.А. <sup>(1)</sup>, Илларионов А. И. <sup>(2)</sup>, Братченко М. А. <sup>(3)</sup>

*Магистр 1 года <sup>(1)</sup>, студент 4 курса <sup>(2)</sup>, студент 3 курса <sup>(3)</sup>*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Беликов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Применение типовых твердосмазочных покрытий, таких, как бронзовые и алюминиевые сплавы, получаемые гальваническим методом и использующиеся в настоящее время в машиностроительных отраслях, перестают удовлетворять современным требованиям к антифрикционным покрытиям. Возникает потребность в новых покрытиях с улучшенными трибологическими свойствами.

Твердосмазочные композитные покрытия на основе дискретных тонких пленок представляются новым и перспективным решением, поскольку благодаря возникающим от дискретной структуры эффектам способны значительно повышать трибологические характеристики [1]. Подобные эффекты наблюдаются в случае использования искусственных регулярных микрорельефов получаемых, например, текстурированием поверхности. Для такого случая экспериментальные исследования показывают снижение трения на режущих инструментах до 34,5%, на 82% в поршневых кольцах и гильзах цилиндров двигателей, на 65% в уплотнениях и на 18% в подшипниках скольжения [2].

Одно из возможных применений предлагаемого типа покрытий – подшипники скольжения для высоконагруженных узлов. В работе представлена разработанная технология формирования дискретного покрытия, с использованием метода магнетронного распыления, на триметаллическом вкладыше двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Заготовка имеет форму обечайки, разрезанной вдоль двух образующих, макроструктуру из функциональных слоев: стальной основы, свинцовистой бронзы. На внутреннюю цилиндрическую поверхность наносится слой дискретного твердого слоя и антифрикционного, твердосмазочного покрытия.

Цель работы – экспериментально исследовать наличие эффекта повышения адгезионной прочности тонкопленочного покрытия MoS<sub>2</sub> на дискретной тонкой пленке Cr или TiN.

Технология создания дискретных пленок относится к методу инженерии поверхности и заключается в формировании на поверхности основы массивов планарных микроструктур из материала пленки определенных: конфигурации, формы, расположения относительно направления скольжения и геометрических размеров для достижения повышенного ресурса функционирования покрытия. Примеры вариантов реализации твердосмазочного покрытия на дискретной поверхности и этапы возможной технологии их получения приведены на рисунке 1.

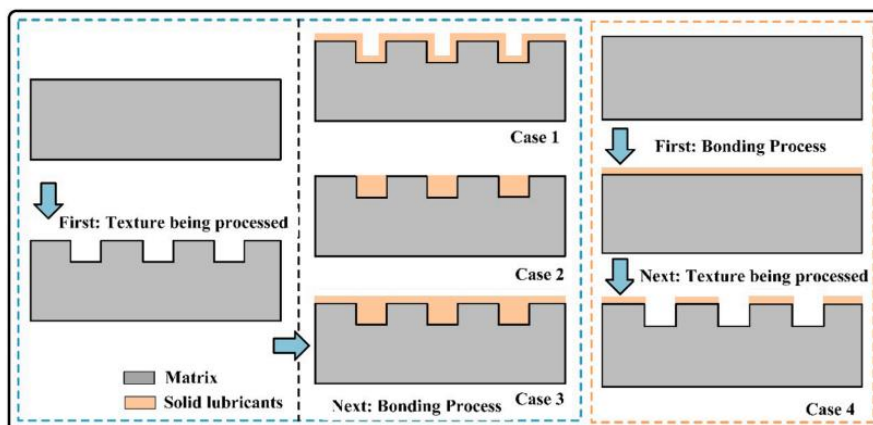


Рис. 1. Четыре варианта использования твердосмазочного покрытия совместно с текстурированной поверхностью

Работы по нанесению магнетронным методом функциональных тонкопленочных слоев предлагаемого покрытия выполнялись в лаборатории кафедры "Электронные технологии в машиностроении" МГТУ им. Н. Э. Баумана. Дискретная пленка Cr или TiN на поверхности вкладыша формировалась путем нанесения через теньевую металлическую маску (в виде сетки с прямоугольными окнами) из нержавеющей стали производителя «TDMS». Режимы нанесения определялись на основе результатов моделирования процесса магнетронного распыления в программе «TFDepositionR» [3]. Для нанесения слоев использовалась модернизированная технологическая установка периодического действия колпакового типа, выполненная на базе «Balzers 350G», оснащенная двумя плоскими сбалансированными магнетронами с дисковыми мишенями и автономным источником ионов (АИИ) с холодным катодом типа «Радикал».

Были получены двухслойные покрытия со сплошным и дискретным базовым слоем. Вследствие наличия в покрытиях внутренних технологических напряжений и различиях в коэффициентах линейного температурного расширения изделия-подложки и покрытия, в сплошных покрытиях наблюдалось отслаивание от поверхности изделия. Образцы композитных покрытий на основе дискретных тонких пленок обладали большим значением адгезионной прочности по сравнению со сплошными покрытиями такой же толщины. Увеличение адгезионной прочности может быть связано с некоторой релаксацией внутренних напряжений в слоях с дискретными планарными элементами покрытия, что приводит к их снижению. При функционировании такого покрытия дискретность тонкой пленки может приводить к повышению уровня предельных напряжений, при которых происходит ее отслаивание и разрушение.

## Литература

1. Qipeng H., Xiaoliang S., Yawen X., Kaipeng Z., Chaohua W. Recent progress on surface texturing and solid lubricants in tribology: Designs, properties, and mechanisms // *Materials Today Communications*. 2023. Vol. 35, 105854, ISSN 2352-4928, <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.105854>.
2. Lu P., Wood R. Tribological performance of surface texturing in mechanical applications— a review // *Surface Topography Metrology and Properties*. 2020. Prop. 8 043001. DOI:10.1088/2051-672X/abb6d0
3. Свидетельство 2022685121. Программа моделирования магнетронного нанесения тонких пленок на детали сложной геометрии «TFDepositionR»: программа для ЭВМ / А.И. Беликов, О.Э.Алиханов (RU). № 2022684191; заявл. 06.12.22; опубл. 21.12.2022.