

УДК 621.891.539.375.6

**М.И.Черновол, проф., д-р техн. наук, И.В.Шепеленко, доц., канд. техн. наук**  
*Кировоградский национальный технический университет*

## Способы формирования антифрикционных покрытий на металлические поверхности трения

В статье представлена классификация способов нанесения антифрикционных покрытий на металлические поверхности деталей трения. Проведен краткий анализ перспектив использования финишной антифрикционной безабразивной обработки. Рассмотрен комбинированный метод обработки, совмещающий поверхностное пластическое деформирование и нанесение покрытий финишной антифрикционной безабразивной обработкой.

**антифрикционные покрытия, восстановление, приработка, твердая смазка, финишная антифрикционная безабразивная обработка, комбинированная обработка**

Одним из направлений инженерии поверхности является нанесение покрытий различными способами [1]. С точки зрения повышения надежности и ресурса необходимо, чтобы каждая деталь вне зависимости от материала изготовления имела защитное покрытие в соответствии со своим прямым назначением и условиями эксплуатации [2].

Покрытия представляют собой направленно сформированные поверхностные слои, существенно отличающиеся по своим свойствам от свойств материала основы и в значительной степени изменяющие свойства последнего [3]. При этом габаритные размеры детали увеличиваются на толщину слоя покрытия, что позволяет использовать методы нанесения покрытий не только при изготовлении новых, но и при восстановлении изношенных деталей и конструкций [4, 5].

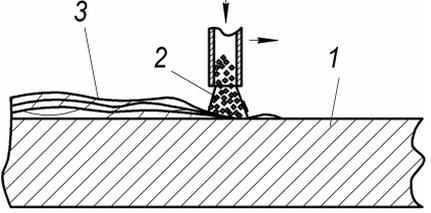
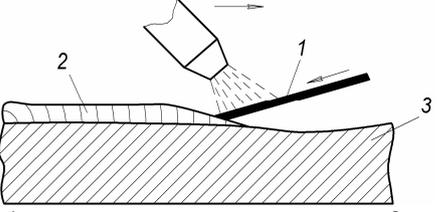
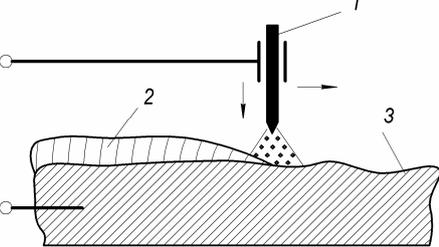
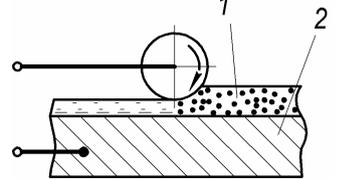
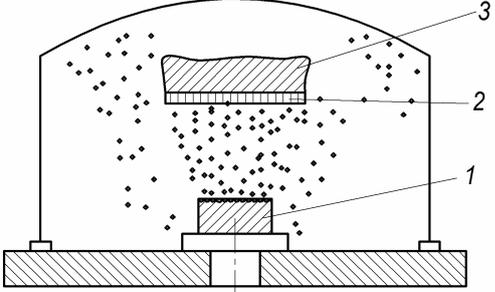
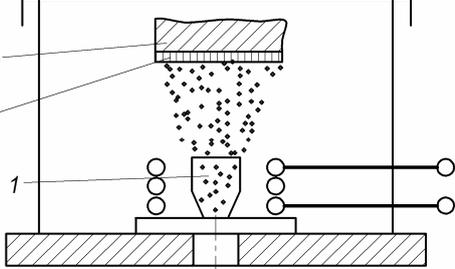
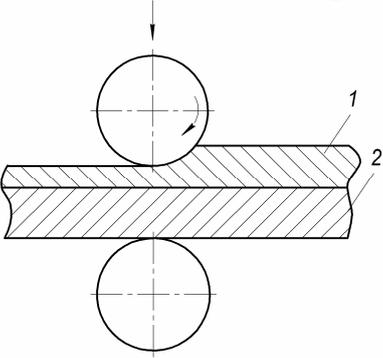
Существующие многочисленные способы нанесения покрытий принято классифицировать с различных позиций. По своему назначению покрытия, применяемые в машиностроении, авторы работ [2, 6, 7 и др.] разделяют на следующие категории: износостойкие, коррозионно-стойкие, антифрикционные, жаростойкие, теплозащитные, уплотнительные и др.

Особое место среди покрытий занимают антифрикционные (покрытия с низким коэффициентом трения), нанесенные на поверхность трения с целью обеспечения благоприятных антифрикционных свойств. Крагельским И.В. предложена классификация видов антифрикционных покрытий (АП) по положительному градиенту свойств по глубине [8], что долгое время служило руководством при разработке новых, более совершенных видов покрытий. Однако научные основы различных методов нанесения покрытий исследованы не одинаково глубоко.

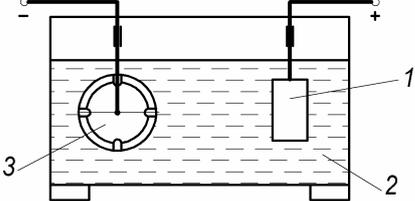
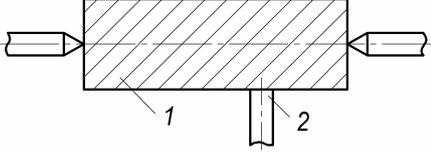
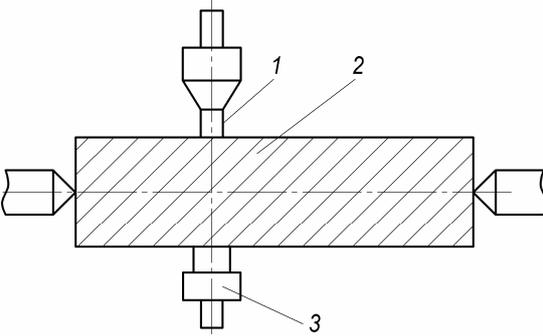
Целью данной работы является систематизация имеющихся сведений о способах нанесения АП на металлические поверхности деталей путем составления их классификаций с различных позиций, что позволит аргументировано подойти к выбору способа получения АП.

В этой связи, весьма уместна классификация АП по следующим признакам: назначение, вид материала покрытия, а также способ его формирования.

Таблица 1 – Схема реализации и область применения основных способов получения АП

Схема способа	Область применения
<p style="text-align: center;">1</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Газотермическое напыление</b></p>  <p>1 – матрица изделия; 2 – энергетический поток, включающий напыляемые частицы; 3 - покрытие</p> <p><b>Газопламенная наплавка</b></p>  <p>1 – присадочный материал; 2 – наплавленный слой; 3 – матрица изделия</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>Электродуговая наплавка</b></p>  <p>1 – присадочный материал – электрод; 2 – наплавленный слой; 3 – матрица изделия</p> <p><b>Электроконтактное припекание</b></p>  <p>1 – наносимый материал и слой; 2 – матрица изделия</p> </div> </div>	<p>2</p> <p>ВОССТАНОВЛЕНИЕ</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>PVD - покрытия</b></p>  <p>1 – присадочный материал; покрытие; матрица изделия</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CVD - покрытия</b></p>  <p>1 – присадочный материал; покрытие; матрица изделия</p> </div> </div> <p style="text-align: center;"><b>Термомеханическое плакирование</b></p>  <p>1 – слой наносимого материала; 2 – матрица изделия</p>	<p>ВОССТАНОВЛЕНИЕ, ПРИРАБОТКА</p>

Продолжение табл.1

1	2
<p><b>Электролитическое осаждение</b></p>  <p>1- присадочный материал; 2 – электролит; 3 - изделие</p> <p><b>ФАБО</b></p>  <p>1 – инструмент, 2 – обрабатываемая деталь</p> <p><b>Комбинированная обработка</b></p>  <p>1 – легирующий электрод; 2 - обрабатываемая деталь; 3- колодка для нанесения покрытия</p>	<p><b>ВОССТАНОВЛЕНИЕ, ПРИРАБОТКА, ТВЕРДАЯ СМАЗКА</b></p>

Помимо своих основных функций по повышению антифрикционных свойств поверхности, АП могут использоваться как восстановительные, приработочные, твердосмазочные и многофункциональные покрытия (табл.1).

Наиболее многочисленная категория – восстановительные покрытия, основное назначение которых восстановление размеров деталей.

Приработочные покрытия наносят с целью улучшения условий приработки и предотвращения возможности возникновения задиров и схватывания.

Основное назначение твердосмазочных покрытий, наносимых на рабочие поверхности деталей, - обеспечение смазочного действия в широком диапазоне температур. В работе [9] приведена следующая классификация твердосмазочных материалов по Кэмбеллу В.Е.: слоистые, органические соединения, химически активные покрытия, мягкие металлы, полимерные пленки, различные пластичные материалы.

Большой выбор материалов, используемых для создания АП, позволяют обеспечивать заданные свойства поверхности или комплекс свойств для любых деталей современного машиностроения [7]. По материалу покрытия рассмотрены следующие виды АП: металлические, неметаллические и композиционные.

К металлическим АП отнесены покрытия, полученные из металлов (медь, олово, цинк, свинец и др.) и их сплавов (латуни, бронзы и др.). Особое место среди АП принадлежит неметаллическим покрытиям, получаемых путем: полимеризации органических химических веществ, спекания керамических и металлических материалов, а также из порошков кислородосодержащих и бескислородных химических соединений.

Материалы покрытия, составленные из различных компонентов, образуют отдельный вид – композиционные покрытия (КП). Причем свойства композитов как количественно, так и качественно отличаются от свойств составляющих [10].

По способу или технологии формирования АП делятся на следующие виды (рис.1):

- PVD - покрытия;
- CVD – покрытия;
- покрытия, полученные электрохимическим осаждением;
- газотермические покрытия;
- покрытия, полученные наплавкой, плакированием, наваркой и припеканием;
- фрикционно – механическая обработка;
- комбинированная обработка.

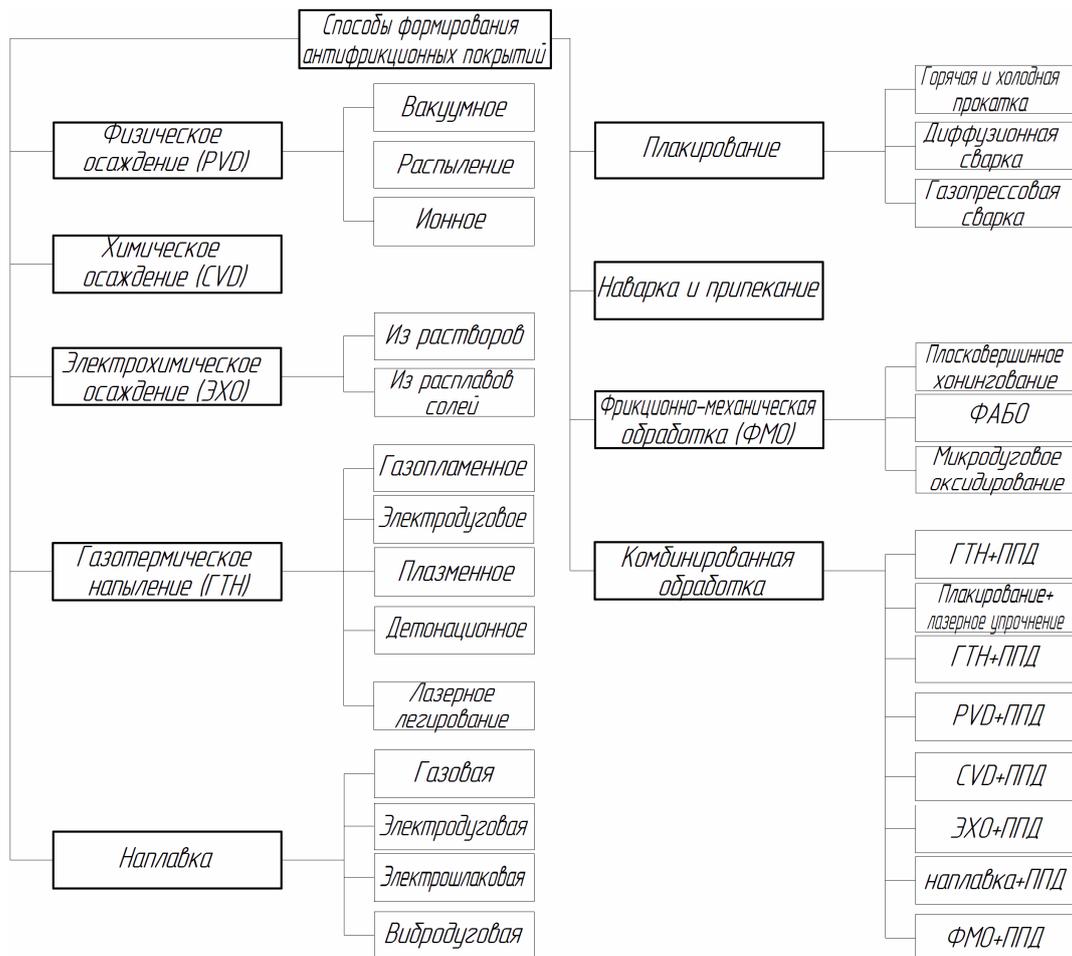


Рисунок 1 – Классификация способов формирования антифрикционных покрытий

Большинство этих способов широко известны и подробно освещены в литературе [6, 11-14 и др.].

Анализ схем нанесения АП (табл.1) показал, что наиболее простым в реализации, не требующего сложного оборудования, является метод финишной антифрикционной безабразивной обработки (ФАБО), к особенностям которого следует отнести: низкий расход материала покрытия и механической энергии при натирании, малую продолжительность процесса при использовании автоматизированного оборудования, высокую стабильность и качество покрытия, экологическую чистоту и др. По данным авторов [15, 16 и др.] ФАБО позволяет: снизить время приработки деталей в 1,5 – 2 раза, исключить задиры поверхностей трения деталей, повысить

несущую способность деталей и соединений, защитить поверхность трения от водородного изнашивания, снизить температуру трения и продлить период работы узла трения при выключении подачи смазки, уменьшить коэффициент трения и тем самым снизить потребление топлива ДВС до 3% и др.

Однако, эффективность процесса ФАБО недостаточно высока, особенно при эксплуатации в условиях высоких удельных нагрузок, когда пленочное покрытие быстро выходит из строя. Кроме того, устойчивое формирование покрытия ограничивается определенной исходной шероховатостью поверхности основы  $0,08 < Ra < 1,5$  мкм [17].

Повысить качество покрытия возможно путем сочетания ФАБО со способами ППД. При этом целесообразнее использовать совмещение и локализацию воздействия на обрабатываемую поверхность деформирующего и натирающего элементов [18].

Следует отметить, что к АП, независимо от способов их формирования, предъявляют ряд требований, к основным из которых следует отнести [19]:

- плотность и сплошность;
- высокая адгезия с поверхностью металла;
- равномерность покрытия по толщине и достаточно высокая чистота его поверхности;
- способность совместно с основным металлом выдерживать эксплуатационные нагрузки;
- долговечность.

Для достижения более высоких эксплуатационных свойств деталей наиболее эффективными представляются комбинированные методы обработки, сочетающие в себе преимущества различных методов. Вместе с тем, известные методы комбинированной обработки, как правило, включают в себя операции по нанесению покрытий и их последующего ППД. Однако, с точки зрения технологичности процесса схема обработки ППД + нанесение покрытия представляется возможной, поскольку ряд методов нанесения покрытий, например ФАБО, требует предварительной подготовки поверхности, получения масляных карманов для дальнейшего его заполнения антифрикционным покрытием. Для расширения возможностей практического применения предложенной схемы комбинированной обработки необходимы дальнейшие исследования.

Представленная в данной работе классификация АП, разумеется, не является исчерпывающей, поскольку существуют и другие классификационные признаки (вид агрегатного и физического состояния материала, толщина покрытия, число компонентов наносимого материала и полученных слоев и т.д.). С позиций рассматриваемых критериев классификации АП предпочтение следует отдать способам получения многофункциональных покрытий и прежде всего комбинированной обработкой, позволяющая сочетать в себе преимущества различных методов, в том числе модификации поверхностей и нанесения покрытий, тем самым достигая более высокие эксплуатационные свойства деталей.

## Список литературы

1. Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. Инженерія поверхні: Підручник. – К.: Наукова думка, 2007. – 559 с.
2. Карп И.Н. Износостойкость и защитные покрытия (Обзор)/ И.Н. Карп, В.Г. Назаренко и др.// Экотехнологии и ресурсосбережения. – 2007. - №6. – С.24-39.
3. Триботехнология: словарь-справочник / С.Н.Соловьев, Л.П.Клименко, С.Ж.Буду, Е.В.Трофимова; под общ.ред. С.Н.Соловьева. – Николаев: НГТУ им. П.Могилы, 2003 – 384 с.
4. Тихоненко В.В., Шкилько А.М. Упрочняющие технологии формирования износостойких поверхностных слоев// Фізична інженерія поверхні. – 2011. – т.9, №3. – С.237-243.

5. Кузнецов В.Д., Пашенко В.М., Ющенко К.А., Борисов Ю.С. Фізико – хімічні основи інженерії поверхні: Навч. посібник. – К.: ВПОЛІ, 2005. – 372 с.
6. Замятин В.Ю. Классификация защитных неорганических покрытий и способов их формирования на металлических деталях трения/ В.Ю. Замятин// Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. - №1. – С.39-44.
7. Чернец М.В., Клименко Л.П., Пашечко М.И., Невчас А. Трибомеханика, триботехника, триботехнологии: В 3 т./ Под общ. ред. М.В.Чернеца, Л.П.Клименко. – Т.1. Механика трибоконтактного взаимодействия при скольжении. – Николаев: Изд-во НГТУ им. Петра Могилы, 2006. – 476 с.
8. Кутьков А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия. М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
9. Некрасов С.С., Паршин И.П., Приходько И.Л. Антифрикционные покрытия деталей и эффективность их применения. Обзорная информ./ Госагропром СССР. АгроНИИТЭИТО. М., 1988. – 32 с.
10. Комбинированные металлополимерные покрытия и материалы/ А.Г.Терхунов, М.И.Черновол, В.М.Тиунов, Е.К.Соловых, В.М.Веретенников. – К.: Техніка, 1983. – 168 с.
11. Локарев Д. Методы и оборудование для нанесения износостойких покрытий/ Д.Локарев, Е.Ямашкин// Наноиндустрия. – 2007. - №4. – С.18-24.
12. Соловых Е.К. Выбор альтернативных технологий нанесения износостойких покрытий дискретной структуры/ Е.К.Соловых// Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – Вип.23. – С.236-239.
13. Упрочняющие и восстанавливающие покрытия/ А.М.Цун, Г.С.Гун, В.В.Кривошанов и др. – Челябинск: Металлургия, 1991. – 160 с.
14. Черновол М.И. Комбинированный метод обработки поверхностей трения/ М.И.Черновол, И.В.Шепеленко, Варума Арифа// Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – Вип.24, Ч.ІІ. – С.13-16.
15. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность): учебник/ Д.Н.Гаркунов. – М.: МСХА, 2001. – 616 с.
16. Балабанов В.И. Триботехнологии в техническом сервисе машин / В.И. Балабанов, С. А. Ищенко, В. И. Беклемышев. – М. : Изумруд, 2005. – 192 с.
17. Черкун В.В. Підвищення зносостійкості цапф шестерень гідронасосів фінішною антифрикційною безабразивною обробкою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах»/ В.В. Черкун. – К., 2011. – 19 с.
18. Сорокин В.М. Упрочнение поверхностей валов совмещенным натиранием антифрикционных покрытий и ППД/ В.М.Сорокин, С.С.Танчук, А.В.Михеев и др.// Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. - №2. – С.38-43.
19. Сухарев Э.А. Технология и свойства защитных покрытий в машинах. – Ровно: УГУВХП, 2004. – 182 с.

*М.Черновол, І.Шепеленко*

#### **Способи формування антифрикційних покриттів на металеві поверхні тертя**

В статті представлена класифікація способів нанесення антифрикційних покриттів на металеві поверхні деталей тертя. Проведений короткий аналіз перспектив використання фінішної антифрикційної безабразивної обробки. Розглянутий комбінований метод обробки, що об'єднує поверхневе пластичне деформування та нанесення покриттів фінішною антифрикційною безабразивною обробкою.

*M.Chernovol, I.Shepelenko*

#### **Ways of forming antifriction top layers on metal friction surfaces**

This article represents the classification of ways of antifriction coatings application on metal friction surfaces. A short analysis of prospects of usage of the finish antifriction non-abrasive processing has been performed. A combined processing method has been reviewed, which combines surface plastic deformation and application of coatings by means of finish antifriction non-abrasive processing.

Получено 19.03.12