

УДК 621.762

## СИСТЕМАТИКА ТЕХНОЛОГИЙ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*И.В. Шмидт*

В статье проведена классификация существующих покрытий по виду, методу их создания, используемым материалам. Показано, что выбор покрытия зависит от эксплуатационных требований, предъявляемых к каждой поверхности детали, метода нанесения и толщины покрытия, а также от материалов подложки и самого покрытия.

Ключевые слова: напыление, наплавка, металлизация, покрытия.

Служебное назначение деталей в машиностроении является основой для формирования требования по точности и качеству ее поверхностей.

К каждой поверхности детали могут предъявляться свои требования, зачастую разные. Например, для поверхностей деталей, работающих в условиях высоких контактных нагрузок, требуется создание высокой твердости поверхности, при этом сердцевина должна оставаться достаточной вязкой. В парах трения–скольжения поверхности сопряжения должны иметь низкий коэффициент трения и т. д.

Одним из наиболее эффективных технологических путей для улучшения эксплуатационных свойств рабочих поверхностей деталей машин является нанесение на них различных металлических и неметаллических покрытий.

При выборе типа покрытия одним из основных показателей является его функциональное назначение, т. е. условия при котором оно работает. Существующие на сегодняшний день покрытия по функциональному назначению можно разделить на 7 групп (табл. 1). Покрытие представляет собой поверхностный слой детали, целенаправленно создаваемый на поверхности основного материала детали. Покрытие характеризуется конечной толщиной, химическим составом и структурно-фазовым состоянием материала, которые качественно отличаются от аналогичных характеристик материала самой детали.

Большой выбор материалов, используемых для создания покрытий, позволяет обеспечить заданные свойства поверхности для любых деталей современного машиностроения. Обычные конструкционные материалы не всегда способны удовлетворить требованиям, предъявляемым к деталям машин и механизмов, работающих в экстремальных условиях эксплуатации. Конструкционные материалы повышенного качества, если и отвечают таким требованиям, то могут оказаться слишком дорогими для их использования в условиях современного производстве.

Таблица 1

Классификация покрытий по функциональному назначению

№ группы	Тип покрытия	Примеры применения или разновидности группы
1	Защитное	Антикоррозионное, жаростойкое и др.
2	Износостойкое	Керамические, молибденовые и др.
3	Декоративное	Лакокрасочные
4	Антифрикционные	Пары трения–скольжения
5	Фрикционные	Для защиты от скольжения и проскальзывания трапов
6	Функциональные	Диэлектрические, электропроводные, нанопокрyтия и др.
7	Покрyтия при восстановлении	Для восстановления геометрии изношенных поверхностей деталей

Систематика применяемых для создания покрытий материалов приведена в табл. 2 [1–17].

Немаловажную роль играет способ нанесения покрытия. Зачастую при создании покрытий сопряжено с нагреванием материала основной детали и материала покрытия до высоких температур, например, при получении покрытий из твердых тугоплавких соединений. Или же формирование покрытий происходит без нагрева, как например, при физическом методе, когда пастообразный полимерно-композитный материал наносят на подложку, после чего происходит его полимеризация в естественных условиях. Кроме того, применение того или иного метода требует наличия специального технологического оборудования, зачастую весьма сложного и дорогостоящего, что существенно сказывается на выборе способа создания покрытий.

Не менее важным показателем является толщина создаваемого покрытия. Так методы металлизации позволяют формировать покрытия от 0,01 мкм до 0,7 мм, при наплавке толщина покрытия может достигать 50 мм. В табл. 3 приведена систематика покрытий по методу их получения [1, 2, 5, 9–18].

Наиболее быстро развивающимися технологиями создания функциональных покрытий в машиностроении являются газотермическое напыление, плазменная и лазерная наплавка. Каждая из этих технологий имеет свои преимущества и недостатки, свои предпочитаемые области применения.

Процесс газотермического напыления представляет собой нагрев, распыление, перенос и осаждение на подложке частиц напыляемого материала с помощью энергии горячих газов.

Таблица 2

Классификация материалов, используемых для покрытий

№ группы	Группа материала	Подгруппа	Примеры
1а	Металлы и сплавы	Интерметаллиды	Ni–Al, Ti–Al и др.
1б		Монометаллы	Zn, Sn, Cr, Ni, W, Mo, Al, Pb и др.
1в		Стали и сплавы	Cr–Ni, Pb–Zn, Zn–Al и др. сплавы; 08X22H6T, 08X21H6M2T, 08X18Г8Н2Т и др. нержавеющей стали
2а	Композитные материалы	Композитные материалы на полимерной матрице	Порошковые полимерные краски, полимерно-композитные материалы с различными наполнителями
2б		Композитные материалы на металлической матрице	Композитные дисперсно-упрочненные порошковые материалы
2в		Керамические композитные материалы	Оксиды алюминия, хрома, титана, циркония и др. металлов
2г		Металлокерамические композитные материалы	Композитные материалы на основе карбидов вольфрама и хрома, расположенных в металлической матрице
3а	Наноматериалы	Наноструктурированные материалы	Наноструктурированные материалы TiAlN+Si, TiMoN+Si, TiCrN, суспензии, золь-гели и др.
3б		Наномодифицированные материалы	Композитные материалы модифицированные углеродными нанотрубками, наночастицами оксида циркония и др.

Газотермическое напыление подразделяется на газопламенное, плазменное, высокоскоростное газоздушное, детонационное и др. (см. табл. 3). Общим свойством всех этих видов напыления является создание на подложке слоя из материала, не перемешанного с основным материалом детали, а связанного с ним лишь адгезионной связью. При этом современные технологии напыления позволяют управлять пористостью, уровнем шероховатости, внутренними напряжениями покрытий, создавать слоистые покрытия и покрытия из смесей материалов.

Наплавка производится при более высокой температуре (кроме лазерной наплавки) и в отличие от газотермического напыления сопровождается перемешиванием наплавляемого металла с материалом самой детали.

Таблица 3

Классификация методов нанесения покрытий

№ группы	Группа метода нанесения покрытия	Подгруппа метода нанесения покрытия	Толщина покрытия, мм
1а	Металлизация	Электролитическая	0,15–0,7
1б		Электрофизическая	0,01–0,5
1в		Химическая	0,0005–0,02
1г		Плакирование	0,1–8
1д		Осаждение	0,3–0,6
1е		Вакуумная	0,00001–0,0001
1ж		Взрывом	0,006–0,02
2а	Напыление	Плазменное	0,3–1
2б		Лазерное	0,1–1
2в		Газопламенное	0,5–3
2г		Электродуговое	0,6–1,5
2е		Сверхзвуковое газовоздушное	0,1–1
2ж		Детонационное	0,04–0,4
3а	Наплавка	Лазерная	1,2–5
3б		Плазменная	1,5–5
3в		Электроконтактная	1–3
3г		Электродуговая	0,5–2
3д		Вибродуговая	0,3–3
3е		Индукционная	1,5–4
4а	Прочие методы нанесения покрытий из композитных и наноматериалов	Программируемая роботизированная выкладка	0,5–5
4б		Плакирование	0,1–2
4в		Силовая намотка	0,5–5
4д		Физический	1–4

Лазерная наплавка позволяет создавать на поверхности детали плакирующий слой из порошкового материала с проплавлением его посредством лазерного луча. Применение лазерного луча в качестве источника нагрева имеет ряд преимуществ перед другими:

- дозируемая энергия;
- возможность локальной обработки поверхности;
- отсутствие термических поводов деталей и минимизация зоны термического влияния;
- возможность обработки деталей больших габаритов благодаря высокой производительности наплавки;
- быстрый нагрев и остывание наплавляемого материала;
- возможность обработки на необходимую глубину;
- минимальное перемешивание основного и наплавляемого материала.

В качестве напыляемых материалов могут применяться металлы, сплавы, оксидные, карбидные и нитридные керамики. Основу для напыления могут составлять металлы, сплавы, пластики и др. материалы.

Важным аспектом является возможность применения покрытий при восстановлении поверхностей деталей [17, 19, 20]. В настоящее время вопросы реновации деталей, узлов и агрегатов в машиностроении остаются весьма актуальными, поскольку технологии формирования покрытий при восстановлении позволяют обрабатывать детали за короткое время, с большой экономией средств и получать на выходе продукцию высокого качества, что увеличивает долговечность детали.

Восстановление деталей наплавкой и напылением заменяет методы металлизации и при этом имеет ряд неоспоримых преимуществ. Газотермическое напыление и лазерная наплавка позволяет вернуть деталям их первоначальные характеристики, а порой и значительно увеличить их работоспособность.

Необходимо отметить, что большинство покрытий в дальнейшем подвергаются механической обработке, что актуально не только при восстановлении поверхностей деталей, но и для обеспечения точности и качества поверхностного слоя при обеспечении служебного назначения той или иной поверхности детали.

Таким образом, нанесение покрытий на отдельные поверхности деталей не просто улучшают их свойства, а приводят к образованию слоя из нового материала с присущим ему комплектом свойств, который необходимо учитывать при разработке конструкций машин и механизмов. Наличие различных методов и материалов для формирования покрытий, возможность последующей механической обработки позволяют обеспечить выполнение требований, предъявляемых к каждой отдельной поверхности детали. Еще больше расширяет возможности покрытий их применении в технологиях восстановления.

Проведенная классификация существующих покрытий по виду, методу их создания, используемым материалам показывает, что выбор покрытия зависит от требований к поверхности детали, метода нанесения и толщины покрытия, а также от материалов подложки и самого покрытия.

#### Библиографический список

1. Арзамасов, Б.Н. Справочник по конструкционным материалам / Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов [и др.]; под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 640 с.
2. Киреев, Р.М. Синтез покрытий из нитридов и карбидов интерметаллида систем Ti–Al конденсацией плазменных потоков, генерируемых вакуумной дугой / Р.М. Киреев // Вестник УГАТУ. Машиностроение, материаловедение и термическая обработка металлов. – 2008. – Т. 10. – № 1(26). – С. 96–99.

3. Ловшенко, Ф.Г. Формирование фазового состава, структуры и свойств механически легированных композиционных порошков на основе системы «железо–алюминий» и покрытий из них / Ф.Г. Ловшенко, Г.Ф. Ловшенко, А.С. Федосенко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2012. – № 1(34). – С. 36–50.

4. Ильющенко, А.Ф. Формирование элементов неравновесных аморфизированных структур композиционных плазменных покрытий в системе «напыленные частицы – подложка» / А.Ф. Ильющенко, О.В. Роман, А.И. Шевцов // Вестник ДГТУ. – 2008. – Т. 8. – № 1(36). – С. 62–69.

5. Долговечный, А.В. Технологии наплавки легированной стали на основу из углеродистой стали / А.В. Долговечный, Л.А. Демидова, Е.А. Морозов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 1(2). – С. 550–553.

6. Федотов, А.А. Получение наноструктурных электрокаталитических материалов на углеродных носителях методом ионно-плазменного распыления платиновых металлов / А.А. Федотов, С.А. Григорьев, В.Н. Фатеев // Наукоемкие технологии. – 2013. – Т. 14. – № 10. – С. 63–70.

7. Форенталь, Г.А. Оценка упругих и прочностных свойств эпоксидного композита, наполненного наночастицами оксида кремния / Г.А. Форенталь, С.Б. Сапожников // Композиты и наноструктуры. – 2011. – № 2. – С. 21–27.

8. Абдрахимов, Р.Р. Исследование реологии суспензий для эффективного диспергирования многостенных углеродных нанотрубок в эпоксидной смоле / Р.Р. Абдрахимов, С.Б. Сапожников, В.В. Синицын // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Математика. Механика. Физика». – 2012. – № 34. – С. 68–74.

9. Шолкин, С.Е. Создание управляемой наноструктуры в покрытии, полученном методами газотермического напыления / С.Е. Шолкин, М.А. Юрков // Вопросы материаловедения. – 2010. – № 2. – С. 68–74.

10. Musil, J. Hard and superhard nanocomposite coatings / J. Musil // Surf. and Coat. Tech. – 2000. – Vol. 125. – Pp. 322–330.

11. Жачкин, С.Ю. К вопросу о напряжениях в композитных гальванических покрытиях на основе железной матрицы / С.Ю. Жачкин, Н.А. Пеньков, Ю.Э. Симонова // Вестник воронежского государственного технического университета. – 2013. – Т. 9. – № 1. – С. 105–107.

12. Михайлов, В.В. Электроискровое легирование титана и его сплавов, физико-технологические аспекты и возможность практического использования / В.В. Михайлов, А.Е. Гитлевич, А.Д. Верхотуров [и др.] // Электронная обработка материалов. – 2013. – № 49(5). – С. 21–44.

13. Гусев, В.М. Структура и свойства износостойких покрытий, получаемых методами газотермического напыления / В.М. Гусев, А.В. Бурякин, В.Б. Мордынский // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 113. – С. 326–329.

14. Соловьев, В.А. Оборудование и области применения газотермического напыления / В.А. Соловьев // НаукаПарк. – 2013. – № 6(16). – С. 87–92.

15. Weng, F. Research status of laser cladding on titanium and its alloys: A review / F. Weng, C. Chen, H. Yu // *Materials & Design*. – 2014. – Vol. 58. – Pp. 412–425.

16. Chen, J. Microstructure and tribological properties of laser cladding Fe-based coating on pure Ti substrate / J. Chen, C. Guo, J. Zhou // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. – 2012. – Vol. 22. – Is. 9. – Pp. 2171–2178.

17. Кошин, А.А. Систематика ремонтных полимерно-композитных материалов / А.А. Кошин, И.В. Шмидт // *Ремонт, восстановление, модернизация*. – 2010. – № 5. – С. 39–44.

18. Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

19. Абакумов, Ю.Ф. Реновация в машиностроении / Ю.Ф. Абакумов, А.В. Козлов, С.С. Зуйков, Р.Ф. Юсипов // *Труды ГОСНИТИ*. – 2013. – Т. 113. – С. 249–257.

20. Коробов, Ю.С. Рациональный подход к восстановлению деталей оборудования газотермическим напылением / Ю.С. Коробов, В.И. Шумяков, А.С. Прядко // *Ремонт, восстановление, модернизация*. – 2013. – № 3. – С. 17–21.