

УДК 621.73: 621.762

## ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАКИРОВАНИЯ ПРОВОЛОКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПОРОШКАМИ В ПРОЦЕССЕ ВОЛОЧЕНИЯ.

О. М. ВАЛИЦКАЯ<sup>+</sup>, Ю. Л. БОБАРИКИН

Гомельский государственный политехнический университет им. П. О. Сухого, пр. Октября 48, 246029, г. Гомель, Беларусь.

*Определены оптимальные деформационные и силовые режимы процесса получения равномерного, тонкого, высокой плотности покрытия с хорошей адгезией, определены интенсифицирующие факторы, изучен механизм соединения металлов.*

### Введение

В промышленности используется большое количество проволоки, прутков, труб с покрытиями различного назначения. Нанесение покрытий не только улучшает эксплуатационные характеристики изделия, но и создает новые композиции, обладающие качественно новыми свойствами. Известны различные способы нанесения металлических покрытий на проволоку. Наиболее широкое применение нашли методы нанесения покрытий наплавкой, напылением, осаждением и др., которые характеризуются быстрым нагревом, расплавлением исходного материала, охлаждением. Такие способы, имея неоспоримые достоинства, не всегда приемлемы. Так, например, при этом невозможно нанести покрытия на основе композиционных материалов, при расплавлении материала покрытия не всегда сохраняются исходные технологические свойства порошков. В результате сплавления материала покрытия с материалом покрываемой поверхности-подложки в зоне сплавления может образовываться крупнозернистость, пережоги и др. нежелательные структуры [1]. Наиболее перспективными для дальнейшего развития являются способы нанесения порошковых покрытий плакированием, т. е. совместной пластической деформацией подложки и порошка покрытия с возможностью дополнительного термического воздействия без достижения в процессе образования слоя температуры плавления. Преимуществом таких покрытий является то, что они сохраняют исходные технологические свойства порошков.

Нанесение металлопорошкового покрытия на проволоку пластическим деформированием с одновременным ее волочением является перспективным, но малоизученным направлением в об-

ласти нанесения покрытий. Опираясь на существующие гипотезы соединения металлов в твердой фазе и на существующие технологии соединения металлов плакированием, было сделано предположение, что для соединения частичек порошка с подложкой и образования плотного близкого к компактному состоянию слоя покрытия, необходимо создать определенные условия. Необходимо сблизить контактируемые поверхности на расстояния, соизмеримые с параметрами кристаллической решетки, увеличить активность атомов кристаллической решетки, создать условия для протекания пластической деформации в зоне контакта, при этом должно произойти разрушение поверхностного слоя и образование ювенильных поверхностей.

Разработанную технологию условно можно представить в виде следующих этапов: поверхность проволоки подвергается предварительной подготовке, которая может включать термообработку, очистку от различного рода загрязнений, нанесение шероховатости; затем проволока проходит через насыпанный порошок и увлекается его силами трения в узел формирования покрытия – волоку; частицы порошка у входа в рабочий конус волоки уплотняются до состояния утряски, далее порошок начинает пластически деформироваться с образованием прочных связей между его частицами, а затем, если величина деформации обеспечит пластическую деформацию сердечника, происходит закрепление слоя покрытия на сердечнике.

### Постановка задачи

Для получения качественных плакированных изделий необходимо определить такие технологические режимы процесса, которые позволили бы получить равномерное тонкое, высокой плотности

<sup>+</sup> Автор, с которым следует вести переписку.

покрытие с хорошей адгезией. В этой связи необходимо было определить оптимальные деформационные и силовые режимы процесса, определить интенсифицирующие факторы, изучить механизм соединения материалов.

Решение этих задач даст возможность рационально и рентабельно использовать материалы, упростить в ряде случаев технологию, повысить производительность, заменить дорогостоящие материалы менее дефицитными, обеспечить экологическую чистоту производства.

Предлагаемый способ позволит разработать технологию для формирования покрытий различного назначения:

- лужение (олово прочно удерживает на своей поверхности лаки, эмали, краски, масла, улучшает способность стали к пайке), латунирование (покрытие из латуни повышает адгезию стали с резиной), меднение стальной проволоки (омедненная стальная проволока позволяет в некоторых случаях заменить дорогостоящую медную);
- лужение медной проволоки, применяемой для электротехнических целей;
- цинкование легированной стальной проволоки с целью формирования технологического подмазочного слоя, обеспечивающего дальнейшую пластическую деформацию проволоки – волочение, высадку и др.

Совершенствование процесса нанесения порошковых покрытий на длинномерные изделия является актуальной работой, отвечающей потребностям республики Беларусь в ресурсосберегающих, энергосберегающих, экологически чистых технологиях и новых материалах.

### Объекты и методы испытаний

В качестве исследуемых материалов были выбраны различные пары проволока–покрытие: стальная проволока 12Х18Н10Т, на которую наносилось покрытие из порошка цинка (ПЦ1 ГОСТ 12601-76); проволока из обычных конструкционных сталей, на которую наносились покрытия из порошков цинка, олова (ПО2 ГОСТ 9723-79), меди (ПМС-1, ПМС-Н ГОСТ 4960-75); проволока медная, химический состав которой регламентирует ГОСТ 859-78, с формированием на ее поверхности покрытия из порошка олова.

Для проведения экспериментов была сконструирована и изготовлена установка, состоящая из следующих основных узлов: волочильного стана барабанного типа с вертикальной осью волочения, ультразвукового генератора УЗГ 2-4М, колебательной системы, состоящей из магнитострикционного преобразователя ПМС 15А-18, волновода, волоки. Основой установки являлся специально сконструированный узел для формирования покрытия. Для принудительного транспортирования порошка и уплотнения у входа в рабочий конус волоки использовался электрический вибратор с

частотой колебаний 50 Гц. Подведение ультразвуковых колебаний в зону формирования покрытия позволяло интенсифицировать технологический процесс. Набор твердосплавных волок позволял изменять деформационные условия. Измерительными приборами фиксировали усилие волочения и другие параметры. Полученные в процессе экспериментальных работ образцы – стальные с цинковым и медные с оловянным покрытием – исследовались на металлографическом микроскопе, а также подвергались электротондovому микроанализу на электронном микроскопе «Райхерт» Me-Ф2.

Были подготовлены шлифы полированных без травления образцов, вставленных в круглую обойму диаметром 2–3 см.

### Обсуждение результатов экспериментов

Формирование покрытия, удерживаемого на поверхности проволоки, происходит при относительных степенях деформации от 3 до 10%. При степенях деформации ниже 3% покрытие плохо спрессовывается, практически не сцепляется с поверхностью проволоки. При степенях деформации выше 10% формируется очень тонкий слой покрытия, неравномерно распределенный по поверхности проволоки. На рис. 1 представлен график зависимости изменения толщины формируемого цинкового покрытия на стальной проволоке от величины относительной степени деформации.

В ходе эксперимента был проведен анализ эффективности применения различных смазочных покрытий при калибровке стальной проволоки 12Х18Н10Т с исходным диаметром 4 мм.

Известно, что прогрессивная технология холодной высадки коррозионностойких сталей для производства крепежных изделий требует предварительной калибровки проволоки. Существующие смазочные материалы плохо удерживаются на поверхности заготовки из указанных сталей, что приводит к дефектам поверхности из-за высокой

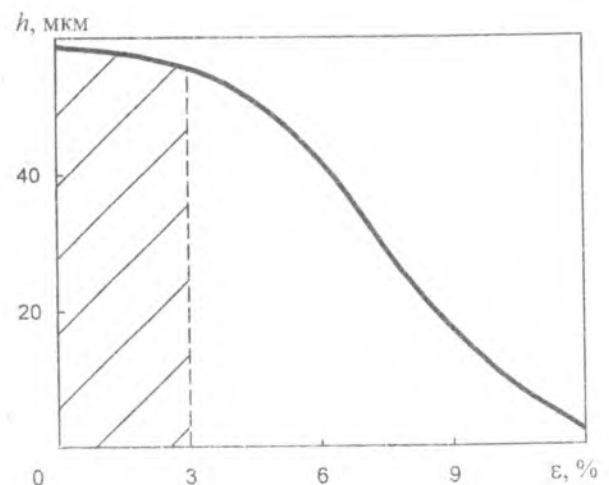


Рис. 1. Зависимость толщины покрытия от степени деформации при однократном обжатии

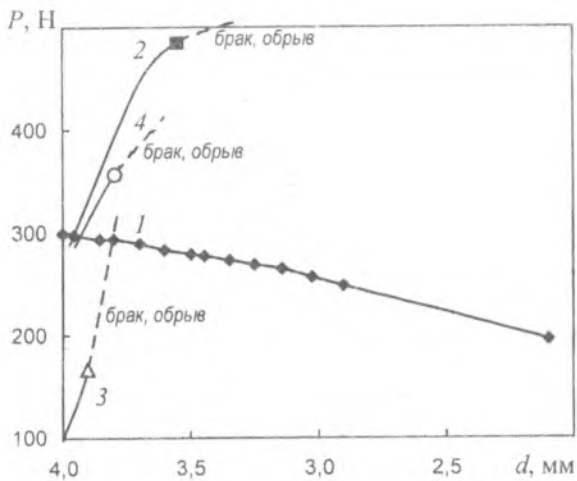


Рис. 2. Усилие волочения для стальной проволоки 12Х18Н10Т с исходным диаметром 4 мм: 1 – с цинковым покрытием, предварительно нанесенным из порошка волочением на очищенную от окалины после термообработки поверхность проволоки и 2 – на поверхность проволоки с окалиной, образовавшейся после термообработки; 3 – с порошком мыла, гольвивом или гудроном, нанесенными на поверхность термообработанной проволоки; 4 – без покрытия термообработанной проволоки

склонности стали к налипанию на инструмент. В качестве количественного критерия эффективности был выбран показатель – усилие волочения, качественным критерием служил визуальный осмотр поверхности проволоки после деформации.

На рис. 2 приведены усилия волочения для стальной проволоки в различных условиях волочения.

Волочение проволоки с цинковым покрытием, нанесенным на очищенную от окалины поверхность проволоки, обеспечивает стабильный процесс (калиброванная поверхность при этом остается гладкой, без видимых дефектов, с сохранением слоя покрытия), усилие волочения не возрастает на всем маршруте волочения. Для других образцов усилие волочения резко возрастает уже на первых переходах, и, кроме того, наблюдается обрыв либо задиры и другие дефекты поверхности проволоки, что не позволяет закончить заданный маршрут волочения. Значительное снижение усилия волочения образца 3, по сравнению с образцом 1 в начале маршрута, объясняется тем, что образец 1 подвергается волочению с одновременным формированием покрытия на первом переходе, что, естественно, требует дополнительного усилия.

Известно, что волочение стальной проволоки с промышленными скоростями приводит к разогреву поверхности инструмента и материала проволоки до 300–330 °С, поэтому был проведен эксперимент с искусственным нагревом инструмента – волюки до 300 °С.

Результаты показали, что цинковое покрытие значительно снижает усилие волочения (в 1,5–2 раза), по сравнению с другими смазочными покрытиями. При этом на калиброванной поверхно-

сти не обнаруживались дефекты.

Изучалась коррозионная стойкость покрытий, полученных из порошков цинка, олова, свинца на стальной проволоке в процессе волочения. Определено, что покрытия не отличаются по своей коррозионной стойкости от полученных другими известными способами, что говорит о хорошем качестве, высокой плотности полученных покрытий.

Влияние ультразвукового воздействия на качество получаемого покрытия, на силовые параметры процесса изучалось при получении порошковых припойных оловянных покрытий на медной проволоке.

Установлено, что обработка ультразвуком (мощность 3 кВт, частота колебаний до 20 кГц) повышает прочность сцепления покрытия с подложкой на 12–18%. Существенно снижается усилие волочения в процессе нанесения покрытия (до 30%). Оптимальная степень деформации для формирования покрытия и закрепления на подложке с целью дальнейшего обжатия составила около 3%.

Произведен общий обзор зоны соединения покрытия с подложкой с 200-кратным увеличением и электрозондовый микроанализ этой зоны [1], что позволило дать анализ качества покрытия, и определить механизм соединения материалов.

Были получены растровые изображения образцов в рентгеновских лучах (рис. 3, а) и отраженных (обратно рассеянных) электронах (рис. 3, б, в). Изображение на рис. 3, а состоит из отдельных точек, каждая из которых соответствует импульсу, возникающему в детекторе при попадании на него рентгеновского фотона. Участкам образца с высоким содержанием элемента соответствует много светлых точек. Растровое изображение образцов указывает на плотную связь между слоем покрытия и материалом подложки, но, в тоже время, указывает на отсутствие переходной зоны между слоями, т. е. на отсутствие диффузионной связи на границе соединяемых материалов. Исследуя образцы на отслоение порошкового покрытия, определена достаточно высокая его адгезия к поверхности проволоки. Это говорит о том, что между слоями имеется металлическая связь непосредственно в зоне их контакта. Изображение в отраженных электронах (рис. 3, б), указывает на формирование плотного беспористого покрытия, хорошо сцепленного с поверхностью подложки.

Соединение порошкового покрытия с подложкой достигается механическим зацеплением в результате затекания металла покрытия в канавки на поверхности подложки (рис. 3, в).

## Выводы

Определенные оптимальные деформационные и силовые режимы при плакировании проволоки волочением позволяют скомпактировать порошок в тонкий, но плотный беспористый слой и закрепить его на поверхности проволоки за счет

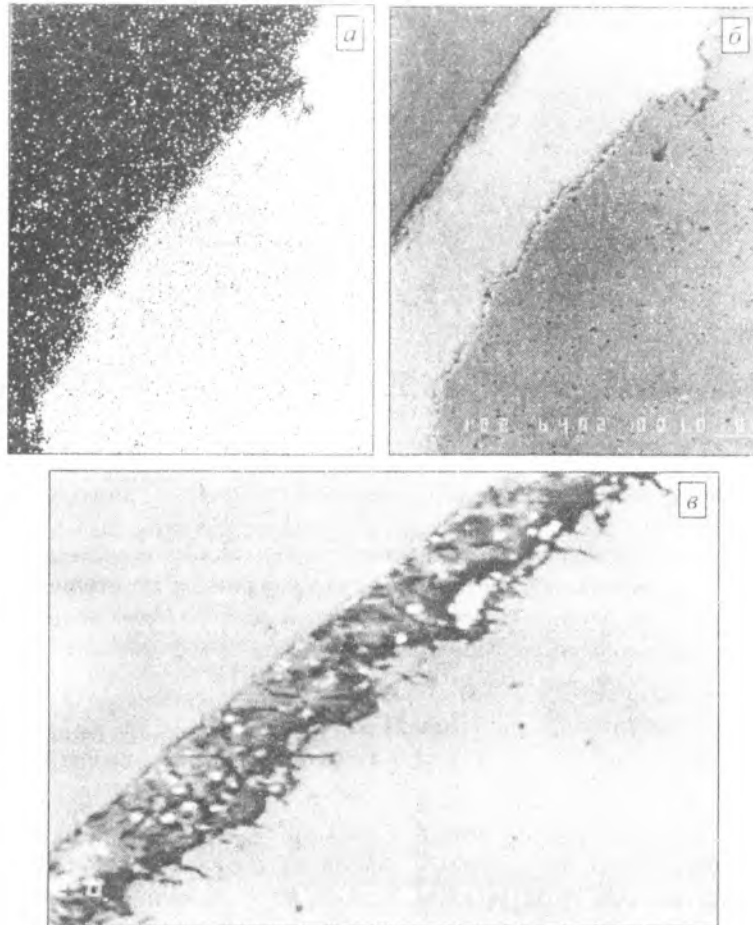


Рис. 3. Микроструктура зоны соединения покрытия из порошка олова на медной проволоке ( $\times 1000$ ): *a* – в рентгеновских лучах, *б* – в отраженных электронах; *в* – из порошка цинка на стальной проволоке ( $\times 1200$ )

образования металлической связи и механического сцепления. В качестве интенсифицирующего фактора можно рекомендовать «озвучивание» процесса.

Проведенные исследования позволяют расширить практическое применение процесса.

В результате проведенных экспериментов отработан режим обжатий для формирования качественного, прочно удерживаемого на поверхности проволоки покрытия, определена предпочтительность применения цинкового покрытия на легированной проволоке в качестве смазки по сравнению с традиционными смазочными материалами; оп-

ределена коррозионная стойкость покрытий; показана эффективность применения ультразвука как интенсифицирующего фактора, влияющего на качество получаемых покрытий; получены изображения микроструктуры зоны соединения между слоем покрытия и подложкой, позволяющие судить о качестве и механизме соединения.

#### Литература

1. Рид С. Электронный микроанализ. Москва: Мир (1979)

Valitskaya O. M., Bobarikin J. L.

**Technology of wire cladding by metal powders during drawing.**

Optimal deformational and power regimes for production of uniform thin high-density coating featuring high adhesion have been determined. There were also defined factors which activate the process. The mechanism of material junction was studied.

Поступила в редакцию 15.06.99.

© О. М. Валицкая, Ю. Л. Бобарикин, 1999.