

УДК 621.762

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЯ СЦЕПЛЕНИЯ МЕЖДУ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ СЛОЯМИ, СОЕДИНЯЕМЫМИ ПРОЦЕССОМ ПРОКАТКИ

Ю. Л. БОБАРИКИН<sup>+</sup>, Н. В. ИНОЗЕМЦЕВА, А. Н. ШВЕЦОВ

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, пр. Октября, 48, 246746, г. Гомель, Беларусь.

*Проанализирована возможность применения условия прочного сцепления между металлическими слоями, соединенными процессом прокатки при электроимпульсном спекании, которое учитывает влияние термомеханических воздействий на обрабатываемые материалы.*

### Введение и постановка задачи

В настоящее время существует множество методов получения слоистых металлов с порошковым слоем. Одними из них являются методы, использующие электроимпульсное воздействие. Они заключаются в электроконтактном спекании порошкового металлического материала и одновременном припекании его к поверхности стальной полосы. Они отличаются высокой производительностью и относительно малой энергоемкостью. Наиболее производительным из этих способов является прокатка полосы с насыпанным на ее поверхность порошком через два валька – электрода, между которыми пропускают электроток [1]. Разработана технология нанесения металлических порошковых покрытий на стальную полосу, заключающаяся в подготовке поверхности полосы, предварительной прокатке, прокатке с электроимпульсным воздействием и калибровке прокаткой [2]. Проблемы надежности соединения между слоем металлического покрытия и стальной основой при данном способе его получения достаточно актуальны, так как именно качество этого соединения во многом обеспечивает эксплуатационные характеристики получаемого материала.

При нанесении металлических порошковых покрытий на стальную полосу, материал основы должен быть менее пластичным, по сравнению с материалом покрытия. Выполнение данного условия исключает растрескивание покрытия.

Для исключения расслоений между слоями необходима релаксация внутренних напряжений в биметаллическом материале. Так как в условиях прокатки покрытие более пластично, чем основа, то достаточной является релаксация внутренних

напряжений в более мягком слое, т. е. в металлическом покрытии. Поэтому для получения качественного соединения необходимо выполнение условия:

$$t_d \geq t_a \geq t_p, \quad (1)$$

где  $t_d$  – время совместной пластической деформации или время перемещения биметаллического материала через зону деформации, с;  $t_a$  – время активации поверхности основы в зоне соединения, с;  $t_p$  – время релаксации остаточных напряжений в покрытии, с.

Время совместной пластической деформации определяется по зависимости:

$$t_d = \frac{l_d}{\vartheta_n}, \quad (2)$$

где  $l_d$  – длина очага деформации при прокатке, м;  $\vartheta_n$  – скорость процесса деформирования прокаткой, м/с.

Время активации поверхности стальной основы в зоне соединения определяется из обобщенной зависимости [3]:

$$t_a = \frac{2\sqrt{6}}{\pi} \sqrt{\frac{bt_d(\gamma_{\max} + 2)}{\gamma_{\max}(\gamma_{\max} + 1)\vartheta_{зв}} \exp\left(\frac{A}{kT}\right)}, \quad (3)$$

где  $\gamma_{\max}$  – максимальная угловая деформация на поверхности металлической основы в зоне соединения;  $b$  – вектор Бюргерса, м;  $\vartheta_{зв} = 5 \cdot 10^3$  м/с – скорость звука в материале, где движутся дислокации;  $k$  – постоянная Больцмана, Дж/К;  $T$  – абсолютная температура в очаге деформации, К;  $A$  – свободная энергия образования перегибов дислокаций, Дж [5].

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

Время релаксации внутренних напряжений в металлическом покрытии может быть определено из зависимости, приведенной в [4]:

$$t_p = t_0 \exp\left(\frac{U}{RT}\right), \quad (4)$$

где  $t_0$  – период собственных колебаний атомов около равновесного положения  $\approx 10^{-13}$  с;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $U$  – энергия активации процесса, контролирующего релаксацию внутренних напряжений в покрытии, Дж [6].

**Цель работы** – определение возможности использования зависимости (1) для прогнозирования наличия прочного сцепления между слоями биметаллического материала, получаемого способом, описанным в [2].

### Экспериментальное исследование

Экспериментальное исследование предлагаемой технологии проводили на специально сконструированной и изготовленной установке [2]. В качестве основы использовалась полоса стали 0,8кп с размером сечения  $15 \times 0,8$  мм. В качестве покрытия – металлический порошковый материал на основе железа. Толщина насыпанной порошковой шихты составляла 2 мм. Процесс электроимпульсного спекания осуществлялся при температуре 1300–1750 К и постоянном давлении 300 МПа. Средняя величина абсолютного обжатия при предварительной прокатке составляла 1,79...2,21 мм; скорость вращения валков-электродов 0,5...0,9 м/мин. В качестве варьируемых факторов приняты параметры технологического процесса:  $\varepsilon$  – степень деформации при предварительной прокатке и спекании;  $\vartheta_n$  – скорость вращения валков-электродов;  $T$  – температура электроимпульсного спекания. Совместное влияние варьируемых факторов на качество сцепления композиционного слоя с полосой – подложкой исследовали с помощью метода рототабельного планирования второго порядка [2]. В качестве исследуемой функции данного метода была выбрана величина угла изгиба полосы до появления отслоения металлического покрытия. Наличие сцепления проверяли методом перегиба полосы на угол  $\gamma$  до отслоения покрытия от основы.

В результате исследований была построена поверхность отклика. Сечения данной поверхности представлены на рис. 1 в виде двуполостных гиперболоидов.

Из анализа рис. 1 следует, что оптимальными параметрами исследуемого процесса являются: среднее абсолютное обжатие материала при предварительной прокатке и спекании – 1,65...1,86 мм, скорость вращения валков – электродов – 0,8...0,9 м/мин, температура электроимпульсного спекания – 1500 К. В данных условиях при достижении значения  $\gamma = 180^\circ$  отслоения покрытия от металлической полосы-подложки не наблюдалось.

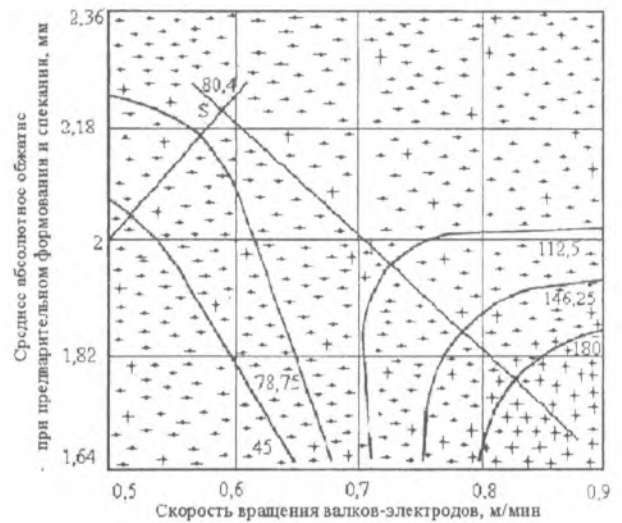


Рис. 1. Сечения поверхности отклика

Согласно формулам (2)–(4), с учетом технологических режимов принятых при экспериментальных исследованиях, было рассчитано условие сцепления (1).

Знак «+» на рис. 1 соответствует тому случаю, когда расчетное условие (1) выполняется, знак «-» – условие (1) не выполняется.

В диапазоне оптимальных параметров процесса, исходя из рис. 1, условие (1) преимущественно выполняется, что указывает на взаимосвязь аналитических зависимостей с экспериментальными исследованиями качества сцепления.

Величина угла перегиба не отражает микроструктурные характеристики зоны соединения, а оценивает лишь качественно свойства соединения.

Для оценки характера микроструктуры зоны соединения проведены ее микроструктурные исследования.

Полученные образцы изучались металлографическим способом, который позволял оценить наличие или отсутствие соединения металлического покрытия с основой. Качество получаемых плакированных соединений исследовалось методом внешнего осмотра и на микроскопе МНР-2 (рис. 2)

Анализ микроструктуры зоны показывает наличие качественного соединения для образцов, имеющих угол изгиба  $180^\circ$  и выше (рис. 2, а), где преимущественно выполняется условие (1). На рис. 2, б отображена зона соединения металлического покрытия с подложкой, получаемая вне оптимального диапазона.

Проведенные исследования показали возможность практического использования аналитических зависимостей для оценки качества сцепления покрытия с подложкой для исследованного способа его нанесения.

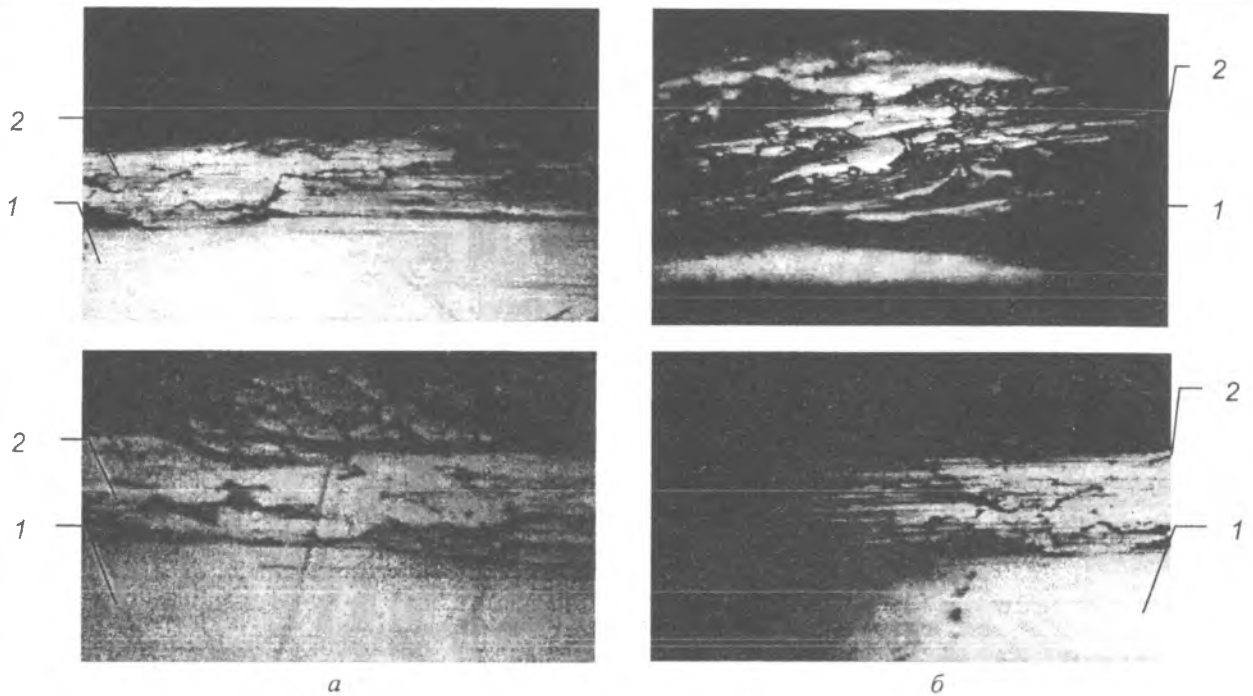


Рис. 2. Микроструктура зоны соединения при плакировании прокаткой: 1 – основа, 2 – покрытие

## Выводы

В результате проведенных исследований проанализировано условие прочного сцепления между металлическими слоями, соединенными процессом прокатки с электроимпульсным воздействием, которое учитывает влияние термомеханических воздействий на обрабатываемые материалы. Определена возможность применения данного условия к способу [2] его получения. Полученное условие соединения позволит повысить эффективность исследуемого процесса за счет правильного выбора режимов плакирования, удовлетворяющих условию (1), параметры которого определяются по формулам (2), (3) и (4).

## Литература

1. Ковтун В. А., Плескачевский Ю. М. Триботехнические покрытия на основе порошковых медно-графитовых систем. – Гомель: ИММС НАНБ. – 1998
2. Бобарикин Ю. Л., Швецов А. Н., Селивончик Н. В., Шишков С. В. Технология нанесения порошковых покрытий на стальную полосу // Кузнечно-штамповочное производство. – 2003, № 16, 30–33
3. Бобарикин Ю. Л., Селивончик Н. В., Швецов А. Н. Аналитическое определение времени активации контактных поверхностей при плакировании // Кузнечно-штамповочное производство. – 2002, № 11, 27–31
4. Каракозов Э. С., Орлова Л. М., Пешков В. В. Диффузионная сварка титана. – М.: Металлургия. – 1977
5. Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. Пер. с англ. под ред. Э. М. Надгорного и Ю. А. Осипяна. – М.: Атомиздат. – 1972
6. Гарафало Ф. Законы ползучести и длительной прочности металлов и сплавов. Пер. с англ. – М.: Металлургия. – 1968

Bobarikin Yu. L., Inozemtseva N. V., and Shvetsov A. N.

**Research of the condition of adhesion between the metallic layers connected by rolling process.**

The opportunity of application of a condition of strong adhesion between the metallic layers connected by rolling process at electropulse sintering which takes into account the effect of thermomechanical action on work materials was analyzed.

Поступила в редакцию 22.03.2004.

© Ю. Л. Бобарикин, Н. В. Иноземцева, А. Н. Швецов, 2005.