

По результатам визуальной оценки исходных образцов и после экспозиции в воде можно отметить, что в образцах с 80 мас. % наполнением связующее распределено недостаточно равномерно. Это позволяет предположить, что при изготовлении таких образцов необходимо введение функциональных добавок, обеспечивающих улучшение технологических параметров переработки композитов. Для этого требуются дополнительные исследования, что указывает на перспективность проводимых работ.

Экспериментально показано, что биоразлагаемые композиты на основе полилактида, высоконаполненные лигноцеллюлозными (50–70 мас. %) частицами возможно перерабатывать методом экструзии с последующим пласт-формованием в изделия. Оценка устойчивости композита к водопоглощению свидетельствует о возможности их применения для получения отделочных материалов в машиностроении.

### **Список литературы**

- 1 Сроки разложения бытовых отходов [Электронный ресурс] // Электронная экологическая библиотека. – 2021. – Режим доступа : <https://ecology.aonb.ru/sroki-razlozhenija-bytovyh-otvodov.html>. – Дата доступа : 17.05.2021.
- 2 Крутъко, Э. Т. Технология биоразлагаемых полимерных материалов : учеб.-метод. пособие / Э. Т. Крутъко, Н. Р. Прокопчук, А. И. Глоба. – Минск : БГТУ, 2014. – 105 с.
- 3 Все о биоразлагаемых пластиках. Мировой рынок биополимеров – 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ect center.com/blog/biodegradable-polymers>. – Дата доступа : 23.05.2021.

УДК 621.762

## **ЗАВИСИМОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОЙСТОГО МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА С ДИСПЕРСНЫМ ПОРОШКОВЫМ СЛОЕМ ОТ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ**

*А. Н. ШВЕЦОВ, Ю. Л. БОБАРИКИН*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
Республика Беларусь*

Одним из перспективных методов нанесения износостойких порошковых покрытий является метод электроимпульсного спекания [1–3]. Он заключается в электроконтактном припекании порошкового материала к поверхности стальной полосы. В зону припекания порошок подается в свободно-насыпанном состоянии, где он одновременно спекается в слой покрытия и припекается к поверхности полосы. Полосы с покрытием используются для дальнейшего изготовления из них подшипников скольже-

ния различных конструкций. Основными преимуществами этого метода являются: высокая производительность, низкая энергоёмкость, возможность получения спечённых изделий с незначительной пористостью. Основная проблема этой технологии заключается в достижении требуемых прочностных свойств композита в зависимости от технологических режимов. Прочностные свойства слоистого композита определяются величиной угла перегиба, при котором наступает разрушение материала.

Цель данной работы – получение зависимости технологических свойств слоистого металлополимерного материала с дисперсным порошковым слоем от режимов электроимпульсной обработки

Получение слоистого композита имеет следующие этапы:

1 Подготовка поверхности полосы-подложки. Для увеличения адгезионного взаимодействия «сырого» слоя и полосы-подложки, а также исключения применения специальных флюсов при спекании, полоса-подложка подвергается механической обработке. На ней создается с помощью металлических щеток шероховатость ( $Rz$  60).

2 Предварительное формование. На стальной полосу-подложку насыпается слой порошковой шихты и прокатывается между двумя прокатными валками на прокатном стане. Для обеспечения точной дозировки шихты используется дозирующее устройство. Метод предварительного формования позволяет избежать выноса ферромагнитных порошков из зоны контакта при последующем спекании, т. к. ферромагнитные включения находятся в спрессованном состоянии.

3 Электроимпульсное спекание. Полоса с «сырым» слоем прокатывается между двумя прокатными валками-электродами, подключёнными к сварочному трансформатору. Эта операция обеспечивает спекание «сырого», предварительно спрессованного порошкового слоя и одновременно его припекания к поверхности стальной полосы.

4 Калибровка прокаткой. Завершающей операцией является калибровка путём прокатки полосы в размер.

В качестве материала-покрытия для проведения экспериментов по данной технологии использован композиционный материал, включающий в себя порошковые компоненты: 70 мас. % Fe, 7–10 мас. % Cu, 5–10 мас. % Ni, 5–10 мас. % Sn и 10–15 мас. % омеднённого графита.

Для определения оптимальных технологических режимов получения композиционного покрытия на металлической матрице с ферромагнитными порошковыми компонентами использован статистический метод планирования многофакторного эксперимента [4]. В качестве исследуемой функции отклика был выбран качественный критерий – проверка на адгезию композиционного слоя с полосой-подложкой методом перегиба ( $\alpha^\circ$ ) и визуальная оценка отсутствия выноса ферромагнитных компонентов из зоны формирования покрытия, а в качестве варьируемых факторов – параметры технологического процесса: среднее абсолютное обжатие при предварительном

формовании и спекании ( $X_1$ ); скорость вращения валков-электродов ( $X_2$ ); и сила тока спекания ( $X_3$ ).

Исследовались образцы с материалом полосы-подложки сталь 08kp, шириной полосы 15 мм и уровнем насыпки порошковой шихты 2 мм. Электроимпульсное спекание проводилось при постоянном давлении 200 МПа, обеспечивающим плотный электроконтакт.

Предварительно методом «крутого восхождения» с учётом технических характеристик экспериментальной установки была экспериментально определена область изменения интервалов варьирования. Дальнейшее исследование совместного влияния варьируемых факторов  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  на качество адгезии композиционного слоя с полосой подложки проводилось с помощью метода ротатабельного планирования второго порядка.

Согласно ротатабельному плану эксперимента было проведено 20 опытов, каждый из которых осуществлялся трижды.

Для проверки однородности дисперсий параллельных опытов использовался критерий Кохрена. Гипотеза об однородности дисперсий была подтверждена при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ , что позволяет использовать регрессионный анализ и провести статистическую обработку полученных результатов эксперимента. Проверка адекватности математической модели проводилась с помощью F-критерия Фишера для уровня значимости  $\alpha = 0,05$ .

После обработки экспериментальных данных и с учётом значимости коэффициентов уравнения регрессии, которая проверялась по t критерию Стьюдента для уровня значимости  $\alpha = 0,05$ , было получено уравнение регрессии, отражающее влияние факторов на исследуемую функцию:

$$\begin{aligned} a^0 &= -1562,05 + 1526,8X_1 - 1817,2X_2 + 78,7X_3 + 83,3X_1X_2 - \\ &- 4,8X_1X_3 + 16,7X_2X_3 - 366,9X_1^2 + 757,3X_2^2 - 1,9X_3^2. \end{aligned} \quad (1)$$

На основании анализа уравнения (1) можно сделать следующие выводы: адгезия композиционного слоя с полосой-подложкой зависит от среднего абсолютного обжатия материала при предварительном формировании и спекании  $X_1$ , скорости вращения валков-электродов  $X_2$  и силы тока спекания  $X_3$  по квадратичной зависимости.

Анализ результатов эксперимента позволяет определить режимы процесса, обеспечивающие угол перегиба  $180^\circ$ , который на основании экспериментальных данных является достаточным условием отсутствия разрушения после последующей штамповки подшипников скольжения из получаемого полосового материала.

После анализа результатов математического планирования эксперимента и на основании проведённых экспериментов можно определить следующие оптимальные режимы процесса, обеспечивающие угол перегиба  $180^\circ$ :

1 Среднее абсолютное обжатие материала при предварительном формировании и спекании: 1,65–1,86 мм.

2 Скорость вращения валков-электродов: 0,8–0,9 м/мин.

3 Сила тока спекания: 19 кА.

## Список литературы

- 1 **Ковтун, В. А.** Триботехнические покрытия на основе порошковых медно-графитовых систем / В. А. Ковтун, Ю. М. Плескачевский. – Гомель : ИММС НАНБ, 1998. – 148 с.
- 2 **Ярошевич, В. К.** Электроконтактное упрочнение / В. К. Ярошевич, Я. С. Генкин, В. А. Верещагин. – Минск : Наука и техника, 1982. – 250 с.
- 3 **Дорожкин, Н. Н.** Получение покрытий методом припекания / Н. Н. Дорожкин, Т. М. Абрамович, В. И. Жорник. – Минск : Наука и техника, 1980. – 176 с.
- 4 **Тихомиров, В. Б.** Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

УДК 621. 762

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА И КОБАЛЬТА

*A. Н. ШВЕЦОВ, С. В. ШИШКОВ*

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

Процесс свивки металлокорда выполняется на канатных машинах, имеющих узлы, работающие в условиях трения скольжения. При этом элементы узлов трения (подшипники скольжения, торцевые антифрикционные шайбы, подтормаживающие фрикционные детали) имеют свой определенный ресурс работы, установленный предприятием – производителем канатных машин. В настоящее время на ОАО «Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания» в качестве фрикционных дисков для работы кабестанов (рисунок 1) используют бронзу марки БрОФ10-1, которая имеет нестабильный коэффициент трения и повышенный износ.

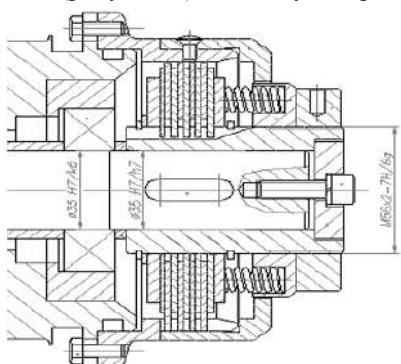


Рисунок 1 – Чертёж кабестана

Для повышения качества технологического процесса получения свивки металлокорда необходимым условием является применение новых материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Особое место занимают порошковые композиционные материалы и покрытия, позволяющие получать широкий диапазон эксплуатационных свойств. По сравнению с другими композиционны-