

УДК 621.793

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКОЙ

Л. М. АКУЛОВИЧ, А. В. МИРАНОВИЧ, А. М. ЕФИМОВ

Учреждение образования

«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Минск, Беларусь

Известно, что различие режимов работы импульсных источников электрического и магнитного полей в устройствах для электромагнитной наплавки [1] не позволяет синхронизировать во времени подачу в рабочую зону импульсов магнитной энергии и разрядного тока. Вследствие этого нарушается устойчивость и стабильность процесса наплавки, что отражается на качестве покрытий [2].

Цель исследований – повысить стабильность качества покрытий, полученных электромагнитной наплавкой, путем стабилизации магнитной составляющей при энергетическом воздействии.

Исследование проводилось на образцах с покрытиями из композиционных порошков H70X17C4P4, Fe – 5 % V и ФБХ 6-2, полученными наплавкой с использованием установок с магнитными системами (МС) на электрических магнитах (ЭМ) и постоянных (ПМ).

Для нанесения покрытий в переменном магнитном поле использовалась установка ЭУ-5 с ЭМ. Для наплавки в постоянном магнитном поле использовалась установка УНП-1 с ПМ. В качестве источника технологического тока использовался сварочный инвертор Invertec V270-T, микропроцессорная система управления которого позволяла устанавливать ток наплавки в диапазоне 50 ... 270 А. Режим наплавки варьировался в следующих пределах: плотность разрядного тока  $i - 1,8 \dots 2,4 \text{ А/мм}^2$ ; расход композиционного порошка  $q_{\text{п}} - 2,30 \dots 3,20 \text{ г/с}\cdot\text{мм}^2$ ; окружная скорость заготовки  $V - 0,08 \dots 0,1 \text{ м/с}$ ; магнитная индукция в рабочем зазоре  $B - 0,15 \dots 0,95 \text{ Тл}$ ; скорость подачи  $S - 0,20 \dots 0,35 \text{ мм/об}$ ; расход рабочей жидкости  $q_{\text{ж}} - 0,50 \dots 3,20 \cdot 10^{-3} \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{мм}^2)$ . Для определения оптимальных режимов наплавки использовался комплексный показатель [1], в качестве которого была принята обобщенная функция желательности Харрингтона [3].

Изучение открытой пористости образцов проводилось на автоматическом анализаторе изображения «Mini MagiScan» фирмы «Joyce Loebel». Трещинообразование оценивалось с помощью микроскопа. В качестве количественного критерия принималась удельная длина трещин на поверхности площадью  $1,0 \text{ мм}^2$ .

Анализ результатов исследований показал (табл. 1), что открытая пористость покрытий, полученных наплавкой на установках с МС на ЭМ и ПМ, находится в пределах 4,0 ... 12,0 % и 2,0 ... 9,0 % соответственно.

Табл. 1. Открытая пористость покрытий из композиционных порошков

Материал покрытия	Открытая пористость, %					
	min	max	средняя	min	max	средняя
	Наплавка с применением ЭМ			Наплавка с применением ПМ		
H70X17C4P4	4,0	8,0	6,0	3,0	6,0	4,5
Fe-5 %V	6,0	11,0	8,5	5,0	9,0	7,0
ФБХ-6-2	4,0	7,5	5,5	2,0	5,0	3,5

Сравнение результатов исследований (табл. 2) показало, что покрытия, полученные наплавкой на установках с МС на ЭМ и ПМ, имеют различную удельную длину трещин. В покрытиях, полученных с использованием ПМ, удельная длина трещин уменьшается в 1,75 ... 2,2 раза.

Табл. 2. Трещинообразование покрытий из композиционных порошков

Исследуемый параметр	H70X17 C4P4	Fe-5 % V	ФБХ-6-2	H70X17 C4P4	Fe-5 % V	ФБХ-6-2
	Наплавка с применением ЭМ			Наплавка с применением ПМ		
Удельная длина трещин, мкм/мм <sup>2</sup>	35,0	70,0	90,0	20,0	35,0	40,0

В результате проведенных исследований установлено, что меньший предел значений открытой пористости и трещинообразования покрытий, полученных наплавкой с применением ПМ, обеспечивается за счет уменьшения градиента плотности подводимого теплового потока и скорости охлаждения покрытий. Это достигается при следующем режиме наплавки:  $q_{ж} = 2,30 \cdot 10^{-3} \text{ дж}^3 / (\text{с} \cdot \text{мм}^2)$ ;  $i = 1,65 \text{ А/мм}^2$ ;  $S = 0,25 \text{ мм/об}$ ;  $B = 0,20 \text{ Тл}$ ;  $V = 0,055 \text{ м/с}$ ;  $q_{п} = 2,85 \text{ г/с} \cdot \text{мм}^2$ .

На основании полученных результатов исследований структуры и свойств покрытий можно сделать следующие выводы.

1. Использование постоянных магнитов в устройствах электромагнитной наплавки стабилизирует технологические параметры процесса и улучшает качество покрытий.

2. Показано, что открытая пористость покрытий, полученных наплавкой с использованием установок с МС на ЭМ и ПМ, находится в пределах 4,0 ... 12,0 % и 2,0 ... 9,0 % соответственно.

3. Выявлено, что у покрытий, полученных наплавкой на установке с МС на ПМ по сравнению с МС на ЭМ, удельная длина трещин уменьшается в 1,75 ... 2,2 раза, что объясняется увеличением длительности сохранения жидкой фазы в процессе кристаллизации каплей расплава порошков в условиях ее скоростного охлаждения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулович, Л. М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле / Л. М. Акулович. – Полоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.
2. Использование постоянных магнитов в устройствах электромагнитной наплавки / Ж. А. Мрочек [и др.] // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 75–84.
3. Ящерицын, П. И. Планирование эксперимента в машиностроении / П. И. Ящерицын, Е. И. Махаринский. – Минск: Выш. шк., 1985. – 236 с.