

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАПЛАВКИ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ НА ПОРИСТОСТЬ ПОКРЫТИЙ

*Акулович Л.М., д.т.н., профессор; Миранович А.В., инженер  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск*

Актуальной проблемой в машиностроительном и ремонтном производстве является улучшение качества, повышение надежности и долговечности быстроизнашивающихся деталей машин и механизмов. Это обуславливает необходимость совершенствования существующих и разработки принципиально новых технологических способов упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей, их освоение в производстве. Эффективными способами упрочнения и восстановления деталей машин являются электрофизические, основанные на концентрации энергии в пространстве и во времени. К их числу относится и наплавка в электромагнитном поле [1].

Известно [2], что для обеспечения стабильного процесса наплавки в электромагнитном поле необходимо выполнение основных условий – взаимная направленность технологического тока и магнитной индукции электромагнита, согласованность частоты и фазы следования импульсов напряжений электромагнита, источника технологического тока с дозированной подачей ферромагнитного порошка в рабочий зазор. Анализ технологических схем показал, что используемые на практике электромагнитные системы устройств наплавки в электромагнитном поле достаточно сложны в управлении и не в полной мере обеспечивают синхронную во времени работу источников внешнего электромагнитного поля и технологического тока, бункера-дозатора [2, 3]. Недостаточно дозированная подача порошка в потоке смазочно-охлаждающей жидкости и частично несовпадающие импульсы напряжений электромагнита и источника технологического тока приводят к уменьшению интенсивности расплава и, соответственно, увеличению количества частиц ферромагнитного порошка, не участвовавших в разрядах. Вследствие этого нарушается устойчивость и снижается производительность процесса наплавки. Это обстоятельство не позволяет получать качественное покрытие из-за недостаточной сплошности и повышенной пористости наплавленного слоя [3].

**Цель исследований** – исследование влияния стабилизированных технологических параметров наплавки в пульсирующем и постоянном магнитных полях на пористость и трещинообразование покрытий.

**Оборудование и методика исследований.** Изучение влияния переменного и постоянного магнитных полей в рабочей зоне при наплавке в электромагнитном поле на открытую пористость и трещинообразование покрытий проводилось на образцах с покрытиями, полученными при оп-

тимальных условиях и режимах наплавки с использованием установок с магнитными системами (МС) на электро- и постоянных магнитах (ПМ).

Для нанесения покрытий в переменном магнитном поле использовалась установка ЭУ-5 с ЭМ, выполненная по однополюсной схеме. Для наплавки в постоянном магнитном поле использовалась установка с магнитной системой на постоянных магнитах УНП-1. В качестве источника технологического тока использовался сварочный инвертор Invertec V270-T, у которого микропроцессорная система управления позволяла плавно настраивать сварочный ток в широком диапазоне 5 ... 270 А. Режим наплавки, принимался на основе данных источника [3] и варьировался в зависимости от материала используемого порошка в следующих пределах: плотность разрядного тока  $i - 1,8 \dots 2,4 \text{ А/мм}^2$ ; расход композиционного порошка  $q - 0,30 \dots 0,40 \text{ г/с}\cdot\text{мм}^2$ ; окружная скорость заготовки  $V - 0,08 \dots 0,1 \text{ м/с}$ ; магнитная индукция в рабочем зазоре  $B - 0,05 \dots 0,20 \text{ Тл}$ ; скорость подачи  $S - 0,20 \dots 0,35 \text{ мм/об}$ ; расход рабочей жидкости  $q - 2,50 \dots 3,20 \cdot 10^{-3} \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{мм}^2)$ .

Изучение открытой пористости образцов проводилось на поверхности покрытий нетравленных микрошлифов. Исследование выполнялось на автоматическом анализаторе изображения «Mini MagiScan» фирмы «Jouice Loebel» с компьютерной обработкой данных по программе количественного анализа. Определение пористости покрытий и размера пор состояло из следующих этапов: калибровка и фиксация изображения; сегментирование; выбор необходимых измерений.

Трещинообразование оценивалось с помощью микроскопа. В качестве количественного критерия принималась удельная длина трещин на поверхности площадью  $1,0 \text{ мм}^2$ . Исследование трещинообразования выполнялось в следующем порядке: вначале измерялась видимая площадь поверхности микрошлифа покрытия под окуляром; затем определялась длина трещин посредством перемещения стола с образцом вдоль направления трещин относительно перекрестья окуляра микроскопа.

С использованием указанных видов магнитных систем были нанесены покрытия из композиционных порошков Fe - 2%V, Fe - Ti и ФБХ 6-2 для каждого вида магнитной системы (по пять образцов для каждого опыта). Образцы представляли собой кольца ( $D \times d \times h$ )  $40 \times 16 \times 12 \text{ мм}$  из стали 45 ГОСТ 1050-88, микроструктура которых в исходном состоянии - смесь феррита и сорбитообразного перлита.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Анализ результатов исследований распределения пор по глубине покрытий (рис. 1) показал, что наибольшая пористость находится на границе покрытия и основы. Это объясняется тем, что в процессе нанесения покрытий происходит захлопывание газа каплями расплава порошка на поверхности детали и усадка при переходе жидкой фазы в твердую в результате уменьшения растворимости газов при отводе тепла в основу.

В большинстве случаев на границе покрытия и основы фиксируются шаровидные поры размером 10 ... 20 мкм (рис. 2). Следует отметить, что повышенная пористость наблюдается и в поверхностных слоях покры-

тий. В большей степени она выражена для покрытия, полученного наплавкой порошка Fe-Ti, в меньшей – для покрытия из порошка ФБХ-6-2. При этом открытая пористость образуется по границам застывших капель расплава порошка в виде продолговатых округлых пор. Поры размером 20 ... 30 мкм распределены по поверхности покрытия неравномерно.

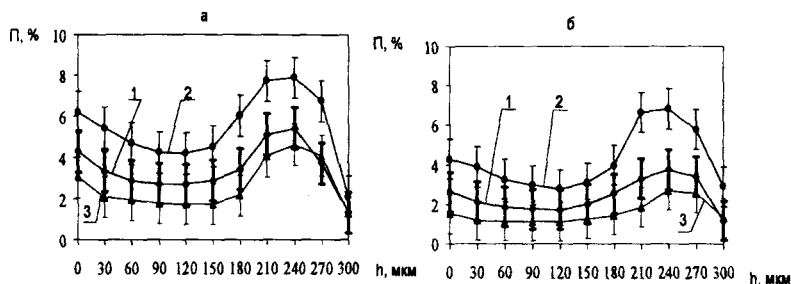


Рис. 1. Распределение пористости по глубине покрытий, полученных наплавкой с использованием МС на ЭМ (а) и ПМ (б) композиционных порошков (1 – Fe-2%V; 2 – Fe-Ti; 3 – ФБХ-6-2)



Рис. 2. Фотографии пористой микроструктуры покрытий, полученных наплавкой композиционного порошка Fe – Ti ( $\times 200$ ) с ЭМ (а) и ПМ (б)

Таблица 1

Открытая пористость покрытий из композиционных порошков

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

Анализ результатов исследований показал (таблица 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. Это свидетельствует о работоспособности покрытий, в особенности, при трении с ограниченной смазкой, так как поры являются аккумуляторами смазочного материала.

Наряду с пористостью одним из факторов влияющих на работоспособность покрытий является трещинообразование. Сопоставление микроструктур (рис. 3) показало, что в покрытиях, полученных наплавкой на установке с МС на ЭМ, наблюдаются отдельные поперечные микротрещины, которые выходят на поверхность или сохраняются в теле покрытий. Причиной их появления является возникновение остаточных напряжений в результате неравномерного разогрева и охлаждения покрытий, а также фазовых превращений, сопровождающихся искажением кристаллической решетки. Для покрытий, полученных наплавкой на установке с МС на ПМ, характерно наличие небольшого количества поперечных микротрещин, находящихся в теле покрытия и локализованных в пределах капель расплава частиц порошка.



Рис. 3. Фотографии микроструктуры покрытий с трещинами на поверхности (а) и в покрытии (б), полученных наплавкой композиционного порошка Fe-2%Ti ( $\times 200$ ) с ЭМ

При этом сравнение результатов исследований (таблица 2) показало, что покрытия, полученные наплавкой на установках с МС на ЭМ и ПМ, имеют различную удельную длину трещин. Так, в покрытиях, полученных с использованием ПМ, удельная длина трещин уменьшается в 1,75 ... 2,2 раза, что, очевидно, объясняется увеличением длительности сохранения жидкой фазы в процессе кристаллизации капель расплава порошков в условиях ее скоростного охлаждения [1].

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: расход рабочей жидкости  $q = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{мм}^2)$ ; плот-

ность разрядного тока  $i = 1,65 \text{ А/мм}^2$ ; величина рабочего зазора  $\delta = 1,5 \text{ мм}$ ; скорость подачи  $S = 0,15 \text{ мм/об}$ ; окружная скорость заготовки  $V = 0,050 \text{ м/с}$ ; расход порошка  $q = 2,75 \cdot 10^{-3} \text{ г/с}\cdot\text{мм}^2$ .

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

1. Электромагнитная система устройства наплавки в электромагнитном поле на основе постоянных магнитов 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 капель расплава порошков в условиях ее скоростного охлаждения.

### Литература

1. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.

2. Ракомсин, А. П. Упрочнение и восстановление изделий в электромагнитном поле / под ред. П. А. Витязя. – Мн.: Парадокс, 2000. – 201 с.

3. Использование постоянных магнитов в устройствах электромагнитной наплавки / Ж.А. Мрочек [и др.] // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 75 – 84.

4. Горелик, С. С. Рентгеноструктурный и электронно-оптический анализ / С. С. Горелик и др. – М.: МИСИС, 1994. – 328 с.

УДК 631.3:658.34

## ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА ОПЕРАТОРА МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

*Агейчик В.А., к.т.н., доцент; Мисун А.Л.*

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск*

Известно, что при работе агрегатов в запыленной среде в кабине трактора, например, конструкции МТЗ, увеличивается концентрация пыли и загрязняемость пола кабины. Дополнительно загрязняет пол кабины и сам механизатор. При выполнении агротехнических операций он несколько раз за смену выходит из кабины и обслуживает агрегат. И как