УДК 621.3.032.5

А.Ю. Коннов, Н.М. Юнусбаев, М.З. Нафиков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ НАПЕКАНИЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Ключевые слова: электроконтактное напекание; комбинированная присадка; контейнер; металлический порошок; пористость.

Введение. Эффективными способами восстановления наружных цилиндрических поверхностей с небольшими, не превышающими 0,8...1 мм на сторону, износами являются основанные на методе шовной сварки электроконтактные способы. Достоинства этих технологий общеизвестны: возможность формировать ровное, термомеханически упрочненное металлопокрытие с минимальными припусками на последующую механическую обработку; малая зона термического влияния и отсутствие выгорания легирующих элементов; благоприятные санитарно-гигиенические условия работы оператора-наплавщика и др. [1, 2]. В качестве присадочных материалов применяются стальные ленты и проволоки, а также металлические порошки, их сочетания. Применение металлических порошков для восстановления наружных цилиндрических поверхностей деталей сельскохозяйственной техники в большинстве случаев экономически и технологически нецелесообразно. Предварительное брикетирование присадочных порошков осложняет технологический процесс; кроме того, в состав такой комбинированной присадки входят вредные химические вещества. Толщина и плотность металлопокрытия при напекании металлических порошков плохо регулируются, так как затруднительно обеспечить равномерную с необходимым расходом подачу порошка в зону приварки. Многочисленные конструкции дозирующих устройств неэффективны. Определение пористости напеченного слоя металлографическими исследованиями является сложным и трудоемким процессом.

Детали машин пищевой и перерабатывающей промышленности изготавливаются из коррозионно-стойких сталей аустенитного класса. Для их восстановления необходимо применять присадочные материалы того же химического состава, что и материалы реставрируемых деталей: 12Х18Н10Т, 10Х14Г14Н4Т, 12Х17Г9АН4, 08Х22Н6Т, 15Х25Т, 12Х18Н9Т и др. К числу данных деталей относятся и такие

быстроизнашивающиеся детали, как плунжеры гомогенизаторов молока. В процессе эксплуатации они контактируют с агрессивными технологическими средами – молоком, молочными продуктами, солодом, винами и т. д. Известно [3, 4], что присадочные ленты и проволоки из высоколегированных пищевых сталей электроконтактными способами плохо привариваются, в металлопокрытии образуется большое число микротрещин – очагов последующего эрозионного разрушения агрессивными средами. Валы машин пищевого и перерабатывающего оборудования, изготавливаемые из высоколегированных пищевых сталей, весьма дорогие. Цены на такие детали, особенно импортного производства, могут достигать десятков тысяч рублей. Нам видится эффективным и экономически целесообразным применение металлических порошков для восстановления таких дорогих деталей, особенно если удастся минимизировать или исключить потери присадочных порошков при их напекании.

Задачи исследования: 1) разработать новый вид присадки на основе порошка из пищевых сталей, исключающий его потери при электроконтактном напекании; 2) разработать оперативный способ определения пористости формируемого металлопокрытия.

Материалы и оборудование. Была разработана новая комбинированная присадка, представляющая собой контейнер прямоугольной формы, выполненный из стальной сетки [5]. Внутри контейнера 1, показанного на рисунке 1, помещаются металлические порошки. Габаритные размеры контейнера A и B соответствуют размерам восстанавливаемой поверхности вала, объем порошка соответствует требуемой толщине металлопокрытия, а размеры частиц порошка 2 превышают просветы ячейки сетки. Высота контейнера, как установлено опытным путем, должна быть приблизительно в 2–2,5 раза больше требуемой толщины металлопокрытия.

Рисунок 1

Комбинированная присадка: 1 – прямоугольный контейнер; 2 – стальная сетка; 3 – проволоки сетки; 4 – просветы сетки; 5 – металлические гранулы; 6 – металлический порошок

Контейнер 1 крепится в 2–3 местах на восстанавливаемой поверхности вала, затем присадка приваривается к валу импульсами тока. Винтовой сварочный шов формируется с 10...15 %-ным перекрытием смежных витков. После напекания металлопокрытие механически обрабатывается на требуемый размер. В наших опытах контейнеры изготавливались из тканой металлической сетки из стали марки 12Х18Н10Т ГОСТ 18143-72 с размерами ячейки 0,25 × 0,25 мм и толщиной проволоки 0,25 мм. В контейнеры засыпалась смесь металлических порошков фракцией 250–355 мкм. Приварку присадки производили на установке ЭКП 011-1-02 конструкции ГОСНИТИ. Так как просветы сетки меньше размеров гранул металлического порошка, то при приварке таких контейнеров присадочный порошок практически не просыпается и не теряется.

Методика определения пористости металлопокрытия. Важнейшим показателем качества металлопокрытий является его пористость, определяемая как отношение объема пор, пустот и несплошностей к общему объему напеченного покрытия. Для определения пористости в соответствии с известными методиками [6] из восстановленной детали вырезают образец, изготавливают шлиф и исследуют его на инструментальном микроскопе. Такая методика трудоемкая и недостаточно точная.

В Башкирском ГАУ разработан более простой, оперативный способ определения показателя пористости металлопокрытия, применимый для приварки контейнера. Новая методика предусматривает следующую последовательность действий.

1. Изготавливается контейнер 1 из стальной сетки 2 с площадью основания $A \times B$, соответствующей размерам изношенной поверхности 8 детали 9. Массы контейнера 1 и порошка 6 определяются взвешиванием. По плотностям материалов определяются объемы $V_{\text{пр}}$ проволок 3 контейнера 1, а также суммарный объем $V_{\text{гр}}$ гранул 5 присадочного порошка 6. После взвешивания порошок 6 засыпается в контейнер 1.

2. Подготовленная присадка приваривается к изношенной поверхности 8 детали 9 на исследуемом технологическом режиме. На изношенной поверхности 8 формируется ровное, малогребнистое металлопокрытие 10, содержащее верхний и нижний слои 11 из металла сетки 2 и прослойку 12 из металлического порошка 6 (рисунок 2).

3. После приварки замеряются полная толщина δ металлопокрытия 10, вычисляется его объем $V = A \cdot \delta$. Объемы V_1 верхнего и нижнего слоев 11 металлопокрытия 10 равны объему $V_{\text{пр}}$ проволок контейнера 1. Ввиду того, что просветы D сетки 8 меньше размеров C гранул 5 порошка 6, потери порошки при приварке минимальные.

4. Вычисляется объем пор, пустот и несплошностей 13 в объеме прослойки 12, сформированной из металлического порошка $V_{\text{пор}} = V - V_{\text{гр}}$.

5. Оценивается пористость металлопокрытия как отношение объемов $V_{\text{пор}}$ пор, пустот и несплошностей 13 к общему объему $V - V_1$, сформированному из порошка прослойки 12 в металлопокрытии 10 по зависимости $P = V_{\text{пор}} / (V - V_1)$.

Рисунок 2

Процесс приварки контейнера с порошком на поверхность детали:
7 – ролик-электрод; 8 – изношенная поверхность детали;
9 – деталь; 10 – металлопокрытие; 11 – верхний и нижний слои из металла сетки; 12 – прослойка из металлического порошка

Рисунок 3

Пористая структура металлопокрытия из металлического порошка:
13 – несплошности структуры

Рисунок 4

Структура металлопокрытия, сформированного из присадочного порошка 316 LF 250-355 μm

Обсуждение результатов экспериментального определения пористости. Восстанавливался вал из стали 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72 диаметром 45 мм с шириной изношенной шейки 100 мм. Из сетки 2-025-02 12Х18Н10Т ТУ 14-4-507-89 с квадратными ячейками был изготовлен контейнер с площадью

основания $138 \times 97 \text{ мм}^2$, соответствующей (с учетом 2–3 %-ной продольной и поперечной осевой деформации присадки при ее приварке) площади восстанавливаемой поверхности вала. Взвешиванием определили массу проволок контейнера $M_{\text{ПР}} = 0,0313 \text{ кг}$, вычислили объем проволок контейнера $V_{\text{ПР}} = V_1 = M_{\text{ПР}} / \rho_{\text{ПР}} = 0,0313 / 7900 = 3,96 \times 10^{-6} \text{ м}^3$. Заполнили контейнер присадочным порошком 316 LF 250-355 $\mu\text{М}$ массой $M_{\text{ПОР}} = 0,06 \text{ кг}$ с объемом гранул $V_{\text{ГР}} = M_{\text{ПОР}} / \rho_{\text{ГР}} = 0,06 / 7900 = 7,59 \times 10^{-6} \text{ м}^3$. Приварили контейнер вместе порошком на деталь на технологическом режиме: действующее значение сварочного тока 9100 А; длительности импульсов тока 0,06 с; пауз 0,08 с; усилие прижатия ролика-электрода диаметром 350 мм с шириной рабочей поверхности 4,5 мм 2300 Н. После приварки замерыли среднюю толщину металлопокрытия $\delta = 0,89 \text{ мм}$, вычислили общий объем металлопокрытия $V = 0,141 \times 0,100 \times 0,00089 = 12,5 \times 10^{-6} \text{ м}^3$. Вычли их общего объема металлопокрытия объем материала контейнера, объем гранул металлического порошка и таким образом определили объем пор, пустот и

несплошностей в прослойке, сформированной из присадочного порошка $V_{\text{ПОР}} = V - V_1 - V_{\text{ГР}} = 12,5 \times 10^{-6} - 3,96 \times 10^{-6} - 7,59 \times 10^{-6} = 0,95 \times 10^{-6} \text{ м}^3$. Определили пористость прослойки, сформированной из присадочного порошка $P = V_{\text{ПОР}} / (V - V_1) = 0,95 \times 10^{-6} / (12,5 \times 10^{-6} - 3,96 \times 10^{-6}) = 0,111$.

Структура нанесенного металлопокрытия приведена на рисунке 4. Для сравнения определили пористость известным способом [6, 7] и получили значение $P = 0,107$. Предлагаемый способ определения пористости проще известного и не требует для реализации металлографического оборудования.

Выводы. Разработана комбинированная присадка, представляющая собой заполненный присадочным порошком контейнер из металлической сетки, и минимизирующая потери порошка при электроконтактном припекании. Разработан оперативный способ определения пористости металлопокрытия, сформированного электроконтактной приваркой комбинированной присадки, не требующий изготовления шлифов и наличия оборудования для металлографических исследований.

Библиографический список

1. Сайфуллин, Р.Н. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой присадочных материалов из стальных лент [Текст] / Р.Н. Сайфуллин, М.Н. Фархшатов, Э.Л. Левин и др. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 3. С. 13–16.
2. Нафиков, М.З. Формализованное описание процесса образования сварного соединения при контактной приварке проволоки [Текст] / М.З. Нафиков // Сварочное производство. 2014. № 6. С. 10–14.
3. Фархшатов, М.Н. Ресурсосберегающие технологии восстановления деталей сельскохозяйственной техники и оборудования электроконтактной приваркой коррозионностойких и износостойких материалов [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / М.Н. Фархшатов. Уфа, 2007.
4. Нафиков, М.З. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой присадочного

материала из стальных проволок [Текст] / М.З. Нафиков, Р.Н. Сайфуллин, А.А. Зайнуллин // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 2. С. 38–43.

5. Пат. на полезную модель 157756, МПК В23К11/06. Комбинированная присадка для электроконтактной приварки [Текст] / М.З. Нафиков, А.Ю. Коннов, М.Н. Фархшатов; заявитель и патентообладатель М.З. Нафиков. № 2015102957/02; заявл. 29.01.2015; опубл. 10.12.2015; Бюл. № 34; 2 с.; ил.

6. Гаскаров, И.Р. Восстановление автотракторных деталей электроконтактной приваркой композиционных материалов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.Р. Гаскаров. Уфа, 2006.

7. Иванов, Н.М. Технике АПК – качественный сервис [Текст] / Н.М. Иванов, А.Е. Немцев, В.В. Коротких // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 4. С. 81–82.

Сведения об авторах

1. **Коннов Андрей Юрьевич**, аспирант кафедры технологии металлов и ремонта машин. ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34. E-mail: konnov87andrei@mail.ru.
2. **Юнусбаев Наиль Муртазович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта машин. ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34. E-mail: junusbaev@mail.ru.
3. **Нафиков Марат Закиевич**, доктор технических наук, профессор кафедры механики и инженерной графики. ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 450001, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34. E-mail: nafikovmz@rambler.ru.

Предлагается восстанавливать электроконтактным способом детали пищевого и перерабатывающего оборудования, применяя комбинированную присадку на основе стальной сетки и металлических порошков, минимизируя при этом потери порошка.

Пористость формируемого металлопокрытия предложено определять оперативным способом, не требующим изготовления шлифов и применения оборудования для металлографических исследований.

A. Konnov, N. Yunusbaev, M. Nafikov

DETERMINING OF METAL COATING POROSITY FORMED BY ELECTRIC-CONTACT SINTERING OF METAL POWDER

Key words: electric-contact sintering; combined additive; container; metal powder; porosity.

Authors' personal details

1. **Konnov Andrey**, Post-graduate student of Metal Technology and Machine Repairing Department. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University». 450001, 34, 50-letiya Otyabrya St., Ufa. E-mail: konnov87andrei@mail.ru.
2. **Yunusbaev Nail'**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Metal Technology and Machine Repairing Department. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University». 450001, 34, 50-letiya Otyabrya St., Ufa. E-mail: junusbaev@mail.ru.
3. **Nafikov Marat**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Mechanics and Engineer Graphics Department. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University». 450001, 34, 50-letiya Otyabrya St., Ufa. E-mail: nafikovmz@rambler.ru.

The parts of the food and processing equipment are proposed to be restored by electric-contact method, using a combined additive based on a steel mesh and metal powders, while minimizing powder losses. The po-

rosity of the formed metal coating is proposed to be specified by the operational method that does not require the manufacture of polished specimen and application of equipment for metallographic research.

© Коннов А.Ю., Юнусбаев Н.М., Нафиков М.З.