

ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ СПЕЧЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ ЛЕНТ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРОКАТКОЙ

© 2017

Набиуллин Рустам Шафкатович, к.т.н., инженер
Наталенко Валерий Сергеевич, к.т.н., доцент
ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа
Сайфуллин Ринат Назирович, д.т.н., профессор
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва

Аннотация. Описывается способ получения спеченных порошковых лент, использующихся для сварочно-наплавочных работ, дано описание устройства и принцип работы. Разработана методика оценки величины зоны спекания порошков, которая позволяет определить скорость электропрокатки АСЛ. Исследовано уплотнение порошка в ячейках армирующей сетки, что позволяет прогнозировать распределение плотности по толщине покрытия, которая зависит от параметров металлической сетки: диаметра проволоки и размеров ячейки сетки. Показана возможность получения спеченных лент электроконтактной прокаткой с использованием более компактного оборудования по сравнению с традиционным оборудованием по производству данных изделий. Разработан способ изготовления АСЛ методом электроконтактной прокатки и устройство для его осуществления, который позволяет использовать более экономичное и компактное оборудование по сравнению с традиционным оборудованием по производству спеченных лент. Определены режимы рациональной электроконтактной прокатки для спекания лент, которые выбираются в зависимости от толщины и ширины ленты и марки порошка. Для ленты шириной 20 мм и толщиной 1,5 мм из порошка ФБХ-6-2 и ПГС-27М необходимо использовать сетку с диаметром проволоки 0,65 мм и стороной ячейки в свету 1,4 мм. Несоблюдение режимов электропрокатки ведет к выкрашиванию или оплавлению армированных спеченных лент. Рассмотрена инженерная методика выбора технологических режимов получения спеченных порошковых лент методом импульсной электроконтактной прокатки, приводятся условия, при которых необходимо вести расчет режимов электроконтактной прокатки. Применение армирования металлической сеткой непосредственно в процессе электроконтактной прокатки позволяет заметно повысить технологичность спеченных лент.

Ключевые слова: армирование, армированные порошковые ленты, восстановление деталей, наплавка, порошковые ленты, сварочно-наплавочные материалы, спеченные ленты, фильтры, электроконтактная прокатка.

BASES OF OBTAINING THE BAKED POWDER FILMS BY AN AGGLOMERATION METHOD IMPULSES OF CURRENT FLOW

© 2017

Nabiullin Rustam Shafkatovich, the candidate of technical sciences, the engineer
Natalenko Valeriy Sergeevich, the candidate of technical sciences, the associate professor
Bashkir State Agrarian University, Russia, Ufa
Saifullin Rinat Nazirovich, the doctor of technical sciences, the professor
Federal State Budgetary Scientific Institution
«Federal Scientific Agro engineering Center VIM» (FSAC VIM), Russia, Moscow

Annotation. It describes a method for producing sintered powder tapes, used for welding and surfacing works, the description of the device operation are given. It is done a method for estimating the powder sintering zone, which allows determining the electrical rolling speed of SLA. Powder compaction was investigated in cells reinforcing mesh that allows predicting the density distribution of the coating thickness, which depends on the parameters of a metal grid: mesh wire diameter and mesh size. The possibility of obtaining sintered ribbons using electric-rolling equipment more compact as compared with traditional equipment for the production of these products is shown. A method of making a SLA by electric-rolling device for its implementation, which allows the use of more cost-effective and compact equipment compared with conventional equipment for the production of sintered tapes. Rational Modes of the electro contact sintering rolling belts are defined, which are selected depending on the thickness and width of the tape and a powder brand. For tape width of 20 mm and a thickness of 1,5 mm made of powder-PBQ 6-2 and ASG-27M should be used with mesh wire diameter of 0,65 mm and a cell side in the light of 1,4 mm. Failure of the electro-rolling modes leads to crumbling or melting sintered reinforced tapes. An engineering technique of a technological modes choice of producing sintered powder tapes using pulsed by electro contact rolling is considered, given the con-

ditions under which it is necessary to conduct calculation of by electro contact rolling mode. The use of metal mesh reinforcement directly in the process of rolling by electro contact allows significantly improves the process ability of the sintered tapes.

Keywords: the baked tapes, reinforcing, powder tapes, the reinforced powder tapes, welding materials, restoration of details, welding, electro contact rolling, and filters.

Введение

В последнее время особое значение приобретают ресурсосберегающие технологии, реализуемые без существенного увеличения материальных затрат. Это в полной мере относится и к технологиям восстановления изношенных автотракторных деталей. По-прежнему одной из перспективных, эффективных технологий восстановления остается электроконтактная приварка (ЭКП) порошковых материалов [1]. Данный способ не получил достаточно широкого производственного применения по сравнению с ЭКП стальной ленты по ряду причин объективного и субъективного характера. В первую очередь это связано с высокой стоимостью порошков и их потерями при ЭКП [2]. Не полностью решены вопросы регулирования толщины порошковых покрытий, обеспечения высокой прочности сцепления трудносвариваемых порошков и восстановления ЭКП деталей с большими износами (до 1,5 мм). Остаются малоизученными вопросы контактной прочности покрытий [4]. Поэтому решение перечисленных вопросов является актуальным и имеет народнохозяйственное значение.

Материалы и методы

В работе приведено краткое описание получения спеченных порошковых лент, использующихся для сварочно-наплавочных работ, дано описание устройства и принципа работы.

Результаты

Определены режимы рациональной электроконтактной прокатки для спекания лент, которые выбираются в зависимости от толщины и ширины ленты и марки порошка. Для ленты шириной 20 мм и толщиной 1,5 мм из порошка ФБХ-6-2 и ПГС-27М необходимо использовать сетку с диаметром проволоки 0,65 мм и стороной ячейки в свету 1,4 мм.

Цель задачи

Разработать способ получения спеченных порошковых лент, использующихся для сварочно-наплавочных работ. Разработать методику оценки величины зоны спекания порошков. Исследовать уплотнение порошка в ячейках армирующей сетки. Показать возможность получения спеченных лент электроконтактной прокаткой с использованием более компактного оборудования по сравнению с традиционным оборудованием по производству данных изделий. Разработать способ изготовления АСЛ методом электроконтактной прокатки и устройство для его осуществления.

Обсуждение

Спеченные порошковые ленты применяются как присадочные наплавочные материалы и фильтры. Менее изученным является использование данных лент при ремонте и восстановлении изношенных поверхностей деталей машин, например, электроконтактной приваркой присадочных материалов. При криволинейной форме восстанавливаемых поверхностей наплавочная лента должна иметь повышенную прочность и гибкость. Повысить технологические свойства спеченных лент можно путем их армирования металлической сеткой. В настоящей работе рассмотрена инженерная методика выбора технологических режимов и установка для получения спеченных армированных композиционно-порошковых лент методом импульсной электроконтактной прокатки.

Основой получения спеченных композиционных лент электроконтактным способом является способ прокатки порошковых металлических материалов с одновременным подключением и пропусканием электрического тока через валки, обеспечивающие прокат лент. Метод спекания порошков пропусканием электрического тока был опробован еще в 1912 г., когда в Германии и США проводили горячее прессование порошков тугоплавких металлов и их соединений, нагреваемых проходящим через них электрическим током [1]. В работе [2] упоминается об двухстадийном методе прокатки порошка (холодная прокатка с последующей электроконтактной прокаткой). Несмотря на то, что способ электропрокатки известен давно, он не нашел широкого применения при производстве спеченных порошковых лент, хотя имеет явные преимущества перед традиционным производством: сокращение времени термического воздействия (до долей секунд), отсутствие необходимости защитных атмосфер при спекании, значительное уменьшение металлоемкости и энергоемкости оборудования, и, как следствие, лучшие экологические показатели процесса.

Современные исследования процесса электроконтактного способа изготовления спеченных лент (электропрокатки) имеются в работах Мальцева И. М. [3]. Отличие предлагаемого способа – армирование спеченных лент тканой металлической сеткой с целью увеличения их прочности и гибкости.

Процесс электроконтактной прокатки спеченных лент можно разделить на два этапа. Первый

этап заключается в формировании ленты из композиционного или металлического порошка путем прокатки через валки. Второй этап – в спекании сформированной композиционной порошковой ленты пропусканием электрического тока. Чаще всего в литературе по порошковой металлургии освещены или процессы прокатки порошков [4], или процессы спекания [5] и практически отсутствуют данные о совместном влиянии этих двух процессов на свойства получаемой ленты.

Одним из основных параметров прокатки металлических порошков является распределение нормального контактного напряжения по радиусу дуги очага деформации. Данное распределение воздействует на плотность проката и позволяет рассчитать энергосиловые параметры непосредственного процесса прокатки порошков. Изучению данного вопроса посвящены работы многих авторов [4; 6; 7]. При прокатке металлических порошков, как и при прокатке других компактных материалов, очаг уплотнения схематично делят на зоны отставания и опережения. Контактные касательные напряжения в данных областях направлены соответственно в направлении прокатки и против нее. В нейтральном сечении, на границах этих схематичных зон, касательные контактные напряжения равны нулю.

Анализ выражений для расчета нормальных контактных напряжений в источниках [4; 6; 7] показывает, что для практического применения наиболее подходящими для расчета являются формулы, приведенные в [7], так как они позволяют определить напряжения с минимальным количеством параметров, характеризующих порошковый материал. Согласно зависимостям работы [7] величина нормальных контактных напряжений для зоны отставания составляет:

$$\sigma_{om} = \sigma_{max} \left(\frac{h_l}{h_x} \right)^{\frac{f}{\varphi}}; \quad (1)$$

для зоны опережения:

$$\sigma_{on} = \sigma_{max} \frac{h_l - fR\alpha_x}{h_l + fR\alpha_x}, \quad (2)$$

где σ_{max} – максимальное нормальное контактное напряжение при прокатке металлических порошков; α_x – угол рассматриваемого сечения очага деформации; f – коэффициент внешнего трения; h_l – толщина ленты; R – радиус валков; α_p – угол прокатки порошка;

$\varphi = \frac{\alpha_p + \gamma}{2}$ – угол внешнего трения; h_x –

текущая толщина проката; γ – нейтральный угол, определяемый положением нейтрального сечения, в котором находятся точки нулевого скольжения и

окружная скорость валков равна скорости движения проката. Абсолютные значения угла γ невелики, практически не зависят от толщины проката и условий подачи порошка и составляют $\gamma = 0,5 \dots 1^\circ$.

На рисунке 1 показаны расчетные эпюры нормального контактного напряжения, рассчитанные для случая прокатки железного порошка ПЖР3.200.28 при следующих параметрах процесса: $\sigma_{max} = 110$ МПа; $h_l = 1,2$ мм; $f = 0,24$; $\gamma = 0,012$ рад; $R = 56,5$ мм и для случая прокатки медного порошка ПМС-Н при следующих параметрах процесса: $\sigma_{max} = 80$ МПа; $h_l = 1,3$ мм; $f = 0,33$; $\gamma = 0,012$ рад; $R = 56,5$ мм. Максимальное контактное напряжение определяли по диаграмме [7], исходя из относительной плотности проката. Угол прокатки порошка в нашем случае определялся геометрией бункера и составлял $\alpha_p = 8^\circ$.

При электроконтактной прокатке в зоне наибольшего уплотнения и деформации происходит нагрев металлических частиц порошка проходящим через них током. Нагрев вызывает пластическую деформацию частиц порошка, тем самым уменьшая напряжения в зоне наибольшего уплотнения, т. е. происходит релаксация напряжений. Если принять, что устройство для электроконтактной прокатки и прокатные валки не деформируются при работе (абсолютно жесткие), то в верхней части куполообразной кривой нормальных контактных напряжений (рисунок 1) появится участок релаксации напряжений. Причем длина этого участка будет соответствовать объему порошковой прессовки, через который прошел основной ток, нагревающий данный объем. Таким образом, можно оценить зону спекания металлического порошка при электроконтактной прокатке и назначить соответствующие режимы: частоту вращения прокатных валков установки, время паузы между импульсами сварочного тока, время импульса сварочного тока.

Для оценки зоны релаксации контактных напряжений при электроконтактной прокатке необходимо знать зависимость предела текучести материала частиц порошка от температуры. В работе [8] предлагается следующая формула:

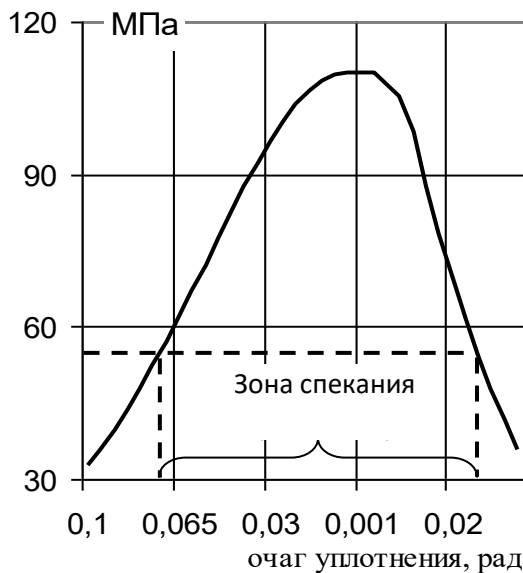
$$\sigma_m = \sigma_{m0} \left(1 - \frac{T}{T_{nl}} \right)^2, \quad (3)$$

где σ_m – предел текучести материала частиц порошка; σ_{m0} – предел текучести материала частиц порошка в холодном состоянии; T – текущая температура; T_{nl} – температура плавления материала частиц порошка.

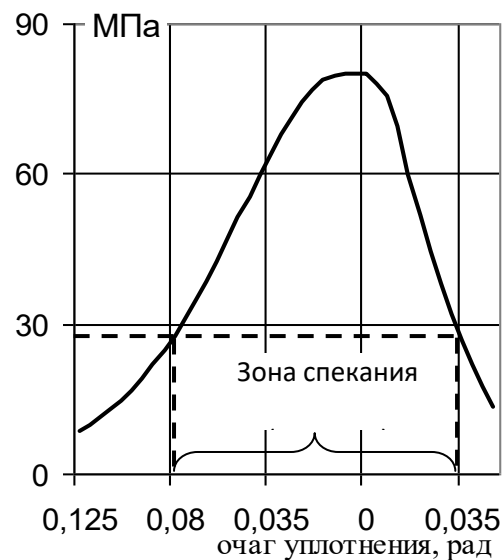
Процесс спекания металлических порошков осуществляется при температуре спекания $T \approx (0,6 \dots 0,9)T_{nl}$, при использовании давления тем-

пература спекания может снижаться до $(0,2...0,5)T_{пл}$. Например, для железного порошка температура спекания составляет $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ и согласно формуле (3) предел текучести будет равен $\sigma_m \approx 150(1-600/1520)^2 = 55\text{ МПа}$; для порошка меди при температуре спекания $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $\sigma_m \approx 70(1-400/1084)^2 = 28\text{ МПа}$.

Откладывая на графике (рисунок 1) горизонтальную линию, соответствующую пределу текучести материала при температуре прокатки до пересечения с кривой нормального контактного напряжения, действующего в очаге уплотнения и деформации,



а)



б)

Рисунок 1 – Кривая распределения нормальных контактных напряжений в очаге деформации при прокатке: а) железного порошка, б) медного порошка

Выполним количественную оценку размеров характерных зон электроконтактной прокатки. Размер зоны отставания найдем из равенства выражений (1) и (3), размер зоны опережения – из равенства выражений (2) и (3). Для зоны отставания получим:

$$\alpha_x^{om} = \arccos\left(1 - \frac{h_l k^{-\frac{\varphi}{f}} - h_g}{2R}\right); \quad (4)$$

для зоны опережения будем иметь:

$$\alpha_x^{on} = \frac{h_l(1-k)}{fR(1+k)}, \quad (5)$$

где $k = \frac{\sigma_{m0}}{\sigma_{max}} \left(1 - \frac{T}{T_{пл}}\right)^2$ – параметр, учитывающий зависимость нормальных напряжений прокатки от температуры. Импульс тока проходит через зоны отставания и опережения, и размер зоны спекания композиционного металлического порошка при электроконтактной прокатке будет складываться из размеров зон отставания и опережения:

$$\alpha_{cn} = \alpha_x^{on} - \alpha_x^{om}. \quad (6)$$

ции металлического порошка, можно оценить размер зоны релаксации напряжений при электроконтактной прокатке, который будет соответствовать зоне спекания порошка. По рисунку 1 видно, что зона спекания железного порошка соответствует 0,102 рад (5,80), а зона спекания медного порошка соответствует 0,12 рад (6,90), т. е. более пластичные порошки имеют большую зону спекания. В этом случае при постоянном напряжении импульса уменьшается плотность проходящего через зону спекания тока, а также температура прокатки и спекания.

Так как температура в зоне спекания неравномерная и уменьшается от зоны наибольшего уплотнения в очаге деформации, то для качественного формирования спеченной ленты необходимо обеспечить перекрытие отдельных зон спекания. Размер зоны перекрытия при импульсном токе α_{nep} будет равен:

$$\alpha_{nep} = \alpha_{cn} - \omega t_{имп}. \quad (7)$$

Таким образом, скорость вращения валков при электроконтактной прокатке спеченных лент должна соответствовать выражению

$$\omega < \frac{\alpha_{cn}}{t_{имп}} \quad \text{или} \quad n < \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30\alpha_{cn}}{\pi t_{имп}}, \quad (8)$$

где $t_{имп}$ – время импульса сварочного тока при электроконтактной прокатке; n – частота вращения валков. В выражении (8) знак неравенства необходим для обеспечения перекрытия зон спекания, образующихся при действии импульсов тока. Использование импульсного тока более рационально, так как при этом уменьшается нагреваемый объем спекаемой ленты и время интенсивного термического воз-

действия на ленту, что уменьшает вероятность окисления материала. Для осуществления электроконтактной прокатки и получения композиционных армированных спеченных лент предлагается установка, представленная на рисунке 2.

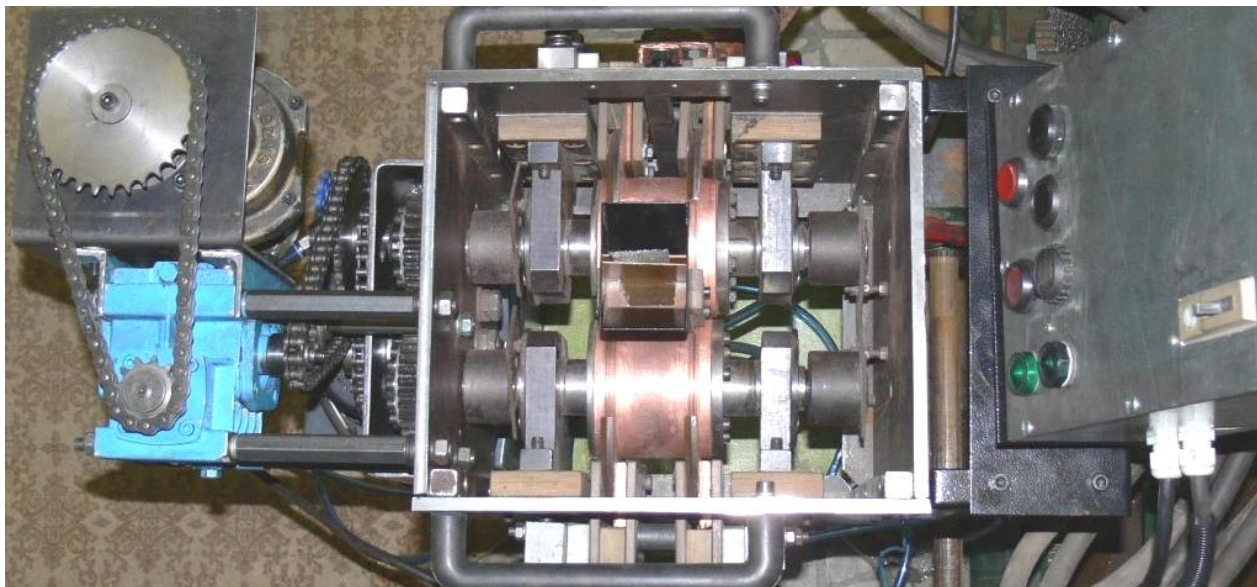


Рисунок 2 – Установка для электроконтактной прокатки композиционных армированных спеченных лент

Валки установки для электроконтактной прокатки выполнены из меди М1 в виде цилиндров $\varnothing 113$ мм, насаженных на вал, изготовленный из стали 45. Цилиндры с толщиной стенки 10 мм охлаждаются проточной водой, циркулирующей по специально проточенной на стальном валу винтовой канавке. Привод валков установки производится приводными шестернями, установленными на стальном валу через электроизоляционные втулки, изготовленные из капролактана. Токосвод к валкам установки выполнен в виде четырех обхватывающих на 70 % диаметра цилиндра контактных пластин из бронзы БрНБТ, поджатых цилиндрическими пружинами с регулируемым специальными болтами усилием сжатия. Контактные бронзовые пластины через медные шины присоединены к сварочному трансформатору ТВК75 УХЛ4. Питание установки для электроконтактной прокатки композиционных армированных спеченных лент осуществляется от установки 01-11.022М «Ремдеталь» для восстановления деталей машин, т. е. используется ее сварочный трансформатор, контактор для управления первичной цепью трансформатора и регулятор цикла сварки РВИ 501. Бункер-дозатор для подачи порошка выполнен из текстолита в виде двух частей с сужающимися проходами, отделенными друг от друга разделительными пластинами из текстолита для раздельной подачи в очаг уплотнения двух видов композиционного порошка и получения двухслойной армированной спеченной ленты. Между разделительными пластинами вставляет-

Электрическая часть установки включает трансформатор, контактор, регулятор циклов сварки и токосвод к валкам. Механическая часть установки состоит из зубчатых, цепных передач и двух редукторов.

ся стальная низкоуглеродистая тканая сетка, предназначенная для повышения технологичности армированной спеченной ленты за счет повышения ее гибкости и прочности при незначительном спекании частиц порошка между собой.

При работе регулируются следующие параметры электроконтактной прокатки: толщина ленты h_l (с помощью регулировочных пластин), частота вращения валков n_e , угол подачи порошка α , сила тока, проходящего между валками при прокатке $I_{св}$, продолжительность времени импульса тока $t_{имп}$, продолжительность времени паузы между импульсами тока $t_{паузы}$. На данной установке для электроконтактной прокатки порошковых спеченных лент можно получать одно- и двухслойные ленты с промежуточной металлической сеткой шириной 20 и 40 мм, толщиной 0,5...2,2 мм.

Параметры металлической сетки (диаметр проволоки, размеры ячеек) играют важную роль в технологичности ленты. Влияние диаметра проволоки и размера ячеек на технологичность спеченной ленты исследовали при электроконтактной прокатке наплавочного порошка на основе железа ПГ-С27-М. Согласно расчету по зависимости (8) при электропрокатке железного порошков при $t_{имп} = 0,12$ с и расчетной зоне спекания $\alpha_{сп} = 0,068$ рад расчетная частота вращения составляет $n_e = 5,4$ мин⁻¹. Для обеспечения перекрытия зон спекания рабочая частота вращения валков принималась равной $n_e = 4,8$ мин⁻¹. Спеченная лента с диаметром проволоки металлической сетки 0,4 мм и размером ячеек

2×2 мм при $I_{св} = 6,9...7,0$ кА, $t_{цмн} = 0,12$ с, $t_{паузы} = 0,1$ с разрушается при огибании вокруг цилиндра Ø 30 мм и менее, а спеченная лента с диаметром проволоки металлической сетки 0,6 мм и размером ячеек 1,5×1,5 мм при тех же режимах сварки разрушается при огибании вокруг цилиндра Ø 15 мм и менее. Причем в последнем варианте повышение $t_{цмн}$ до 0,4 сек., при котором спеченная лента становится более хрупкой, не вызывает разрушения при огибании вокруг цилиндра Ø 30 мм. Только при огибании спеченных лент вокруг цилиндров диаметром менее 30 мм происходит образование трещин на поверхности, которые затем завариваются при электроконтактной приварке. Таким образом, увеличение диаметра проволоки и уменьшение размера ячейки металлической сетки оказывает положительное влияние на технологические свойства спеченной ленты из порошка ПГ-С27-М.

Номенклатура деталей для восстановления ЭКП армированных спеченных лент практически полностью совпадает с номенклатурой деталей при восстановлении контактной приваркой стальной ленты. По результатам экспериментальных исследований определены рациональные составы АСЛ.

Так, при восстановлении больших износов (1...2 мм) целесообразно использовать следующий состав АСЛ: двухслойная: ФБХ-6-2+ПЖР3.200.28 армированная сеткой с диаметром проволоки 0,65 мм и стороной ячейки в свету 1,4 мм, который обеспечивает удовлетворительную прочность сцепления, высокую износостойкость, при минимальной стоимости присадочного материала;

- при восстановлении посадочных поверхностей под шарикоподшипники целесообразно использовать следующий состав АСЛ: однослойная из порошка ПЖР3.200.28, армированная сеткой с диаметром проволоки 0,4 мм и стороной ячейки в свету 1,2 мм, который обеспечивает хорошую прочность сцепления и минимальные затраты на порошковые материалы;

- при восстановлении поверхностей, испытывающих контактные нагрузки, рекомендуется использовать следующий состав АСЛ: однослойная из порошка ПГС27М, армированная сеткой с диаметром проволоки 0,4 мм и стороной ячейки в свету 1,2 мм, который обеспечивает наилучшую контактную прочность поверхности;

- для деталей, испытывающих значительные нагрузки, в том числе циклического характера, лучше всего использовать следующий состав АСЛ: однослойная из порошка ПГС-27М армированная сеткой с диаметром проволоки 0,65 мм и стороной ячейки в свету 1,4 мм, приваренная на мягких режимах. Этот состав и режим ЭКП обеспечивает

удовлетворительную прочность сцепления, высокую износостойкость, минимальное снижение ударной вязкости образца и минимальную зону термического влияния.

Таким образом доказано, что при ЭКП АСЛ возможно приваривать ленты толщиной до 2,5 мм с полезной толщиной после механической обработки до 1,5 мм.

Заключение

Разработанная методика оценки величины зоны спекания порошков позволяет определить технологические режимы электроконтактной прокатки.

Показана возможность получения спеченных лент электроконтактной прокаткой с использованием более компактного оборудования по сравнению с традиционным оборудованием по производству данных изделий.

Применение армирования металлической сеткой непосредственно в процессе электроконтактной прокатки позволяет заметно повысить технологичность спеченных лент.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кипарисов С. С., Либенсон Г. А. Порошковая металлургия. М. : Металлургия, 1991. 432 с.
2. Ковальченко М. С. Теоретические основы горячей обработки пористых материалов. Киев : Наукова думка, 1980. 240 с.
3. Мальцев И. М. Электрофизические процессы металлургии. Нижний Новгород : НГТУ, 2003. 59 с.
4. Степаненко А. В., Исаевич Л. А. Непрерывное формирование металлических порошков и гранул. Мн. : Наука и техника, 1980. 256 с.
5. Райченко А. И. Основы процесса спекания порошков пропусканьем электрического тока. М. : Металлургия, 1987. 128 с.
6. Степаненко А. В., Исаевич Л. А., Харлан В. Е. Обработка давлением порошковых сред. Мн. : Наука и техника, 1993. 167 с.
7. Виноградов Г. А., Каташинский В. П. Теория листовой прокатки металлических порошков и гранул. М. : Металлургия, 1979. 224 с.
8. Кочергин К. А. Контактная сварка. Л. : Машиностроение, 1987. 240 с.
9. Фархшатов Д. М., Сайфуллин Р. Н., Наталенко В. С. Оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин // Научно-технический журнал «Упрочняющие технологии и покрытия». 2013. № 12. С. 39–44.
10. Сайфуллин Р. Н. Электроконтактная приварка порошковых материалов при восстановлении деталей и получении защитных покрытий : монография. Уфа : Изд-во БашГАУ, 2008. 196 с.
11. Сайфуллин Р. Н., Павлов А. П., Наталенко В. С. Прочность сцепления покрытий, получен-

ных электроконтактной приваркой стальных сеток // Производственный, научно-технический и учебно-методический журнал «Ремонт, восстановление, модернизация». 2012. № 2. С. 39–41.

12. Saifullin R. N., Natalenko V. S. A method of production of sintered strips by electric resistance rolling. *Welding International*. 2011. Т. 25. № 3. р. 205–208.

13. Фархшатов М. Н., Сайфуллин Р. Н., Наталенко В. С., Рафиков И. А. Установка для восстановления деталей электроконтактной приваркой // Труды ГОСНИТИ. Том 111. Часть 2. М. : Изд-во ГОСНИТИ, 2013. С. 130–133.

14. Сайфуллин Р. Н., Павлов А. П. Перспективы использования сетчатых присадочных материалов для восстановления деталей электроконтактной приваркой // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. № 9. С. 11–12.

15. Фархшатов М. Н., Наталенко В. С., Юферов К. В. Влияние предварительной термообработки стальной ленты, привариваемой электроконтактным способом, на усталостную прочность восстановленных деталей // Труды ГОСНИТИ. Том 111. Часть 2. М. : Изд-во ГОСНИТИ, 2013. С. 60–62.

16. Фархшатов Д. М., Сайфуллин Р. Н., Наталенко В. С., Рафиков И. А. Модернизация установки для восстановления деталей электроконтактной приваркой стальной ленты, проволоки и порошков. Часть 3 // Производственный, научно-технический и учебно-методический журнал «Ремонт, восстановление, модернизация». 2013. № 8. С. 8–10.

17. Фархшатов Д. М., Сайфуллин Р. Н., Наталенко В. С. Устройство для электроконтактной приварки ферромагнитного порошка (патент на изобретение). Патент № 2428288 РФ, МПК В23К 11/06. Оpubл. 10.09.2011. Бюл. № 25. Заявка 2010104585.

18. Соловьев Р. Ю., Сайфуллин Р. Н., Фархшатов М. Н., Наталенко В. С., Рафиков И. А. Привод для перемещения подвижного электрода машины контактной сварки (патент на полезную модель). Патент на полезную модель RUS 121182 Оpubл. 29.12.2011. МПК В23К 11/06. Заявка 2011153971/02.

19. Фархшатов Д. М., Сайфуллин Р. Н., Наталенко В. С., Абдрахманов И. А., Зарипов А. Ф. Свойства покрытий, полученных электроконтактной приваркой металлических порошков // Труды ГОСНИТИ. Том 113. М. : Изд-во ГОСНИТИ, 2013. С. 347–353.

20. Сайфуллин Р. Н., Павлов А. П. Перспективы использования сетчатых присадочных материалов для восстановления деталей электроконтактной приваркой // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. № 9.

REFERENCES

1. Kiparisov S. S., Libenson G. A. *Poroshkovaja metallurgija* (Powder metallurgy), M, Metallurgija, 1991, 432 p.

2. Koval'chenko M. S. *Teoreticheskie osnovy gorjachej obrabotki poristykh materialov* (Theoretical bases of hot processing of porous materials), Kiev, Naukova dumka, 1980, pp. 240 p.

3. Mal'cev I. M. *Jelektrofizicheskie processy metallurgii* (Electrophysical processes of metallurgy), Nizhnij Novgorod, NGTU, 2003, pp. 59 p.

4. Stepanenko A. V., Isaevich L. A. *Nepreryvnoe formirovanie metallicheskih poroshkov i granul* (Continuous formation of metal powders and granules), Mn, Nauka i tehnika, 1980, pp. 128–144.

5. Rajchenko A. I. *Osnovy processa spekanija poroshkov propuskaniem jelektricheskogo toka* (Bases of process of agglomeration of powders transmission of electric current), M, Metallurgija, 1987, 128 p.

6. Stepanenko A. V., Isaevich L. A., Harlan V. E. *Obrabotka davleniem poroshkovyh sred* (Processing by pressure of powder environments), Mn, Nauka i tehnika, 1993, 167 p.

7. Vinogradov G. A., Katashinskij V. P. *Teoriya listovoj prokatki metallicheskih poroshkov i granul* (Theory of sheet rolling of metal powders and granules), M, Metallurgija, 1979, 224 p.

8. Kochergin K. A. *Kontaktnaja svarka* (Contact welding), L, Mashinostroenie, 1987, pp. 240 p.

9. Farhshatov D. M., Sajfullin R. N., Natalenko V. S. *Oborudovanie dlja vosstanovlenija i uprochnenija detalej mashin* (Equipment for restoration and hardening of details of cars), *Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija»*, 2013, No. 12, pp. 39–44.

10. Sajfullin R. N. *Jelektrokontaktnaja privarka poroshkovyh materialov pri vosstanovlenii detalej i poluchenii zashhitnyh pokrytij* (Electrocontact welding of powder materials at restoration of details and receiving sheetings), monografija, Ufa : Izd-vo BashGAU, 2008, 196 p.

11. Sajfullin R. N., Pavlov A. P., Natalenko V. S. *Prochnost' sčepenija pokrytij, poluchennyh jelektrokontaktnoj privarkoj stal'nyh setok* (Durability of coupling of the coverings received by electrocontact welding of steel grids), *Proizvodstvennyj, nauchno-tehnicheskij i uchebno-metodicheskij zhurnal «Remont, vosstanovlenie, modernizacija»*, 2012, No. 2, pp. 39–41.

12. Saifullin R. N., Natalenko V. S. A method of production of sintered strips by electric resistance rolling. *Welding International*. 2011. Т. 25. No. 3. pp. 205–208.

13. Farhshatov M. N., Sajfullin R. N., Natalenko V. S., Rafikov I. A. *Ustanovka dlja vosstanovlenija*

деталей электроконтактной приваркой (Installation for restoration of details electrocontact welding). *Trudy GOSNITI. Tom 111. Chast' 2*, M, Izd-vo GOSNITI, 2013, pp. 130–133.

14. Sajfullin R. N., Pavlov A. P. Perspektivy ispol'zovaniya setchatykh prisadochnykh materialov dlja vosstanovleniya detalей электроконтактной приваркой (The prospects of use of mesh additive materials for restoration of details electrocontact welding), *Remont, vosstanovlenie, modernizacija*, 2011, No. 9. pp. 35–39.

15. Farhshatov M. N., Natalenko V. S., Jufarov K. V. Vlijanie predvaritel'noj termoobrabotki stal'noj lenty, privarivaemoj jeлектроkontaktnym sposobom, na ustalostnuju prochnost' vosstanovlennykh detalей (Influence of preliminary heat treatment of the steel tape welded in the electrocontact way on the fatigue durability of the restored details). *Trudy GOSNITI. Tom 111. Chast' 2*, M, Izd-vo GOSNITI, 2013, pp. 60–62.

16. Farhshatov D. M., Sajfullin R. N., Natalenko V. S., Rafikov I. A. Modernizacija ustanovki dlja vosstanovleniya detalей электроконтактной приваркой stal'noj lenty, provoloki i poroshkov (Modernization of installation for restoration of details electrocontact welding of a steel tape, wire and powders). *Chast' 3. Proizvodstvennyj, nauchno-tehnicheskij i uchebno-metodi-cheskij zhurnal «Remont, vosstanovlenie, modernizacija»*, 2013, No. 8, pp. 8–10.

17. Farhshatov D. M., Sajfullin R. N., Natalenko V. S. *Ustrojstvo dlja jeлектроkontaktnoj privarki fer-*

ro-magnitnogo poroshka (The device for electrocontact welding of ferromagnetic powder) (patent na izobretenie) Patent № 2428288 RF, MPK V23K 11/06. Opubl. 10.09.2011. Bjul. No. 25. Zajavka 2010104585.

18. Solov'ev R. Ju., Sajfulin R. N., Farhshatov M. N., Natalenko V. S., Rafikov I. A. *Privod dlja peremeshhenija podvizhnogo jeлектрода mashiny kontaktnoj svarki* (The drive for movement of a mobile electrode of the car of contact welding (the patent for useful model)) (patent na poleznuju model') Patent na poleznuju model' RUS 121182 Opubl. 29.12.2011. MPK V23K 11/06. Zajavka 2011153971/02.

19. Farhshatov D. M., Sajfullin R. N., Natalenko V. S., Abdrahmanov I. A., Zaripov A. F. Svojstva pokrytij, poluchennykh jeлектроkontaktnoj privarkoj metallicheskih poroshkov (Properties of the coverings received by electrocontact welding of metal powders). *Trudy GOSNITI. Tom 113*, M, Izd-vo GOSNITI, 2013, pp. 347–353.

20. Sajfullin R. N., Pavlov A. P. Perspektivy ispol'zovaniya setchatykh prisadochnykh materialov dlja vosstanovleniya detalей электроконтактной приваркой (The prospects of use of mesh additive materials for restoration of details electrocontact welding), *Remont, vosstanovlenie, modernizacija*, 2011. No. 9. pp. 44–49.

Дата поступления статьи в редакцию 20.10.16.

05.20.02

УДК 535.37:57.087

РАЗРАБОТКА ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗАТОРА ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН АГРОКУЛЬТУР

© 2017

Беляков Михаил Владимирович, кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Опτικο-электронные системы»

филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск (Россия)

Выборнова Елена Игоревна, старший преподаватель кафедры «Высшая математика»

филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск (Россия)

Аннотация. Введение. Статья посвящена разработке прибора экспресс-контроля всхожести семян, учитывающего требования действующего ГОСТа. Прибор создаётся на основе оптического люминесцентного метода диагностики.

Материалы и методы. Исследование спектральных характеристик возбуждения и люминесценции семян проводили на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама» по ранее разработанной методике. Определяли параметры спектров: длины волн и значения максимумов, стоксов сдвиг, интегральные параметры. Семена различной всхожести получали путём искусственного состаривания. Эксперименты были проведены с семенами пшеницы, ржи, тритикале, ячменя, овса, гороха, фасоли и горчицы.

Результаты. Для всех исследованных семян (кроме ржи и ячменя) при уменьшении всхожести увеличивается максимум кривой и поток люминесценции. Полученные зависимости всхожести от потока люминесценции были аппроксимированы линейными функциями. При этом аппроксимация статистически достоверна согласно правостороннему критерию Фишера для всех культур кроме ржи и ячменя. Предложена структурная