УДК 621.515:621.793.7
DOI: 10.55934/2587-8824-2022-29-2-163-170

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЕМОНТА ВАЛОВ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ НАПЕКАНИЕМ

С. А. Барышников, А. М. Плаксин, А. В. Гриценко, И. Г. Галиев, И. Х. Гималтдинов, А. Ю. Бурцев, Ж. С. Рахимов

На основании анализа работ, посвященных вопросам изнашивания деталей машин сельскохозяйственной техники, установлено, что наибольшее число выбраковываемых деталей, поступающих на ремонт, имеют износ до 0,3 мм. В то же время перспективные технологии позволяют обеспечить длительный срок службы деталей путем их восстановления и повторного использования по назначению. Как показывает практика контроля, основу составляют валы, оси и детали вращения, удельный вес которых составляет до 60% всех ремонтируемых деталей. Предлагаемая технология восстановления путем ЭКН смесями металлических порошков позволит решить проблему износа валов турбокомпрессоров с/х машин. Тем более до 80% дефектов валов ТКР можно исключить за счет технологии ЭКН. Целью исследований является разработка технологии и исследование процесса восстановления вала ротора турбокомпрессора методом ЭКН. Для реализации цели была разработана экспериментальная установка для ЭКН металлических порошков. В процессе эксперимента за варьируемые параметры были приняты: процент чугунной стружки в напекаемой смеси (до 65%) и скорость напекания (0,6…1,0 м/мин). На выходе контролировались параметры: твердость до и после закалки, скорость изнашивания образца, контробразца и сопряжения. В результате исследований установлено, что твердость дозакалочного состояния варьировала в пределах 38–45 HRC, послезакалочного – 46–51 HRC. Анализ результатов исследования скорости изнашивания образца показал, что max износ 30–34 мг/10 ч достигается при варьировании процента чугунной стружки в напекаемой смеси 30–40%. Увеличение процента чугунной стружки до 75% приводит к резкому уменьшению скорости износа образца, которая составила 22–23 мг/10 ч. Контроль скорости изнашивания контробразца показал наличие min 106…107 мг/10 ч, который наблюдается в зоне варьирования процента чугунной стружки, – 50…60%. Разработана методика оценки качества сцепления и прочности нанесенного покрытия с изношенной поверхностью детали путем отрыва покрытия под воздействием инерционных нагрузок от центробежных сил. Применение методики показало, что разрушение покрытия происходило при вариации частот вращения ротора ТКР – 45 000…47 000 мин$^{-1}$. После закалки ТВЧ – 62 000…64 000 мин$^{-1}$. Применение разработанной технологии позволяет снизить затраты материала на 94–98%, уменьшить время процесса восстановления на 48–55% по сравнению с существующей технологией отрезки вала и приварки нового.

Ключевые слова: износ, восстановление, турбонаддув, турбокомпрессор, вал ротора, напекание, режимы, параметры.

Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур и повышение продуктивности животноводства возможны только при высокой технической готовности используемого парка машин [1, 2, 3]. Новые технологии ремонта и восстановления мобильных энергетических средств позволяют существенно увеличить срок их службы и в целом надежность сельскохозяйственных машин [4, 5]. Краеугольным моментом является обеспечение повышенной долговечности [1]. К таким технологиям относится электроконтактное напекание (ЭКН) металлических порошков [4, 5].

Большой вклад в развитие теории и практики восстановления деталей, в том числе и способа электроконтактного напекания, внесли В.М. Кряжков, И.Е. Ульман, Ю.С. Тарасов, В.И. Черноиванов. В этом направлении интересны работы Н.Р. Адигамова, Н. Машрабова, А.В. Геренштейна и др. [4, 5]. Однако в настоящее время (несмотря на большое количество работ в области электроконтактного напекания металлических порошков) нет исследований по определению рациональных составов и улучшению качества наносимого порошкового покрытия с учетом восстановления

высоконагруженных деталей, в частности валов роторов турбокомпрессоров автотракторных двигателей.

Анализ восстанавливаемых деталей по их категориям и формам поверхности говорит о том, что около 60 % деталей имеют цилиндрическую форму [1]. Чаще всего при восстановлении приходится иметь дело с деталями «тела вращения» типа «вал» [6, 7].

Ресурс агрегатов и машин в ряде случаев определяется деталями, работающими в тяжелых условиях, незначительный износ которых может вызвать выход из строя всего агрегата [8, 9]. К таким ресурсоопределяющим деталям относится и вал ротора турбокомпрессора [10, 11]. Показательна в этом плане частота появления дефектов, представленная на рисунке 1.

Из анализа рисунка 1 видно, что при отсутствии первичной разборки максимум отказов ТКР приходится на изгиб вала ТКР [1]. Данная статистика подтверждается работой П.А. Тараненко [6, 7]. Изгиб вала ТКР приводит к его разбалансировке и ускорению износа.

1 – забоины и срыв резьбы; 2 – повреждение центровых отверстий; 3 – изгиб вала (прогиб более 0,03 мм); 4 – износ поверхностей под втулку (∅ менее 17,91 мм); 5 – износ канавок маслоотражателя (ширина более 1,94 мм); 6 – износ поверхности под маслоотражатель; 7 – износ поверхности маслоотражателя; 8 – наличие трещин и обломов; 9 – износ наружной поверхности колеса турбины (∅ менее 109,5 мм); 10 – износ поверхности под колесо компрессора (∅ менее 15,25 мм)

Рис. 1. Частота появления дефектов

Анализ ремонтного фонда турбокомпрессоров автотракторных двигателей, подлежащих капитальному ремонту, показывает, что основной причиной выхода из строя этого агрегата является износ опорных шеек вала ротора турбокомпрессора [6].

С учетом изложенного выше исследование процесса и разработку технологии восстановления изношенных высоконагруженных валов сельскохозяйственной техники ЭКН смесями металлических порошков с последующим упрочнением полученного слоя следует считать важнейшим направлением, требующим тщательной проработки.

Для всестороннего исследования технологии электроконтактного напекания следует решить задачи:

1. Обосновать параметры необходимой прочности при восстановлении сельскохозяйственных деталей методом электроконтактного напекания порошков и подтвердить экспериментально.

2. Исследовать качество наплавленного покрытия при электроконтактном напекании экспериментальных порошков.

3. Разработать технологию восстановления деталей, работающих в условиях больших нагрузок с высокой частотой вращения, электроконтактным напеканием смесью порошков.

4. Исследовать показатели надежности узлов и деталей машин после применения технологии электроконтактного напекания.

Материал и методы исследования

В конечном счете процесс напекания описывается по результатам различного рода перемещений масс частиц, как это имеет место при ползучести, рекристаллизации и диффузии, которые резко возрастают под действием выделяющегося тепла при электроконтактном нагреве [4, 5].

Максимальная прочность соединения достигается при обеспечении процессов рекристаллизации и диффузии на определенную глубину и между частицами [4]. Затрачиваемое при этом время t при скорости напекания $V = 0{,}6\ldots1{,}0$ м/мин определяется по выражению:

$$t = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot R_1 \cdot R_2}{90 \cdot \left(R_2 + R_1\right) \cdot V}, \qquad (1)$$

где α – угол захвата порошка у детали;

R_1 и R_2 – радиус детали и ролика-электрода соответственно.

Фактическое время нагрева при ЭКН составляет менее 0,13 с. Естественно, что при высоких скоростях нагрева и охлаждения диффузионные процессы проходят не полностью, прочность слоя и его сцепление не достигают максимально возможной величины, поэтому необходимы дополнительные способы повышения качества слоя [5].

В данной работе предлагается количественно оценивать качество сцепления по методике отрыва нанесенного покрытия под действием центробежных сил. При этом фактическая прочность сцепления ($\sigma_{сц}$) устанавливается с учетом угловой скорости вращения детали с нанесенным покрытием, при которой происходит отрыв элементарного вырезанного участка покрытия, ширина которого равна единице. В этом случае:

$$\sigma_{сц} = \rho \cdot h \cdot \omega^2 \cdot R, \qquad (2)$$

где h – толщина слоя, м;

ρ – плотность слоя, кг/м^3;

ω – угловая скорость, рад/с;

R – радиус детали с покрытием, м.

Установив значение прочности сцепления покрытия с деталью, можно определить прочность слоя нанесенного покрытия, подвергнув его разрушению под действием центробежных сил. В этом случае предварительного разрезания покрытия на элементарном участке не требуется. Значение прочности рассчитывается по зависимости:

$$\sigma_{пр} = \rho \cdot \omega^2 \cdot R^2 - \sigma_{сц} \cdot \frac{R}{h}, \qquad (3)$$

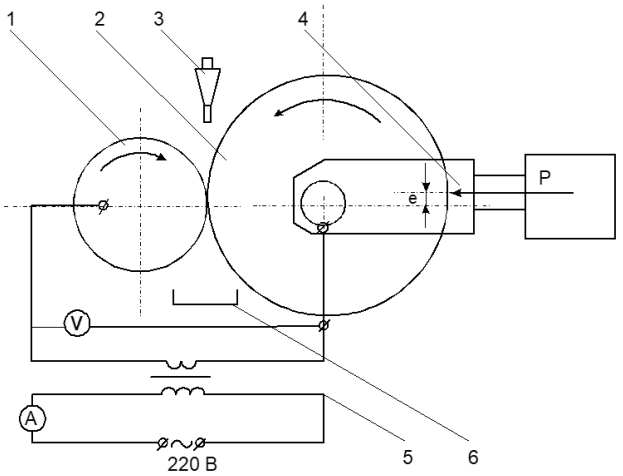
где ω – скорость вращения вала ротора ТКР, при которой происходит разрушение сплошного покрытия, рад/с;

$\sigma_{сц}$ – величина фактического сцепления нанесенного покрытия с основной деталью, МПа.

Разработанный метод прост и достаточно точен для оценивания как прочности сцепления слоя с деталью, так и прочностных свойств нанесенного покрытия. Этот метод пригоден при оценке этих же свойств и для других порошковых покрытий.

Для выполнения экспериментальных исследований была разработана общая методика [4], одним из важных вопросов которой являлась разработка экспериментальной установки [5]. Упрощенная схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2.

С целью отработки рациональных режимов эксперименты по напеканию проводились на отрезанных валиках от выбракованных валов роторов турбокомпрессоров СМД-ТКР-11Н диаметром 18 мм из стали 45 и на валиках-скалках диаметром 24 мм из стали 45 (для изготовления образцов и последующих износных испытаний нанесенного покрытия при трении скольжения). В качестве составов для напекания были отобраны три смеси: 1) железного порошка ПЖ3М2 с порошком Т14К8; 2) железного порошка ПЖ3М2 с порошком из силицированного графита и 3) железного порошка ПЖ3М2 с чугунной стружкой от алмазного хонингования гильз цилиндров автотракторных двигателей. Все порошки имели размер частиц основной фракции менее 160 мкм. Пригодность для использования каждого из отобранных составов оценивалась по критерию износостойкости пары трения, состоящей из напеченного образца и контробразца, выполненного из бронзы БрОЦС5-5-5 (с учетом работы сопряжения вал-втулка ТКР автотракторных двигателей).



1 – деталь; 2 – ролик-электрод; 3 – бункер для подачи порошка; 4 – вилка штока; 5 – источник питания – понижающий трансформатор; 6 – емкость для сбора неиспользованного порошка

Рис. 2. Упрощенная схема экспериментальной установки для ЭКН металлических порошков

Для установления рациональных режимов, при которых обеспечивается максимальная износостойкость сопряжений, в эксперименте использовалось математическое планирование изменения основных технологических факторов, влияющих на качество наносимого покрытия – процентный состав компонентов смеси и скорость напекания (использовали план 3^2).

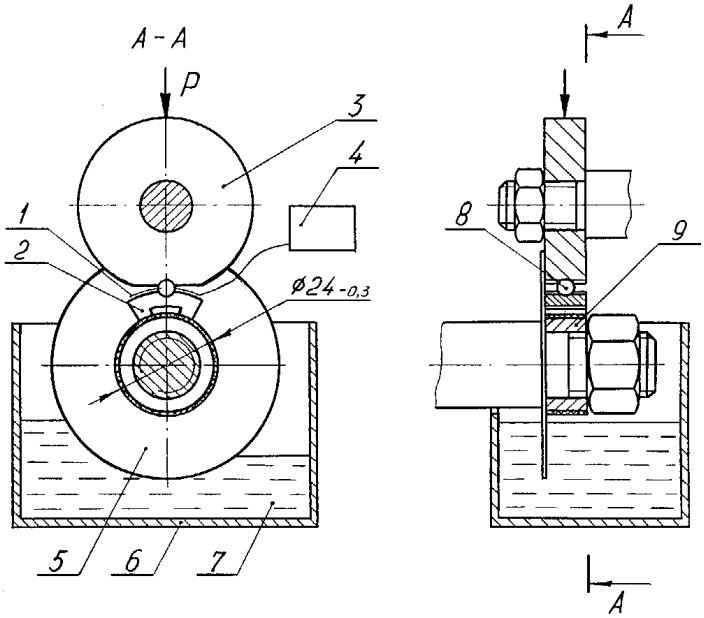
Износные испытания проводились на износной машине СМЦ-2. Время проведения испытаний – 10 часов с трехкратной повторностью опытов. Момент трения записывался на ленту электронного потенциометра ПСРТ-0.1. Температурное состояние пар трения определялось хромель-алюмелевыми термопарами, соединенными с милливольтметром МПП-354 класса 0.5 с одной стороны и медной фольгой в зоне контакта пары трения, приложенной к контробразцу, с другой. Схема испытаний образцов на изнашивание приведена на рисунке 3.

Твердость напеченного покрытия определялась по методу Виккерса при использовании прибора ТП-2. Усилие при реализации измерений соответствовало 49 Н. Усилие прикладывалось в контрольных зонах одной плоскости, перпендикулярной оси испытательного образца. При реализации разработанного метода производилось измерение твердости за один полный оборот заготовки на всей поверхности по ширине.

Прочность сцепления слоя с основным металлом количественно оценивалась по методике отрыва нанесенного покрытия под действием центробежных сил. Для реализации способа использовалась установка на базе серийного турбокомпрессора СМД-ТКР-11Н-2.

При подаче сжатого воздуха на лопасти турбины современного турбокомпрессора с установленным на нем напеченным диском частота вращения вала ротора может достигать 80 000 мин$^{-1}$. Для определения прочности сцепления нанесенного покрытия с поверхностью диска покрытие предварительно разрезалось вдоль цилиндрической поверхности диска на участки длиной 10 мм для исключения влияния сил прочности на качество сцепления слоя при его разрушении.

В этом случае прочность сцепления нанесенного покрытия с поверхностью детали рассчитывается по зависимости (2). Прочность же самого слоя рассчитывается при его разрушении без разрезания напеченного слоя по зависимости (3).



1 – термопара на фольге; 2 – контробразец; 3 – упор на каретке машины трения; 4 – милливольтметр; 5 – диск для смазывания изнашиваемой поверхности; 6 – ванночка; 7 – масло (отработка); 8 – шарик стальной закаленный; 9 – образец

Рис. 3. Схема испытания образцов на изнашивание

Качество восстановления роторов ТКР определялось при проведении ускоренных износных испытаний отремонтированных ТКР по методике ГОСТ Р 51372-99. При этом испытываемые ТКР комплектовались валами роторов, восстановленными по разработанной технологии. Долговечность таких турбокомпрессоров оценивалась на одном из предприятий Челябинской области.

Результаты и обсуждение

Установлено, что для ЭКН рационально использовать смесь железного порошка с чугунной стружкой от алмазного хонингования гильз цилиндров, поскольку использование ранее намеченных смесей порошков других видов вызывает ускоренный износ сопрягаемой детали.

Установочные опыты позволили определить границы процентного состава смеси железного порошка и чугунной стружки с верхним пределом чугуна 65 %. Данный состав смеси из малоуглеродистого железного порошка и порошка, приготовленного из отходов алмазного хонингования чугунных гильз цилиндров автотракторных двигателей, представляет собой новое сочетание материалов, обладающее лучшими противоизносными свойствами по сравнению с существующими [12]. Вторым варьируемым технологическим фактором была выбрана скорость напекания с границами изменения 0,6…1,0 м/мин. В работах Н. Машрабова приводятся аналогичные скоростные режимы, рекомендуемые при ЭКН [4, 5].

Остальные технологические факторы: напряжение холостого хода трансформатора (U_{xx}), давление на ролик-электрод (P), подача (S), ширина ролика (B) оставались на постоянном уровне, поскольку их влияние было несущественным по сравнению с процентным составом напекаемой смеси и скоростью нанесения покрытия. Эти факторы имели следующие значения: U_{xx} = 2,06 В, P = 400 Н, S = 2,5 мм/об, B = 3 мм. Это также согласуется с работами В.А. Короткова и Н. Машрабова [4, 5, 12].

Установив границы основных технологических факторов (процентного состава смеси и скорости напекания), рациональные их значения определяли с использованием математического планирования многофакторного эксперимента 3^2. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием пакета прикладных программ Statistica, Microsoft Excel.

С учетом значимости полученных коэффициентов уравнение регрессии для твердости, HRC нанесенного покрытия до закалки описывается в виде

$$y_1 = 39 + 2,5x_1 + 1,5x_1^2 + 1,5x_2^2, \qquad (4)$$

после закалки:

$$y_2 = 47,2 + 1,83x_1 + 1,7x_2^2, \qquad (5)$$

где y_1 и y_2 – твердость материала, HRC;

x_1 – процент чугунной стружки в напекаемой смеси, %;

x_2 – скорость нанесения покрытия, м/мин.

При этом твердость до закалки изменялась от 38 до 45 HRC, после закалки ТВЧ – от 46 до 51 HRC. Эффективность закалки подтверждена опытным путем и согласуется с работами В.А. Короткова [12, 13].

Глубина термоупрочненной зоны при максимальном прогреве в процессе ЭКН достигает 1…1,5 мм, а слой имеет перлитную структуру с избыточным цементитом в виде игл, с отдельными кристаллами отбеленного чугуна. Закаленная поверхность восстанавливаемого вала ротора имеет отпущенный игольчатый мартенсит. Вне закаленной зоны основной металл имеет перлитно-ферритную структуру, получаемую после нормализации. В переходной зоне между напеченным слоем и поверхностью металла структура представляет собой троосто-сорбит.

Дополнительный нагрев ТВЧ приводит к изменению структуры в зоне основного металла: обычная нормализованная структура становится закаленной и восстанавливает отпущенный мелкоигольчатый мартенсит. В зоне напеченного слоя происходит разукрупнение структурных составляющих, появляются участки с вкраплениями мартенситных составляющих. Общая площадь ферритных зерен уменьшается. Глубина закаленной зоны 2…3 мм. Пористость полученного покрытия 7…9 %. Сопоставление полученных после применения ТВЧ результатов с аналогичными работами показывает эффективность упрочненного слоя (износостойкость возросла в 1,1–1,3 раза) [13, 14].

С учетом значимости полученных коэффициентов уравнение регрессии для скорости изнашивания образца имеет вид:

$$y_3 = 7,7 - 4,5x_1 + 1,5x_1^2 + 2x_2^2, \qquad (6)$$

где y_3 – скорость изнашивания образца, мг/10 ч.

Уравнение скорости изнашивания контробразца:

$$y_4 = 100 - 3,3x_1 + 12,4x_1^2 + 3,9x_2^2, \qquad (7)$$

где y_4 – скорость изнашивания контробразца, мг/10 ч.

Зависимость скорости изнашивания сопряжения от воздействующих факторов (x_1 и x_2) получим, сложив выражения, описывающие скорости изнашивания покрытия и контробразца:

$$y_\Sigma = 107,7 - 7,8x_1 + 13,9x_1^2 + 5,9x_2^2. \qquad (8)$$

По результатам эксперимента построены рисунки 4, 5. Поверхности отклика (рис. 4, 5), построенные для каждого параметра в его натуральном выражении, дают наглядное представление о влиянии факторов на твердость покрытия до и после закалки ТВЧ.

Анализ полученной зависимости для скорости изнашивания пары трения показывает, что ее минимальный износ обеспечивается при доле чугунной стружки в составе смеси 54,2 % и скорости напекания 0,8 м/мин. Данный результат представляет собой новую для науки совокупность факторов и режимов для обеспечения наименьшего износа поверхностей трения в эксплуатации.

При исследовании слоя на отрыв при инерционных нагрузках на испытательный стенд устанавливался серийный ТКР, у которого вместо колеса компрессора крепился диск с покрытием, и за счет подачи под давлением на колесо ротора компрессора продуктов сгорания дизельного топлива (подаваемого специальной форсункой) достигалось плавное увеличение частоты вращения ротора до момента разрушения нанесенного покрытия. Такое разрушение у диска с покрытием, предварительно разрезанным на участки вдоль цилиндрической поверхности, наступало при 46 000$^{\pm 1000}$ мин$^{-1}$ (среднее значение при трехкратной повторности с незначительным разбросом). После закалки ТВЧ напеченное покрытие не разрушилось при максимально достигаемой частоте вращения на испытательном стенде 63 000$^{\pm 1000}$ мин$^{-1}$. Методика оценки качества сцепления и прочности нанесенного покрытия с изношенной поверхностью детали путем отрыва покрытия под воздействием инерционных нагрузок от центробежных сил представляет собой новизну указанного исследования.

Стендовые испытания отремонтированных ТКР с восстановленными валами ротора показали, что их долговечность не уступает долговечности ТКР, отремонтированных по технологии завода. Результаты стендовых и эксплуатационных испытаний отремонтированных турбокомпрессоров с восстановленными валами ротора по разработанной технологии представляют собой главный научный и практический результат проведенного исследования. Для эксплуатационных испытаний партия (12 штук) ТКР с восстановленными по разра-

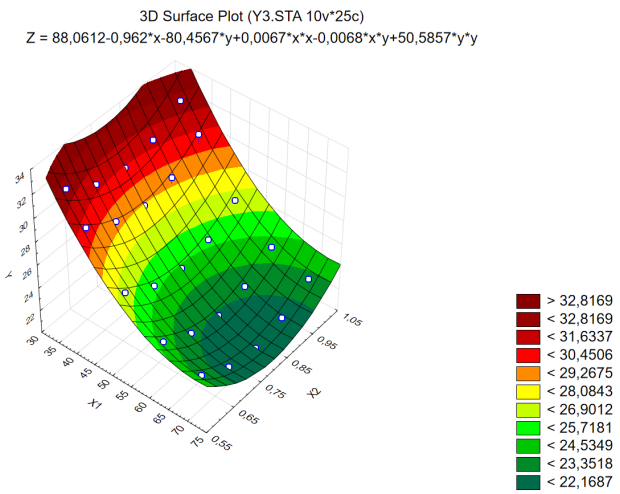


Рис. 4. Скорость изнашивания образца

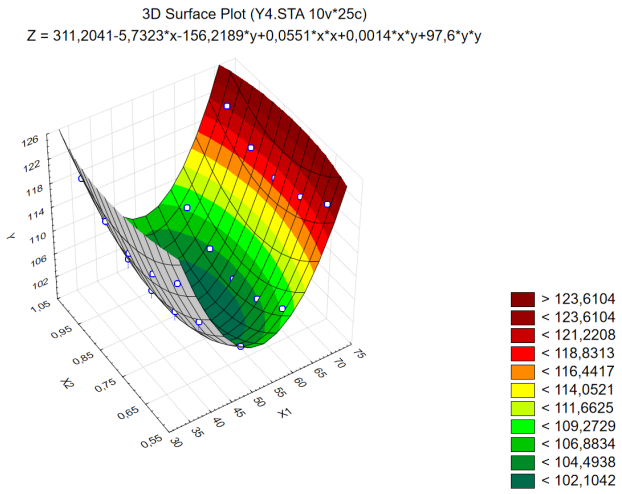


Рис. 5. Скорость изнашивания контробразца

ботанной технологии роторами была передана в хозяйство «Путь Октября» Кизильского района Челябинской области. К настоящему времени (при наработке более 800…1200 мото-ч) жалоб на некачественный ремонт ТКР от хозяйства не поступало. Использование ЭКН смесями металлического порошка (по сравнению с применяемой технологией восстановления вала ТКР) позволяет для одного вала ротора ТКР уменьшить затраты материала на 98%, уменьшить время восстановления на 50% по сравнению с общепринятой технологией и используемой на ОАО «Еманжелинский ремонтный завод».

Выводы

Исследована и подтверждена возможность восстановления высоконагруженных деталей электроконтактным напеканием с использованием смесей чугунной стружки и железного порошка ПЖЗМ2. Их соотношение в смеси по весу составляет 1:1. Закалка ТВЧ восстановленной поверхности вала ТКР позволяет получить значительную надежность, не ниже заводской. Теоретически обоснован и экспериментально установлен рациональный режим ЭКН смесями металлического порошка при восстановлении валов ТКР современных МЭС. Установлены режимные параметры установки для ЭКН: рабочая скорость процесса напекания – 0,7…0,9 м/мин, рабочее усилие прижатая ролика-электрода к восстанавливаемому валу ТКР – 140…160 Н на 1 мм ширины, напряжение холостого хода силового трансформатора – 1,9…2,1 В; величина тока при ЭКН – 800…1100 А. Разработан метод оценки прочности сцепления нанесенного покрытия с рабочей поверхностью восстановленной детали, основанный на использовании сил инерции вращающейся детали. При этом по значению частоты вращения детали при разрушении нанесенного покрытия определяется как прочность сцепления, так и прочность самого покрытия. С учетом результатов выполненной работы разработана технология восстановления вала ротора турбокомпрессора, обеспечивающая снижение энергозатрат на 59% по сравнению с общепринятой технологией. Разработанная технология внедрена в ОАО «Еманжелинский ремонтный завод».

Список литературы

1. Гималтдинов И. Х., Шайхетдинова Р. С. Решение инженерной задачи при разработке прибора для вычисления остаточного ресурса подшипников качения // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 7. С. 112–116.

2. Адигамов Н. Р., Гималтдинов И. Х., Шайхетдинова Р. С. Анализ виброакустических показателей подшипниковых узлов дробилок кормов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 7. С. 145–147.

3. Плаксин А. М., Гриценко А. В., Бурцев А. Ю. Результаты экспериментальных исследований времени выбега ротора турбокомпрессора ТКР-11 // Вестник ЧГАА. 2014. Т. 70. С. 130–135.

4. Машрабов Н., Геренштейн А. В., Геренштейн Е. А. Обоснование метода определения температурного поля при наплавке, термической и механической обработке // АПК России. 2015. Т. 73. С. 69–75.

5. Методика определения размеров активного пятна дуги / Н. Машрабов, Е. В. Шаманова, Е. А. Осенних, А. С. Меньшенин // АПК России. 2020. Т. 27. № 3. С. 486–491.

6. Задорожная Е. А., Хозенюк Н. А., Тараненко П. А. Результаты расчета динамики ротора турбокомпрессора ТКР-8,5С // Вестник ЮУрГУ. Сер. : Машиностроение. 2006. № 11 (66). С. 69–77.

7. Пирогова Н. С., Тараненко П. А. Расчетно-экспериментальный анализ собственных и критических частот и форм высокооборотного ротора микрогазотурбинной установки // Вестник ЮУрГУ. Сер. : Машиностроение. 2015. Т. 15. № 3. С. 37–47.

8. Gritsenko A. V., Plaksin A. M., Almetova Z. V. Development of combined ICE startup system by means of hydraulic starter // Procedia Engineering. 2017. T. 206. P. 1238–1245.

9. Gritsenko A. V., Plaksin A. M., Shepelev V. D. Studuing lubrication system of turbocompressor rotor with integrated electronic control // Procedia Engineering. 2017. T. 206. P. 611–616.

10. Plaksin A. M., Gritsenko A. V., Glemba K. V. Modernization of the turbocharger lubrication system of an Internal combustion engine // Procedia Engineering. 2015. T. 129. P. 857–862.

11. Бурцев А. Ю. Повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров двигателей внутреннего сгорания // Достижения науки – агропромышленному производству : матер. LII Междунар. науч.-техн. конф. Челябинск : ЧГАА, 2013. С. 28–34.

12. Korotkov V. A., Anan’ev S. P., Shekurov A. V. Investigation of The Effect of The

Cooling Rate on the Quality of the Surface Layer in Plasma Quenching // Welding International. 2013. Vol. 27. № 5. P. 407–410.

13. Mashrabov N., Erofeev V. V., Korotkov V. A. Plasma hardening of elements for soil cultivating instruments // Welding International. 2020. Vol. 34. № 4–6. P. 152–156. DOI: 10.1080/09507116.2021.1921386.

14. Машрабов Н., Ерофеев В. В., Коротков В. А. Плазменная закалка элементов почвообрабатывающих орудий // Сварочное производство. 2018. № 12. С. 24–29.

Барышников Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: 2serg_b@mail.ru.

Плаксин Алексей Михайлович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, и технология и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: plaksin.1944@mail.ru.

Гриценко Александр Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»; профессор кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: alexgrits13@mail.ru.

Галиев Ильгиз Гакифович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет.

E-mail: drGali@mail.ru.

Гималтдинов Ильдус Хафизович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет.

E-mail: tskazgau@mail.ru.

Бурцев Александр Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры специальных дисциплин, ФГБОУ ВО Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева.

E-mail: burceval2009@yandex.ru.

Рахимов Жанат Сагындыкович, аспирант, кафедра «Эксплуатация машинно-тракторного парка, и технология и механизация животноводства», ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: rahimov-96@mail.ru.

* * *