

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель директора

ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,

академик РАН, доктор

технических наук, профессор

Я.Е. Лобачевский

2022 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» на диссертацию Трифонова Григория Игоревича на тему «Восстановление рабочих поверхностей шнека транспортирующих устройств плазменным напылением износостойкого композитного покрытия», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»

Актуальность темы диссертации

Практика эксплуатации сельскохозяйственных транспортирующих устройств подтверждает, что наиболее распространенной причиной их выхода из строя в 80% случаях является не поломка, а износ и повреждение рабочих поверхностей. При этом необходимо учитывать, что на сегодняшний день стоимость запасных частей составляет практически 70 % от общей стоимости проведения ремонта, а стоимость восстановленных деталей – 40...60 % от стоимости новых. Следовательно, задача восстановления изношенных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин и оборудования в агропромышленном комплексе (АПК) с целью дальнейшего их использования является актуальной.

На предприятиях АПК при транспортировке порошковых, пылевидных, сыпучих материалов активно используются шнековые транспортирующие конвейеры, например, такие как У13-БКШ, БКВ, УКВ 1 L10, УКВ, СВТ,

КВЦ300, у которых наиболее ответственным агрегатом является шнек. Ресурс и работоспособность указанных конвейеров напрямую зависят от степени износа рабочих поверхностей шнека. Поэтому проблема повышения срока эксплуатации деталей, таких как шнек, особенно в тех случаях, где их замена или ремонт по различным причинам невозможны или неоправданно дорогостоящи, является актуальной.

Одним из эффективных направлений решения этой проблемы – нанесение износостойких композитных покрытий газотермическими методами, в т. ч. плазменным напылением.

Диссертация Трифонова Г.И. на тему «Восстановление рабочих поверхностей шнека транспортирующих устройств плазменным напылением износостойкого композитного покрытия» посвящена повышению износостойкости винтовой и цилиндрической поверхностей шнека транспортирующего конвейера. Таким образом, тема диссертации актуальна.

Научная новизна и достоверность полученных результатов

Научной новизной работы являются: аналитические зависимости формообразования композитных покрытий на основе самофлюсующегося порошка ПР-НХ17СР4, отличительной особенностью которых является учет геометрических форм восстанавливаемой детали; состав композитного материала для плазменного напыления рабочих поверхностей шнека, отличительной особенностью которого является учет размеров и концентрации наполнителя, позволяющего получать износостойкое композитное покрытие с повышенной прочностью сцепления с основой; технологические режимы плазменного напыления дисперсно-наполненного композитного материала, отличающиеся корректировкой параметров в зависимости от дисперсности и концентрации наполнителя исходного порошка композитного покрытия; регрессионные модели, связывающие параметры напыления с физико-механическими и эксплуатационными характеристиками сформированных композитных покрытий, отличительной особенностью которых является

содержание предикторов как электрической, так и механической составляющей процесса получения композитного покрытия, так и предикторов концентрации и дисперсности наполнителя; оборудование для нанесения композитных материалов на поверхности деталей плазменным напылением, отличающееся тем, что инструмент (плазмотрон) выполнен с возможностью вращения в двух перпендикулярных проекциях двух координатных плоскостей по заданной программе, а также дополнительно введёнными элементами, обеспечивающими корректировку управляющей программы напыления в зависимости от геометрических особенностей детали и дефектов на её восстанавливаемой поверхности.

Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов

Теоретическую значимость имеют аналитические зависимости, связывающие технологические режимы плазменного напыления с физико-механическими и эксплуатационными характеристиками сформированного композитного покрытия с целью обеспечения его качественно-точностных параметров.

Практическую значимость имеют: состав дисперсно-наполненного композитного материала, состоящего из непрерывной фазы – самофлюсующегося порошка ПР-НХ17СР4 и дисперсной фазы – карбида титана; технологические режимы плазменного напыления дисперсно-наполненного композитного материала, обеспечивающие высокую износостойкость покрытия, а также необходимую прочность его сцепления с основой; установка для нанесения композитных материалов, обеспечивающая высокую точность перемещения плазмотрона относительно обрабатываемой поверхности детали.

Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, включающих 51

рисунок и 22 таблицы, заключения, списка литературы, включающего 180 наименований, четырех приложений. Объем диссертации – 166 страниц.

Во введении обоснована актуальность темы, приведена степень ее разработанности, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, изложены теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследований, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов, отражены личный вклад соискателя, количество публикаций соискателя по теме диссертации, структура и объем диссертационной работы в соответствии с действующими требованиями.

В первой главе представлен анализ исследований и разработок по восстановлению изношенных деталей машин агропромышленного комплекса. В ходе анализа установлено, что на данный момент перспективной и актуальной технологией по восстановлению рабочих поверхностей деталей машин и специального оборудования АПК, в частности шнеков транспортирующих конвейеров с шагом более 120 мм, является плазменное напыление. Кроме того, определены основные факторы, влияющие на качество и прочностные свойства износостойких композитных покрытий, и сделан вывод о том, что улучшение свойств композитного материала напыления возможно при воздействии на технологические параметры процесса напыления. Это отражено в выводах по главе. Выполненный обзор позволил оценить степень разработанности темы и сформулировать цель и задачи исследования.

Во второй главе изучены теоретические основы процесса плазменного напыления композитного материала на рабочие поверхности шнека. Было определено, что от при назначении скорости перемещения инструмента (плазмотрона) и скорости вращения детали (шнека), необходимо учитывать геометрические особенности обрабатываемых поверхностей, поскольку кинематические режимы связаны с процессом формирования толщины покрытия и нагревом поверхностей шнека.

По результатам теоретических исследований были получены:

аналитические зависимости кинематических режимов плазменного напыления от геометрических особенностей рабочих поверхностей шнека; аналитические зависимости толщины покрытия и температуры нагрева поверхностей шнека от кинематических режимов напыления; аналитические зависимости по определению величины смещения изотермы плавления относительно изотермы контакта.

На основе проведенных теоретических исследований были разработаны программные продукты, позволяющие моделировать процесс плазменного напыления деталей с различной геометрией их рабочих поверхностей и назначать технологические режимы плазменного напыления, что в дальнейшем было использовано в экспериментальных исследованиях.

В третьей главе представлены общая методика и частные методики исследования физико-механических и эксплуатационных свойств композитных покрытий на основе самофлюсующегося порошка ПР-НХ17СР4 с повышенной прочностью сцепления покрытия с основой и износостойкостью.

Согласно ГОСТ 28076-89 для проведения напыления выбрана установка плазменного напыления УПУ-3Д с плазмотроном ПНК-50 с межэлектродной вставкой. При этом согласно ГОСТ 4543-71 определены образцы для экспериментальных исследований, изготовленные по ГОСТ 103-2006 толщиной 20 мм и шириной 75 мм из стали 20Х.

Для оценки технических характеристик композитного покрытия проводились исследования прочности сцепления покрытия с основой, твердости и микротвердости покрытия, износостойкости, а также металлографический анализ.

Прочность сцепления композитного покрытия с основой определялась методом скретч-тестирования на установке Макро Скретч Тестер Revetest Express с постоянной нагрузкой в 34 Н согласно в соответствии с международными стандартами ISO 19252:2008, ISO 20502.

Твердость композитного покрытия измерялась на твердомере ПМТ-3 при нагрузке 50 Н по ГОСТ 9013-59 (ИСО 6508-86) по методу Роквелла.

Микротвердость композитного покрытия также измерялась на твердомере ПМТ-3 при нагрузке 10 Н по ГОСТ 9450-76 (СТ СЭВ 1195-78) в поперечном сечении образца.

Определение износостойкости композитного покрытия проводилось на машине трения СМЦ-2 согласно ГОСТ 23.208-79. Использовался абразивный материал – электрокорунд зернистостью 16-П по ГОСТ 3647-80 с относительным содержанием влаги не более 0,15 %. Для оценки износостойкости использовались прецизионная система измерения шероховатости и контура деталей, профилограф и аналитические весы.

Металлографический анализ производился согласно ГОСТ 1778-70 с использованием оптического микроскопа Axiovert 40 MAT. Химический состав покрытия исследовался на искровых оптико-эмиссионных спектрометрах РМІ MASTER Pro и ДФС-500.

В ходе проводимых исследований по напылению образцов была разработана установка для напыления композитных покрытий на поверхности деталей машин, технической особенностью которой является обеспечение высокой точности перемещения плазмотрона относительно обрабатываемой детали, что приводит к формированию покрытия с высокой прочностью сцепления с основой. На данную установку получен патент на изобретение № 2762082.

Также при определении износостойкости получаемых композитных покрытий была разработана машина для испытания деталей на абразивный износ, позволяющая проводить в лабораторных условиях уточненный анализ износостойкости покрытия поверхности деталей, в частности шнека. На данную машину также получен патент на изобретение № 2702994.

В четвертой главе представлены результаты исследований по определению состава композитного материала и рациональных технологических режимов нанесения покрытий плазменным напылением, а также их влияния на физико-механические и эксплуатационные характеристики сформированных покрытий на рабочих поверхностях шнека.

Определена область оптимума критерия наивысшей прочности сцепления покрытия с основой (380,093 МПа) и установлен рациональный состав композитного материала: порошок ПР-НХ17СР4 фракцией 40-64 мкм – 76,5%; карбид титана фракцией 63-80 мкм (73,6 мкм) – 23,5 %.

Установлены технологические режимы плазменного напыления композитного покрытия ПР-НХ17СР4+ 23,5%TiC для винтовой и цилиндрической поверхностей шнека при напряжении на дуге 260 В: сила тока дуги плазмотрона 233...248 А, дистанция напыления 81...83 мм, массовый расход напыляемого материала 0,4...0,5 г/с, скорость вращения детали 35...37 мин⁻¹ (для цилиндрической поверхности), подача 4...6 мм/об (для цилиндрической поверхности), скорость перемещения плазмотрона 3...7 мм/мин (для винтовой поверхности), объемный расход плазмообразующего газа 0,8...1,8 л/с.

В ходе исследования адгезионной прочности методом скрэтч тестирования выявлено, что наибольшая прочность сцепления покрытия с основой наблюдается у покрытия ПР-НХ17СР4+23,5%TiC. У композитного покрытия, сформированного плазменным напылением порошковым материалом состава – ПР-НХ17СР4+23,5%TiC трещин при нанесении и эксплуатации на всем протяжении испытаний не наблюдалось.

Выявлено, что на твердость композитного покрытия в порядке убывания влияют: сила тока, дистанция напыления, массовый расход напыляемого материала. На основе технологических режимов напыления, оказывающих влияние на твердость покрытия, составлены регрессионные уравнения и построены графики в виде функций желательности, позволяющие визуально оценить характер и степень влияния зависимых переменных процесса на значения исследуемого параметра.

Исследование микротвердости показало, что её изменение по глубине композитного покрытия ПР-НХ17СР4+TiC выше чем у легированных покрытий ПР-НХ17СР4+TiC в 1,64 раза, а у стандартных покрытий ПР-НХ17СР4 в 1,87 раза. Это объясняется наличием твердых включений TiC в покрытии.

Установлено, что износостойкость полученного композитного покрытия в 2,52 раза превосходит упрочняющий слой легированного покрытия из порошка ПР-НХ17СР4.

В пятой главе представлены основные положения технологического процесса по восстановлению рабочих поверхностей шнеков, а также оборудование для осуществления плазменного напыления композитных покрытий.

Определен годовой экономический эффект восстановления шнеков, который составил 468992,4 у.е. При этом период возврата инвестиций составил 1,258 года.

В заключении приведены основные выводы, даны рекомендации, обозначены перспективные направления дальнейшей разработки темы.

В приложениях представлены акты внедрения и эксплуатационных испытаний, материалы о результатах рационального подбора параметров нанесения композитных покрытий, операционная технология восстановления рабочих поверхностей шнека транспортирующего конвейера, а также справочные материалы по расчету экономического эффекта восстановления шнеков.

Качество оформления диссертации, достоверность и апробация результатов

Диссертация и автореферат диссертации оформлены качественно, написаны грамотно. Структура и оформление диссертации и автореферата соответствуют требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Результаты получены с применением современных теоретических подходов и теории электрофизического формообразования поверхностного слоя. Экспериментальные исследования проведены с использованием современных стандартизированных методик на сертифицированном оборудовании и разработанной установке.

Достоверность результатов подтверждается методологической базой исследований, проведением системного анализа решаемых задач и применением методов математического моделирования, использованием современных средств вычислительной техники, поверенных измерительных приборов, результатами внедрения в производство.

Результаты диссертационной работы внедрены в ООО «ИНОКС РЕМ» и ООО «Совтех», что подтверждено соответствующими актами. Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных, всероссийских и национальных научных конференциях. Опубликовано 39 научных статей, в том числе шестнадцать статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций. Получено два патента Российской Федерации на изобретение и три свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Полученные аналитические зависимости, учитывающие геометрические формы восстанавливаемой сложнопрофильной детали, и разработанные компьютерные программы следует использовать технологическим отделам на ремонтных и восстановительных предприятиях АПК.

Разработанный состав дисперсно-наполненного композитного материала и технологические режимы плазменного напыления, обоснованные в диссертации целесообразно использовать предприятиям, осуществляющим повышение ресурса и ремонт изделий посредством технологии газотермического напыления (восстановление геометрии деталей, укрепление поверхности) в сельском хозяйстве.

Результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик износостойкого композитного покрытия, нанесенного газотермическим способом плазменного напыления

целесообразно использовать в научно-исследовательских организациях, занимающихся проведением исследований, способствующих развитию фундаментальных основ науки и решению важных прикладных задач, выдвигаемых народным хозяйством.

Установку для нанесения композитных материалов плазменным напылением следует использовать в научных центрах и на производственных фирмах и предприятиях, занимающимися проблемами нанесения защитных покрытий, упрочнения и сварки.

Замечания по диссертации

1. В разделе Заключение автором не представлено подтверждение выполнения поставленной цели работы: «... снижение себестоимости восстановления рабочих поверхностей шнека транспортирующего конвейера газотермическим способом плазменного напыления износостойкого композитного покрытия».

2. Необходимо уточнить, как получены данные таблицы 1.3.

3. На с. 33 в таблице 1.7 при обозначении температуры плазменной струи использовалась шкала Кельвина, а при обозначении температуры нагрева подложки – шкала Цельсия. Целесообразно выбрать общую шкалу измерения указанных величин.

4. В главе 2 с. 56 и с. 59 указаны аналитические зависимости по определению скоростей перемещения плазмотрона относительно винтовой и цилиндрической поверхностей шнека. Поскольку на практике происходит одновременное воздействие на цилиндрические и винтовые поверхности детали, необходимо объединить указанные аналитические зависимости в одно уравнение.

5. Соискатель допускает некорректное изложение материала при наличии варьируемых значений у исследуемого параметра: их следует записывать не через дефис, который в математике означает вычитание, а через специальный знак \div .

6. Расположение обозначений на рисунке 3.2 (стр.79) выполнены с отклонениями от требований нормативных документов.

7. В главе 4 разделе 5 не совсем понятно, чем отличается состав порошка ПР-НХ17СР4+TiC легированный от композитного. Нет данных по микротвердости фаз матрицы ПР-НХ17СР4 и наполнителя TiC.

8. В главе 4 разделе 4 не указан диапазон твердости получаемого композитного покрытия.

9. Не ясно, чем вызвано использование формулы, предложенной автором для расчета затрат на электроэнергию (с. 129).

Заключение

Данные замечания не снижают научной и практической значимости полученных соискателем результатов. Диссертация Трифонова Григория Игоревича на тему «Восстановление рабочих поверхностей шнека транспортирующих устройств плазменным напылением износостойкого композитного покрытия» является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения и разработки по восстановлению изношенных рабочих поверхностей шнека транспортирующих конвейеров АПК, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие технологий и средств технического обслуживания сельского хозяйства Российской Федерации.

Считаем, что диссертационная работа соответствует критериям, изложенным в пунктах 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г.

№ 842, а ее автор Трифонов Григорий Игоревич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве.

Диссертационная работа Трифонова Григория Игоревича заслушана, обсуждена и одобрена на расширенном заседании отдела разработки технологий и мультифункциональных покрытий деталей сельскохозяйственной техники ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, протокол № 2 от 12 апреля 2022 г.,

присутствовало 12 человек. Результаты голосования: за - 12 человек, против – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель:
главный научный сотрудник-
заведующий отделом разработки технологий
и мультифункциональных покрытий
деталей сельскохозяйственной техники,
доктор технических наук (05.20.03 –
Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве)


В.А. Денисов

Секретарь:
ведущий научный сотрудник,
руководитель ЦКП «Нано-Центр»,
кандидат технических наук (05.20.03 –
Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве)


Р.Н. Задорожний

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ),
109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5. Телефоны: 8 (499) 171-43-49;
171-19-33, e-mail: vim@vim.ru.

12 апреля 2022 г.

Подпись Денисова В.А. и Задорожского Р.Н.
завершено секретари РГБНУ РИАГД ВиМ
Семонен

