

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ТРАКТОРОВ ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ С УЧЕТОМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ

Лузан С.А. д.т.н., проф., Кириенко Н.М. к.т.н., доц.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
Харьковский национальный технический университет сельского
хозяйства им. Петра Василенко*

Статья посвящена исследованию свойств и разработке технологии воздушно-плазменного напыления антифрикционного покрытия на вал коробки передач трактора с целью повышения ресурса

Введение. Как свидетельствуют статистические данные Украинской Ассоциации «Надежность машин и сооружений», за период эксплуатации затраты металла на запчасти тракторного двигателя составляют 50-100 % его массы, шасси трактора – 100 %. Затраты средств на техническое обслуживание и ремонт автомобилей, тракторов за весь срок службы в 3-6 раз превышает стоимость их изготовления.

Развитие современной тракторной техники обусловлено усилением условий эксплуатации агрегатов, узлов и деталей. В связи с этим повышение износостойкости деталей машин, определяющих их ресурс, является актуальной задачей.

Анализ основных достижений и публикаций. В монографии [1] на основе анализа влияния ряда факторов: нагрузки, частоты вращения, степени загрязнения смазочной среды, конструктивных особенностей узлов, сопряжений на интенсивность изнашивания и динамику накопления усталостных повреждений, а также с учётом накопленного опыта повышения работоспособности деталей и узлов на Харьковском тракторном заводе была определена номенклатура деталей шасси колесных тракторов типа Т-150К требующих повышения долговечности. Номенклатура содержит 36 деталей. Преобладающие виды повреждений: износ – 33 детали, питтинг зубьев – 2 детали, спекание втулки с валом – 1 деталь. Если проанализировать выбранные возможные пути повышения долговечности, то на долю упрочняющих технологий приходится 9 деталей (плазменное напыление – 3 дет., химико-термическое упрочнение – 3 дет., лазерное упрочнение – 3 дет.), что составляет более 27%, а среди них плазменное напыление и лазерное упрочнение занимают объем 67%.

Ресурс большинства машин зависит от относительно небольшого количества деталей. Это позволяет планировать объемы их восстановления, разрабатывать, выпускать и внедрять специальное оборудование, создавать и развивать

специализированные производства, наращивать объёмы и расширять номенклатуру восстановления изношенных деталей.

Агрегаты и узлы автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин представляют собой совокупность множества деталей типа: вал, втулка, рычаг, корпус, шестерня, подвергающиеся в процессе эксплуатации воздействию различного рода нагрузкам и среды, приводящих к необратимым процессам износа их рабочих поверхностей.

При обработке статистических данных по отказам деталей автомобилей установлено следующее их распределение: износ – 53,4%; разрушение (трещины, поломка, обрыв части детали) – 18,9%; деформация (растяжение, скручивание, изгиб) – 10,4%, другие виды дефектов – 17,3%.

Существующие традиционные методы упрочнения: термические, химико–термические, поверхностное пластическое деформирование не всегда отвечают предъявляемым требованиям к ресурсу. Известные способы наплавки обеспечивают получение необходимых свойств у рабочих поверхностей, однако, значительные тепловложения в материал детали, без которых невозможно произвести наплавку, приводят к наибольшим термическим остаточным напряжениям и деформациям, устранить которые, в ряде случаев, не представляется возможным. Кроме того, получение тонких наплавленных покрытий на поверхности деталей сложной формы значительно усложняет технологический процесс и он трудно поддается механизации.

Эффективным способом, лишенным вышеперечисленных недостатков, является плазменное напыление. В настоящее время у нас в стране и за рубежом накоплен большой опыт по применению плазменного напыления защитных покрытий. Фирма «Metco» (Италия) широко применяет плазменное напыление с целью защиты от износа, коррозии, а также для восстановления изношенных деталей машин [2]. Фирма «Plasma – Technic» (Швейцария) производит напыление сплавом OT3 ($Al_2O_3+3\%TiO_2$) или OT13 ($Al_2O_3+13\%TiO_2$) деталей текстильного оборудования, что значительно повышает их стойкость против износа [3]. На Одесском заводе поршневых колец внедрен технологический процесс изготовления компрессионных поршневых колец с плазменным молибденовым покрытием [4].

Формулировка целей статьи. Разработать рекомендации по совершенствованию технологии плазменного повышения ресурса деталей тракторов с учетом обеспечения взрывопожаробезопасности.

Основной материал. Одной из деталей, определяющих ресурс трактора Т-150К, является вал первичный коробки передач. Зубья венца вала в процессе эксплуатации подвергаются деформации из-за повышенного нагрева в сопряжении со шлицами диска сцепления двигателя.

Для повышения ресурса работы вала первичного коробки передач был выбран антифрикционный порошок на основе меди ПГ-19М-01 и исследованы его триботехнические свойства.

Покрытия наносили методом плазменного напыления на основу из стали 25ХГТ, прошедшую химико-термическую обработку (нитроцементацию),

обеспечивающую твердость 57-65 HRC в поверхностном слое глубиной 0,8-1,3 мм.

Для исследования покрытий применяли оптическую (микроскоп МИМ-8), электронную растровую микроскопию (микроскоп JSM-840 с системой микроанализаторов LINK 860/500), а также рентгеновский микроанализатор MAP-3, способ рентгеноструктурного фазового анализа на дифрактометре ДРОН-2.

Триботехнические свойства плазменных покрытий изучали на машине трения, позволяющей осуществлять возвратно-поступательное движение полусферического индентора по плоской поверхности образцов. Полусферический индентор радиусом 4 мм из сплава ВК-8 позволял получить в зоне трения контактные напряжения 1000 МПа при нормальной нагрузке 9,8 Н. Плазменные покрытия из сплава на основе меди ПГ-19М-01 наносили на плоские образцы Ø49 мм, h=3 мм из стали 25ХГТ толщиной 20 и 30 мкм. Скорость скольжения составляла 0,018 м/с, путь трения – 100 м (5000 циклов) при температуре 20⁰С. Испытания производили в среде минерального масла МС-20. Степень износа образцов определяли по потере веса.

Общую пористость определяли на отделенных от подложки покрытиях в соответствии с ГОСТ 18898-89.

Рентгенофазовый анализ плазменных покрытий показал, что основной фазой в покрытиях является твердый раствор алюминия в меди с периодом решетки $a = 3,6479 \text{ \AA}$ существенно превышающим период решетки чистой меди $a = 3,61479 \text{ \AA}$ [5].

Методами рентгеновской тензометрии по положению линии (420) α – твердого раствора Al в Cu установлено, что покрытие толщиной 20 мкм соответствуют растягивающие напряжения величиной $\sigma = 235 \text{ МПа}$, действующие в отражающем слое (слое, формирующем картину дифракции) толщиной до 5 мкм. Для расчета напряжений по измеренной деформации решетки использовалось значение модуля упругости $E = 11,8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ [6].

В покрытии толщиной 30 мкм величина растягивающих напряжений в 2,5 раза меньше и составляет $\sigma = 93 \text{ МПа}$, а в покрытии толщиной 0,5 мм, отделенном от основы, остаточные напряжения соответствуют $\sigma = 103 \text{ МПа}$ на толщине дифракционного слоя.

Общая пористость покрытий достигает 46-48 %. Это преимущественно открытая пористость. Для покрытий толщиной 20-30 мкм она составляет 30-35 %. В толстых (125 мкм) покрытиях общая пористость несколько снижается и, главным образом, за счет уменьшения вклада открытой пористости. Общий объем и средний размер пор снижается в глубь от приповерхностной зоны покрытия до его основы. Открытая пористость преобладает в приповерхностной со стороны напыления зоне глубиной 25-30 мкм при толщине покрытия 125 мкм. В более тонких покрытиях формируется пористая структура, имеющая лабиринтный характер, и преобладают поры, имеющие открытый выход наружу.

Анализ микроструктуры поверхности покрытия толщиной свыше 100 мкм показал, что она крайне неоднородна: гладкие бесструктурные участки

чередуются с частицами различной морфологии (рис.1).

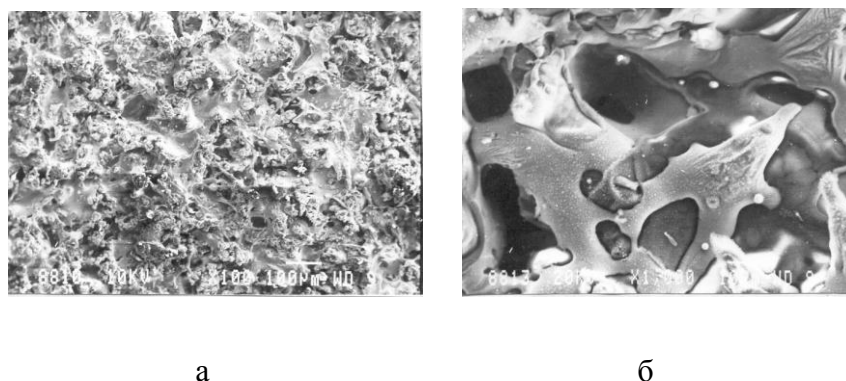


Рисунок 1 – Микроструктура наружной поверхности отделенного от подложки покрытия: а – $\times 100$; б – $\times 1000$.

Износ покрытий на пути трения 100 м не превышал 0,1 мг, а линейный износ (глубина дорожек трения) составил около 10 мкм. Коэффициент трения в процессе испытаний равнялся $k = 0,1$ и не зависел от толщины покрытия. В условиях сухого трения наблюдался практически монотонный рост коэффициента трения от начального значения $k = 0,15$ до максимального $k = 0,3$ в конце периода испытаний.

Исследования износостойкости стали 25ХГТ без покрытия показали, что в результате сухого трения на пути трения 100 м происходит увеличение коэффициента трения от начального значения $k = 0,15$ до $k = 0,8$. При трении в среде масла МС-20 коэффициент трения в течение всего времени испытаний имел постоянную величину $k = 0,15$.

Исследования дорожек трения показали существенное различие характера изнашивания плазменных покрытий для случаев сухого и граничного трения. При сухом трении помимо пластической деформации частиц покрытия наблюдался процесс микрорезания, приводивший к образованию царапин на дне дорожки трения. Последнее обусловлено схватыванием частиц износа с материалом индентора и повреждением поверхности покрытия. Наличие же смазки в зоне трения препятствует протеканию процесса схватывания и практически исключает микрорезание. Усталостное разрушение зерен покрытия приводит к образованию мелкодисперсных частиц износа размером порядка 1 мкм. Поверхность образовавшихся частиц инактивируется смазкой, предотвращая последующее схватывание, как с покрытием, так и с индентором.

Для реализации этой технологии на ОАО «ХТЗ» был организован специализированный участок плазменного напыления, оснащенный оборудованием НПО «Комплекс» г. Черкассы. В состав которого входят: блок плазменного напыления – смеситель газов СГ-1, питатель порошка ПП-2500, плазмотрон ПМ-1М, установка холодильная «Холод-1», источник питания ИП-7, установка плазменного напыления, аспирационное марки А-9000, установка струйно-абразивная марки АП-1М, установка моечная марки УМ-50М. В качестве плазмообразующих и транспортирующих газов в данном

оборудовании предусмотрено применение смеси аргона с водородом.

С целью снижения затрат на плазмообразующие газы, уменьшения взрывопожароопасности участка были выполнены работы по модернизации комплекса плазменного напыления, включающие установку источника питания АПР-402М и плазмотрона для воздушного плазменного напыления. Учитывая, что воздух, применяемый в качестве плазмообразующего газа, является сильным окислителем напыляемой бронзы, для оптимальных параметров режима нанесения покрытия использовали метод планирования эксперимента [7]. В качестве параметра оптимизации была выбрана прочность сцепления напыленного слоя с основой $\sigma_{сц}$, независимых факторов: ток дуги I_0 , расход плазмообразующего газа Q , дистанция напыления L . При решении этой задачи был использован статистический метод планирования экстремальных экспериментов и реализован полный факторный эксперимент типа 2^3 . Полученная математическая модель, устанавливающая связь между технологическими параметрами режимов воздушно-плазменного напыления и прочностью сцепления с подложкой, имеет вид [7]:

$$\sigma_{сц} = 3,70 - 0,19 \cdot I_0 + 0,51 \cdot Q - 0,69 \cdot L,$$

где I_0 – ток дуги; Q – расход плазмообразующего газа; L – дистанция напыления.

Для определения оптимального соотношения факторов режима плазменного напыления применили метод крутого восхождения. Оптимизацию проводили до выполнения условия $\sigma_{сц} \geq 45$ МПа.

Дополнительные эксперименты, проведенные при найденных теоретических значениях факторов, подтвердили данные результаты.

Оптимальным режимом воздушно-плазменного напыления порошка марки ПГ-19М-01 следует считать:

ток дуги – 115 А;

напряжение дуги – 210 В;

расход плазмообразующего газа – 3,3 м³/ч;

дистанция напыления – 0,116 м.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что применение метода воздушно-плазменного напыления позволяет получать антифрикционные покрытия из порошка на основе меди ПГ-19М-01, увеличивающие срок службы деталей, работающих в условиях ограниченной смазки или ее отсутствия. Коэффициент трения в режиме граничного трения и при отсутствии смазки не превышает 0,1 и 0,3 соответственно при контактных напряжениях до 1000 МПа и скоростях скольжения 0,018 м/с.

Рентгенофазовым анализом плазменного покрытия из порошка ПГ-19М-01 было установлено, что основной фазой в покрытии является твердый раствор алюминия в меди с периодом решетки $a=3,6479\text{\AA}$ существенно превышающим период решетки чистой меди $a=3,61479\text{\AA}$.

Также результаты сравнительных испытаний износостойкости плазменного покрытия бронзовым порошком ПГ-19М-01 и оловянистой бронзы

05Ц5С5, выполненные на машине трения типа МИ по схеме диск-колода в индустриального масла, показали более высокую износостойкость напыленной бронзы. Полученные результаты подтвердили эффективность разработанной технологии плазменного напыления.

На основании выполненного комплекса исследовательских работ была разработана и реализована в производственных условиях на ОАО “Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе” технология воздушно-плазменного напыления антифрикционного покрытия на основе меди ПГ-19М-01 на зубья венца вала первичного коробки передач трактора Т-150К.

Выводы. 1. Фазовый состав покрытий из сплава на основе меди ПГ-19М-01 качественно соответствует фазовому составу напыляемого порошка. Покрытие состоит из α – твердого раствора алюминия в меди, содержащего до 17 ат.% Al, и соединения Cu_3Al . Порошок отличается несколько большим содержанием фазы Cu_3Al .

2. Общая пористость покрытий из сплава ПГ-19М-01 достигает 48%. Она снижается в направлении от внешней поверхности покрытия к его основе.

3. Износ плазменных покрытий ПГ-19М-01 на пути трения 100 м не превышает 0,1 мг. Коэффициент k в режиме граничного трения имеет постоянную величину и для пары покрытие ПГ-19М-01 – сплав ВК-8 составляет $k=0,1$. Для стали 25ХГТ без покрытия при тех же условиях коэффициент трения выше и достигает значения 0,15. При отсутствии смазки коэффициент трения пар покрытие ПГ-19М-01 – сплав ВК-8 и сталь 25ХГТ – сплав ВК-8 значительно выше: $k=0,3$ и $k=0,8$ соответственно.

4. Установлен оптимальный режим воздушно-плазменного напыления антифрикционного покрытия на основе меди ПГ-19М-01, обеспечивающий взрывопожаробезопасность технологии.

Список литературы

1. Кухтов В. Г. Долговечность деталей шасси колёсных тракторов / Кухтов В. Г. – Харьков : ХНАДУ, 2004. – 292 с.
2. Okada M., Maruo H. New plasma spraying and its application / M. Okada , H. Maruo // British Welding Journal. – 1968. – V. 15. - № 8. – P. 371-386.
3. Техника плазменного напыления. Основы, способы, применение. – Швейцария : Плазма-техник АГ, 1974 – 16 с.
4. Соколов А. Д. Разработка и внедрение оборудования и техпроцесса напыления молибдена на поршневые кольца ДВС / Соколов А. Д. // Тез. докл. на III-ей респ. науч. -техн. конф. по современным методам наплавки и наплавочным материалам. – Харьков. – 1981. – С. 27.
5. Самсонов Г.В. Свойства элементов. – М.: Металлургия, 1976. – Ч. 1. – 600 с.
6. Тихонов Л.В. Структура и свойства металлов и сплавов / Л.В. Тихонов, В.А. Кононенко. – Киев: Наукова думка, 1985. – 568 с.
7. Тодоров П.П. Технология плазменного напыления деталей тракторов с применением воздуха / П.П. Тодоров, С.А. Лузан // Технологические системы. – 2001. – №1. – С. 5-7.

Анотація

ШЛЯХИ ВИРШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ ТРАКТОРІВ ПЛАЗМОВИМ НАПИЛЕННЯМ З УРАХУВАННЯМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИБУХОПОЖЕЖОБЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЇ

Лузан С. А. д. т. н., проф., Кірієнко М.М. к.т.н., доц.

Стаття присвячена дослідженню властивостей і розробки технології повітряно-плазмового напилення антифрикційного покриття на вал коробки передач трактора з метою підвищення ресурсу

Abstract

SOLUTIONS TO PROBLEMS OF INCREASING RESOURCE DETAILS TRACTORS BY PLASMA SPRAYING WITH A VIEW TO ENSURING THE FIRE EXPLOSION SAFETY TECHNOLOGY

Luzan S., d.t.s., Kyriienko M., k.t.s.

The article is devoted to the study of the properties and the development of technology air plasma spraying anti-friction coating on the gear shaft of the tractor to increase resource