
Abanin Vladislav Sergeevich, candidate of technical sciences, doctoral, vlad-ac@mail.ru, Ryazan, Maintenance Ryazan Higher Airborne Command School named after General of the Army V.F. Margelov

УДК 621.793

СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ХОЛОДНЫМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ

Г.В. Куприянов

В работе представлен способ восстановления повреждений чугунных корпусных деталей в виде трещин, пробоин и сколов холодным газодинамическим напылением, основанный на обеспечении адгезионной прочности газодинамических покрытий на чугунной основе, за счет разработанного авторами новой операции подготовки поверхности под напыление.

Ключевые слова: холодное газодинамическое напыление, газодинамическое покрытие, адгезионная прочность, чугунная основа, корпусные детали, военная техника.

В условиях перехода Вооруженных Сил Российской Федерации на единую систему организации технического обслуживания и ремонта вооружения и военной техники, «Концепция развития подвижных средств восстановления бронетанкового вооружения и техники и военной автомобильной техники на период до 2030 года» диктует необходимость проведения исследований по разработке нового облика мобильного ремонтно-восстановительного органа войскового и оперативного уровня на основе оптимизации состава, структуры и технологического оснащения подвижных средств восстановления военной техники (ВТ) [1].

По данным концепции дальнейшее малоэффективное финансирование системы автотехнического обеспечения (АТО), отсутствие средств для поддержания бронетанкового вооружения и техники (БТВТ) и военной автомобильной техники (ВАТ) на необходимом уровне и новых образцов оборудования, обеспечивающих реализацию современных технологий и оснастки при восстановлении вооружения и военной техники приведет к тому, что к 2030 году более 80 % автомобильной техники, основу которой составляют автомобили семейств Урал, КамАЗ, будет не способно организовать и провести полный объем работ по техническому обслуживанию, эвакуации и ремонту БТВТ и ВАТ [1].

Анализ боевых действий в Афганистане, Чеченской республиках показывает, что причиной массового выхода из строя агрегатов военной автомобильной и бронетанковой техники в 70% случаях является нарушение герметичности корпусных деталей, в результате воздействия пуль стрелкового оружия, осколков мин (фугасов) и снарядов, 60% которых выполнены из сложносвариваемых высокоуглеродистых сплавов - чугунов (рис. 1) [2]. В этих условиях ремонт в полевых условиях подвижными средствами восстановления выступает основным источником поддержания ВАТ и БТВТ в готовности к боевому применению.

Анализ сварки, пайки, применение эпоксидных композиций как существующих способов ремонта боевых повреждений корпусных деталей показывает недостаточную их эффективность в настоящее время. Причина этого состоит в устаревшем применяемом оборудовании, обладающим большими габаритными размерами, высокой затрачиваемой энергоемкостью сварочных и других процессов, применения специальной оснастки, необходимости в высокоподготовленных специалистах, а также низким качеством восстановленных деталей.



Рис. 1. Материал изготовления основных корпусных деталей военной автомобильной техники

В результате эффективность функционирования подвижных ремонтных органов снижается. С учётом вышеизложенного «Концепция развития подвижных средств восстановления бронетанкового вооружения и техники и военной автомобильной техники на период до 2030 года» требует проведения исследований по разработке нового облика мобильного ремонтно-восстановительного органа войскового и оперативного уровня на основе оптимизации состава, структуры и технологического оснащения подвижных ремонтных средств восстановления [1]. При этом рекомендуется модернизировать существующие механические мастерские с переводом в кузова-контейнеры или кузова-фургоны новых производственных участков по восстановлению деталей упрощенными методами ремонта ВАТ и БТВТ в полевых условиях, с наименьшими трудозатратами и расходом материальных и энергетических ресурсов.

Одним из прогрессивных способов восстановления трещин, пробин и сколов корпусных деталей машин является метод «холодного» газодинамического напыления (ХГДН) [3]. Целесообразность его применения в подвижных ремонтных средствах обуславливается:

- компактностью применяемого оборудования (вес установки до 20 кг);
- высокой производительностью метода (трещина длиной 50 мм заделывается в течение 20 минут);
- отсутствием опасных газов и излучения во время работы и низкими затратами на потребление электроэнергии (работает от сети 220 В);
- покрытие наносится в воздухе при атмосферном давлении;
- на восстанавливаемой детали обрабатывается локальный участок с четкими границами повреждения;
- для работы с оборудованием допускается персонал, не требующий высокой квалификации ремонтника.

В настоящее время на авторемонтных предприятиях МО РФ методом ХГДН восстанавливают повреждения в виде трещин, пробоин, раковин и сколов на деталях, изготовленных из различных сплавов. Однако опыт восстановления корпусных деталей показывает, что газодинамические покрытия, нанесенные на корпусные детали из высокоуглеродистых сплавов – высокопрочных, серых и ковких чугунов, обладают адгезионной прочностью, не превышающей 20 МПа, что в свою очередь снижает их послеремонтный ресурс [3]. Низкая адгезионная прочность является причиной того, что в процессе эксплуатации газодинамические покрытия отслаиваются.

Адгезионная прочность при нанесении покрытий обеспечивается за счет таких процессов, как схватывание, спекание, смачивание и т. д. Для их реализации кроме термодинамических условий необходимы чистота поверхностей и их активизированное состояние. По мнению авторов работ [4,5] наиболее перспективным способом очистки и активации поверхности является абразивная обработка поверхности корундом ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$). Такая подготовка, во – первых, очищает поверхность и выводит ее из состояния термодинамического равновесия со средой, освобождая межатомные связи поверхностных слоев, во – вторых увеличивает шероховатость поверхности, тем самым увеличивая, адгезионную прочность газодинамического покрытия. В тоже время, при исследовании группы образцов из серого чугуна (СЧ 25) с алюминий-цинковым покрытием нанесенным на режимах (расстояние от края сопла напылителя до поверхности основы 10 – 12 мм, температура рабочего газа $T_{p.g.} = 100 - 600$ °С), рекомендованном заводом-изготовителем установки [3] и применении абразивной обработки поверхности корундом под углом 90° в течение 2 минут (рис. 2) установлено, что наилучшие значения показателей адгезионной прочности (Σ_a , МПа) при наибольшей шероховатости не достигли 25 МПа.

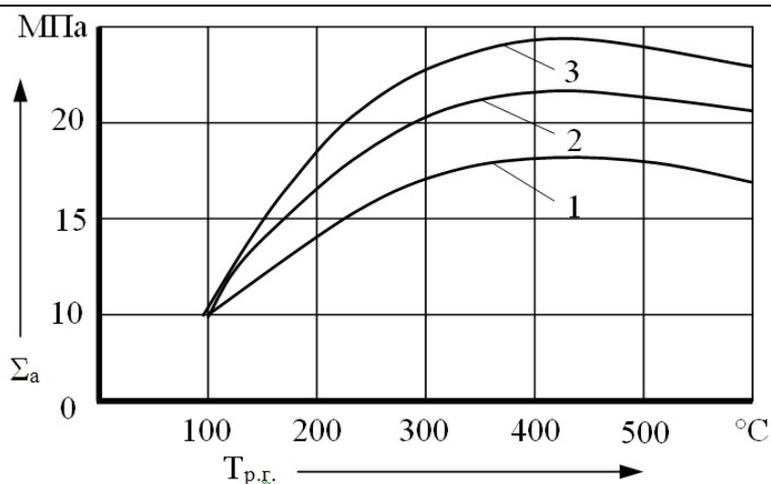


Рис. 2. Зависимость адгезионной прочности (Σ_a , МПа) газодинамического покрытия на чугунной основе от температуры рабочего газа ($T_{р.г.}$, °С) и способа обработки поверхности: 1 - поверхность не обработана; 2 - поверхность обработана шлифовальной шкуркой; 3 - поверхность обработана корундом

Вместе с тем, после испытания образцов на адгезионную прочность установлено, что отрыв покрытия от основы происходит по границе их раздела, кроме того результаты рентгено-спектрального микроанализа (РСМА) показали, что в приграничной зоне наблюдается подслоя частиц абразива (корунда), внедренных в места выхода графита на поверхность, а на соприкасаемых частях обнаружены зоны скопления несвязанного углерода (рис. 3).

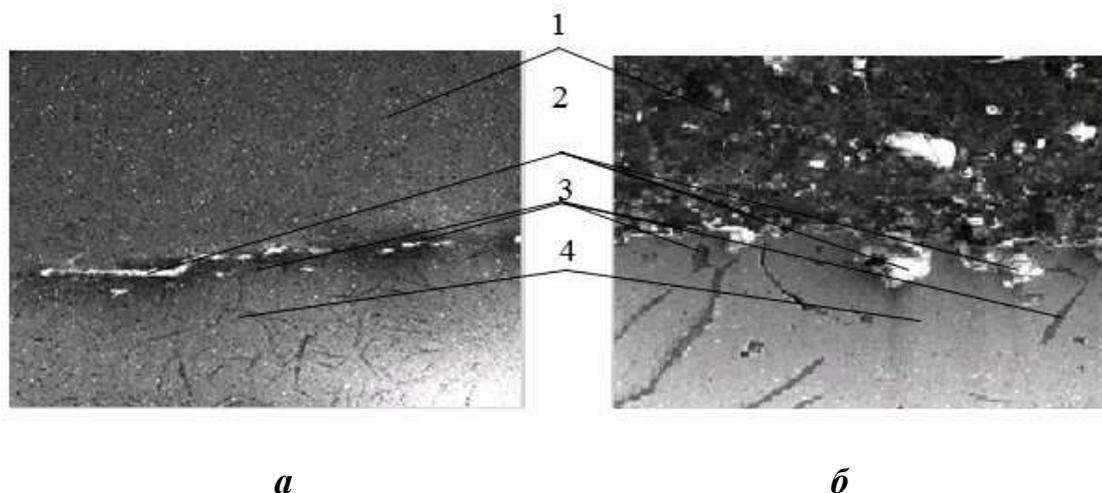


Рис. 3. Образец из чугуна (СЧ 25) с нанесенным газодинамическим покрытием из алюминия с цинком (а – $\times 400$, б - $\times 1000$): 1 – алюминий-цинковое покрытие; 2 – корунд; 3 – графит; 4 – основа

Таким образом, выявлено, что снижение адгезионной прочности газодинамических покрытий на чугунной основе происходит из-за загрязнения восстанавливаемой поверхности частицами абразива (корунда), закрепляющегося после обработки на поверхности и атомами несвязанного углерода, выделяющегося из графита.

Учитывая это, авторами выдвинута гипотеза, что повысить адгезионную прочность газодинамического покрытия на чугунной основе возможно при изменении операции обработки поверхности, в частности исключения зацепления частиц абразива (корунда) и очистки поверхности от включений несвязанного углерода.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы проведены исследования и разработан способ обработки поверхности чугунной основы. Сущность способа состоит в том, что на первом этапе чугунная поверхность детали обрабатывается электрокорундом под углом 40 - 80°, затем на обработанную поверхность наносится флюс, содержащий до 30% хлористого аммония NH_4Cl , до 70% хлористого цинка ZnCl_2 и до 2% перманганата калия KMnO_4 , со временем активности 2 – 4 минуты. Поверхность по флюсу нагревается окислительным ацетилено-кислородным пламенем до температуры $(0,14-0,2) \cdot T_{\text{пл}}$, где $T_{\text{пл}}$ – температура плавления чугуна [6].

В результате термохимического воздействия флюса и температуры протекает реакция окисления атомов свободного углерода, ее направление оценивается изобарно – изотермическим потенциалом (ΔG^0 , кДж/моль).

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0, \quad (1)$$

где ΔH^0 - изменение энтальпии реакции, кДж/моль; T – температура при которой протекает реакция, К; ΔS^0 - изменение энтропии реакции, Дж/К×моль.

Так как процесс протекает при повышенных температурах (до 600 °С), то на поверхности чугунной основы происходит реакция окисления углерода с выделением углекислого газа и кислорода. Расчетное значение изобарно – изотермического потенциала (ΔG^0 , кДж/моль) в этих случаях отрицательно, следовательно, эти реакции возможны и протекают в прямом направлении [6]. Основным условием протекания реакции окисления углерода является температурный интервал активности флюса, зависящий от состава, материала основы и времени активации при температуре. Учитывая воздействие данных факторов на область температурного интервала активности, установлено, что время активации предложенного флюса ($t_{\text{ф}}$, мин), в зависимости от температуры поверхности основы ($T_{\text{п}}$, °С), влияет на адгезионную прочность газодинамических покрытий и составляет от 3 до 7 минут (рис. 4).

На основе теории удара [7] доказана зависимость глубины проникновения частиц корунда в места выхода графита на поверхность от угла наклона сопла напылителя (α , °) при абразивной обработке (рис. 5). При сохранении

требуемой шероховатости изменение угла наклона сопла напылителя при абразивной обработке с 90 до 50° уменьшает глубину проникновения частиц в подложку с 20 до 2 мкм.

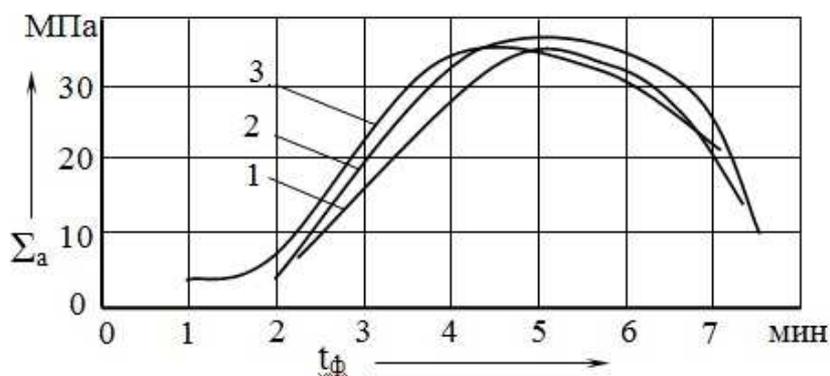


Рис. 4. Влияние времени активации флюса ($t_{\text{ф}}$, мин) на адгезионную прочность ($\Sigma_{\text{а}}$, МПа) газодинамических покрытий:
1 – при температуре $T_n = 300 \text{ }^\circ\text{C}$; 2 – при температуре $T_n = 400 \text{ }^\circ\text{C}$;
3 – при температуре $T_n = 500 \text{ }^\circ\text{C}$

На втором этапе, учитывая критерий тепловой активности частицы по отношению к поверхности основы, для интенсификации диффузионных процессов на границе раздела между чугуновой основой и газодинамическим покрытием предложено увеличить температуру контакта частицы и поверхности основы повышением температуры поверхности основы (T_n , К) до 500 °С и подогревом напыляемых частиц порошковой смеси за счет увеличения температуры рабочего газа ($T_{\text{р.г.}}$, °С) до 500 °С, что возможно конструкцией установки для напыления «ДИМЕТ – 403К» [8].

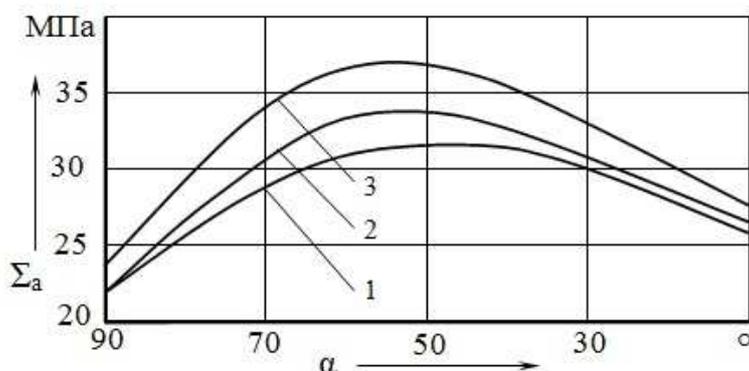


Рис. 5. Зависимость адгезионной прочности ($\Sigma_{\text{а}}$, МПа) от угла абразивной обработки (α , °): 1 – поверхность не подогрета; 2 – поверхность подогрета до 300°С; 3 – поверхность подогрета до 500°С

Таким образом, на основе вышеперечисленных мероприятий установлены технологические факторы процесса формирования адгезионных связей между газодинамическим покрытием и чугунной основой: время активации флюса - t_{ϕ} , мин; угол абразивно-струйной обработки - α , °; температура подогрева основы - $T_{п}$, °С; температура подогрева рабочего газа - $T_{р.г}$, °С.

Цель исследования: Определение влияния микроструктуры, элементного состава и фазового состояния границы раздела между чугунной основой и газодинамическим покрытием формируемых при реализации предложенного способа обработки чугунной поверхности на адгезионную прочность.

Методика экспериментальных исследований включает:

1. Планирование и реализацию многофакторного эксперимента по определению влияния технологических факторов на адгезионную прочность газодинамических покрытий и установлению их рациональных значений при восстановлении деталей ХГДН [9].

2. Исследование влияния технологических факторов на формирование границы раздела между основой и газодинамическим покрытием сопоставлением ее микроструктуры, элементного состава, фазового состояния с результатами определения адгезионной прочности групп образцов.

В соответствии с методикой исследования из картера коробки передач двигателя КамАЗ вырезали образцы одинаковой цилиндрической формы под нанесение газодинамического покрытия. Затем образцы были обработаны и разделены по группам согласно плану эксперимента. После чего, на установке «ДИМЕТ-403К» нанесли газодинамическое покрытие на чугунную основу, определенное матрицей планов эксперимента и с учетом рандомизации. В первой и второй сериях опытов значения технологических факторов варьировались на двух уровнях [9]. Статистической обработкой результатов получена математическая модель, адекватно описывающая процесс формирования адгезионных связей между газодинамическим покрытием и чугунной основой в заданных интервалах варьирования технологических факторов (2).

$$\bar{Y} = 40,38 + 1,08\chi_2 + 0,81\chi_3 + 0,61\chi_2\chi_3 - 0,63\chi_2^2 - 1,27\chi_3^2 + 0,37\chi_4^2 \quad (2)$$

где \bar{Y} – оценка математического ожидания (Σ_a , МПа); χ_k – независимые переменные в нормализованном виде.

При помощи математической модели найдены рациональные значения технологических факторов. Максимальная адгезионная прочность составила 61,2 МПа. Она достигается при температуре рабочего газа $T_r = 600^\circ\text{C}$ (873 К), температуре поверхности основы $T_{п} = 360^\circ\text{C}$ (633 К), времени активности флюса $t_{\phi} = 3,5$ мин., абразивной обработки поверхности под углом $\alpha = 50^\circ$.

На втором этапе эксперимента с помощью исследования с использованием комплекса микрозондовых методов анализа [10] в сочетании с новым способом определения адгезионной прочности газодинамических покрытий [11] определено влияние технологических факторов на формирование границы раздела между основой и покрытием. Исследования проведены на оборудовании Московского института стали и сплавов. Подготавливали пять групп образцов (табл. 1), отражающих изменение физико-химических свойств газодинамических покрытий, формируемых напылением на различных режимах.

Таблица 1

Характеристика исследуемых образцов

Параметры режимов нанесения покрытия	Группы образцов				
	1	2	3	4	5
Напыляемый материал	Al,Zn	Al,Zn	Cu Zn,	Zn	Al, Cu, Zn
Угол обработки поверхности, α°	90	50	80	70	60
Обработка поверхности флюсом	нет	есть	есть	есть	есть
Время активности флюса, $t_{\text{ф}}$ мин.	-	3,5	4	2	5
Температура поверхности, $T_{\text{п}}$ К	333	633	473	773	573
Температура рабочего газа, $T_{\text{р.г.}}$ К	573	873	673	573	773

Рабочие поверхности всех групп образцов подвергались струйной обработке электрокорундом Al_2O_3 . Образцы первой группы напыляли алюминий – цинковым покрытием (Al,Zn), на режиме, рекомендуемом заводом-изготовителем Обнинским центром порошкового напыления, для получения максимальной адгезионной прочности. Вторую группу напыляли тем же составом (Al,Zn), что и первую.

После этого поверхность образцов второй – пятой групп обрабатывали предлагаемым способом. Затем оборудованием «ДИМЕТ- 403К» на поверхность образцов нанесли газодинамическое покрытие толщиной 1 мм. Группу № 2 – на рациональном технологическом режиме, № 3,4,5 – с изменением параметров технологического режима. Способность цинка образовывать химические связи с другими элементами при напылении увеличивает адгезионную прочность. Поэтому образцы четвертой группы напыляли цинковым порошком (Zn). В пятую группу вошли образцы с покрытием из алюминия, меди и цинка (Al,Cu,Zn). Методом РСМА (рис. 6 и 7) обнаружено, что микроструктура основы чугуна (СЧ 25) всех образцов идентична и представляет собой перлитно – ферритную смесь (перлит пластинчатый) с включениями графита в виде пластинок и розеток.

Выявлено равномерное распределение фосфидной эвтектики. Подтверждено предположение, что поверхность чугунной основы насыщена несвязанным углеродом (графитом). При этом, как и ожидалось абразивная обработка поверхности электрокорундом (Al_2O_3) на режиме, известном ра-

нее (рис. 6) не устраняет его в полном объеме, а частицы абразива закрепляются в тех местах, где на поверхность выходит графит, тем самым, создавая подслои.

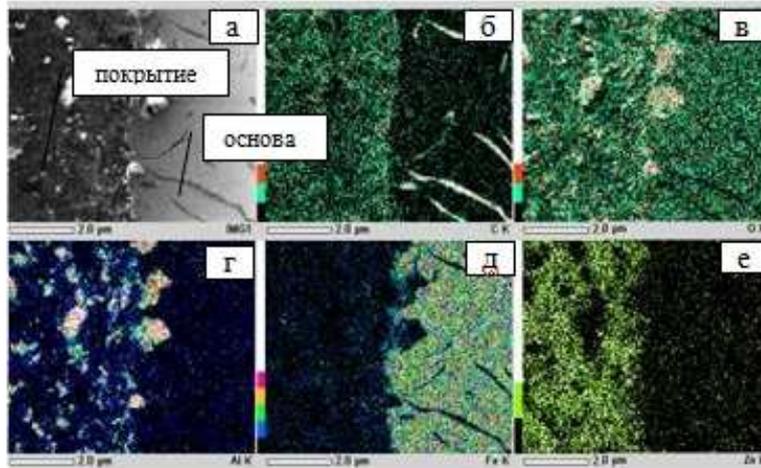


Рис. 6. Микроструктура границы раздела 1 группы образцов, исследуемая методом РСМА: а – в отраженных электронах $\times 1000$; б, в, г, д, е - в характеристических излучениях, $K\alpha \times 1000$ (б – углерода; в – кислорода; г - алюминия; д – железа; е – цинка)

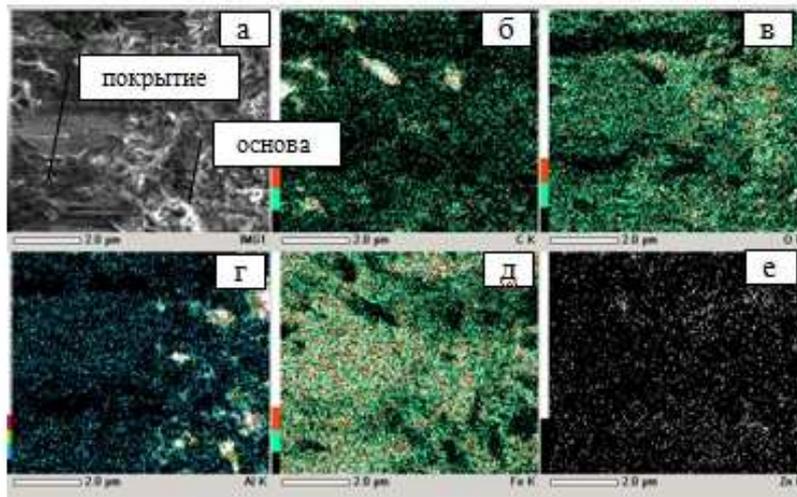
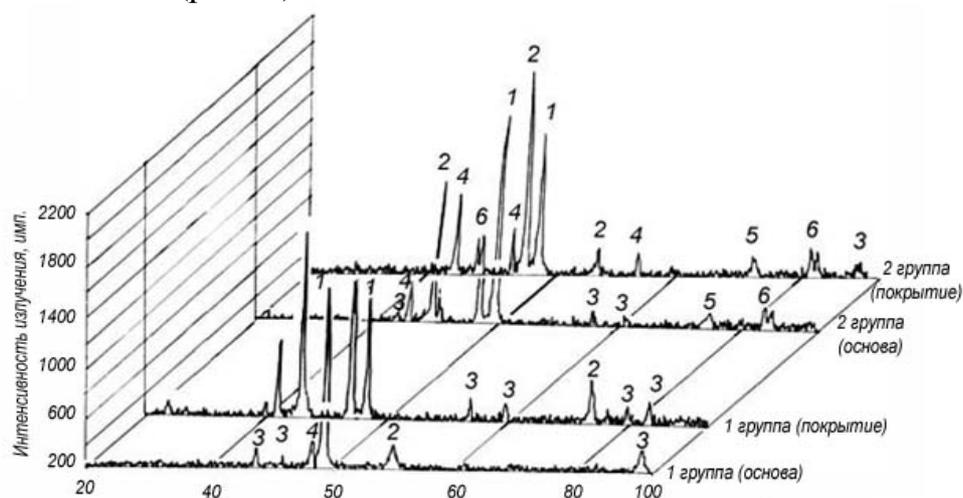


Рис. 7. Микроструктура границы раздела 2 группы образцов, исследуемая методом РСМА: а – в отраженных электронах $\times 1000$; б, в, г, д, е - в характеристических излучениях, $K\alpha \times 1000$ (б – углерода; в – кислорода; г - алюминия; д – железа; е – цинка)

В тоже время микроструктура 2 группы образцов, исследуемая методом РСМА показала наличие нечеткой границы раздела и существенное уменьшение частиц абразива в местах выхода графита на поверхность (рис. 7).

После РСМА покрытия всех групп образцов испытывали на адгезионную прочность отрывом по нормали штифтовым методом [11]. В результате установлено, что среднее значение адгезионной прочности образцов 1-й группы, напыленных на известном режиме составила 23 МПа. Максимальной адгезионная прочность 61,2 МПа обладают покрытия образцов второй группы, напыленной в рациональном технологическом режиме. Дальнейшие исследования поверхности излома были направлены на более глубокий анализ образцов 2-й группы, с использованием рентгенофазового анализа (РФА), рентгенофотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и масспектроскопии вторичных ионов (МСВИ) [10]. Рентгенодифрактограммы чугунной основы и газодинамического покрытия, образцов этих групп подтверждают результаты РСМА. При этом в контактной области 1 группы, (покрытие наносилось на стандартном режиме), составляющие фаз не изменились (рис. 8).



**Рис. 8. Рентгенодифрактограммы образцов 1-й и 2-й групп:
1 – Fe; 2 – Al; 3 – Al_2O_3 ; 4 – Zn; 5 – ZnO; 6 – $FeZn_4$; Fe_3Zn_7**

На поверхности основы так же присутствуют элементы цинка, алюминия и фазы (Al_2O_3). В то же время во второй группе образцов, где покрытие наносили после подготовки поверхности предлагаемым способом (см. рис. 8), на границе раздела кроме Zn и Al, обнаружены оксиды цинка (ZnO), а также интерметаллиды ($FeZn_4$, Fe_3Zn_7). Сопоставление результатов испытаний адгезионной прочности с элементным и фазовым составом групп образцов позволило установить что присутствие сегрегаций Al, Zn на границе раздела между основой и покрытием увеличивает адгезионную прочность, а наличие свободного углерода и фазы Al_2O_3 снижает её. Вместе с тем, окончательный вывод возможен после подтверждения полученных результатов методами РФЭС и МСВИ.

Сравнительный анализ методом РФЭС поверхностей излома образцов 1-й и 2-й групп, позволил выявить различия в процентном содержании химических элементов на границе раздела между основой и газодина-

мическим покрытием. Доказано, что у образцов 2-й группы (напыленных в рациональном режиме) концентрация атомарного углерода на прилегающих сторонах покрытия и основы снизилась с 34% до 17%, по сравнению с 1-й группой (табл. 2).

Таблица 2

Концентрации элементов на поверхности образцов после травления 20 мин, атомн. %

Группы образцов		C	O	Zn	Fe	Si	Al	Cl
№ 1	покрытие	14,5	22,6	23,0	5,3	1,2	33,4	-
	основа	37,0	14,8	11,0	30,6	1,9	4,7	-
№2	покрытие	4,4	29,2	23,0	-	1,0	39,6	2,8
	основа	17,0	18,2	21,0	28,6	1,6	8,9	4,7

МСВИ установлено распределение элементов на границе раздела (рис. 9). При этом доказано, что в поверхностном слое образцов 2 группы, напыленных на рациональном режиме концентрация углерода и электрокорунда снизилась. При травлении металлической основы на глубину до 3 мкм обнаружены атомы цинка, что подтверждает возможность протекания диффузионных процессов при низких температурах.

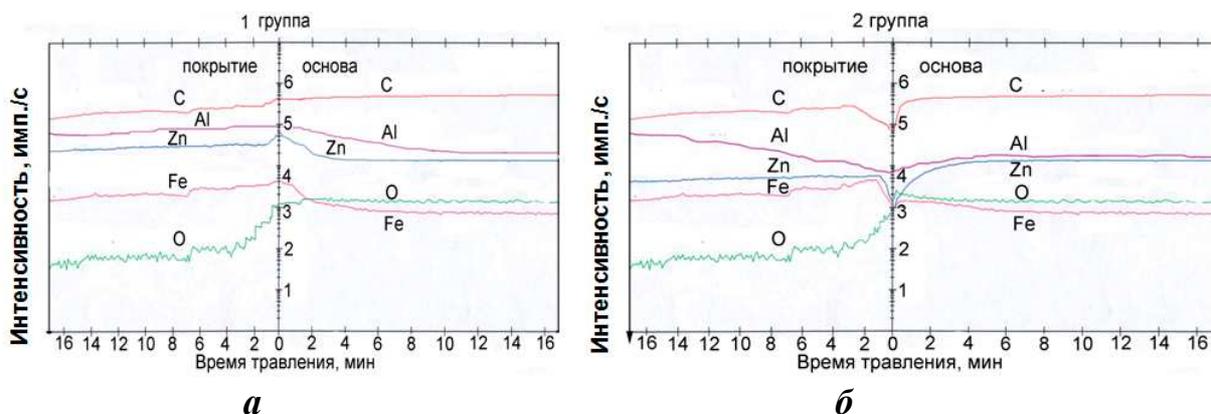


Рис. 9. Масс-спектры исследуемых групп образцов: а – образцы 1-й группы; б – образцы 2-й группы

Таким образом, доказано, что холодное газодинамическое напыление порошков на чугунную основу предлагаемым способом и на рациональном режиме обеспечивает формирование переходного слоя между основой и покрытием, влияющим на величину адгезионной прочности газодинамических покрытий. На основе нового способа восстановления корпусных деталей холодным газодинамическим напылением разработан технологический процесс (рис. 10), реализация которого, позволила расширить номенклатуру ремонтируемых деталей.

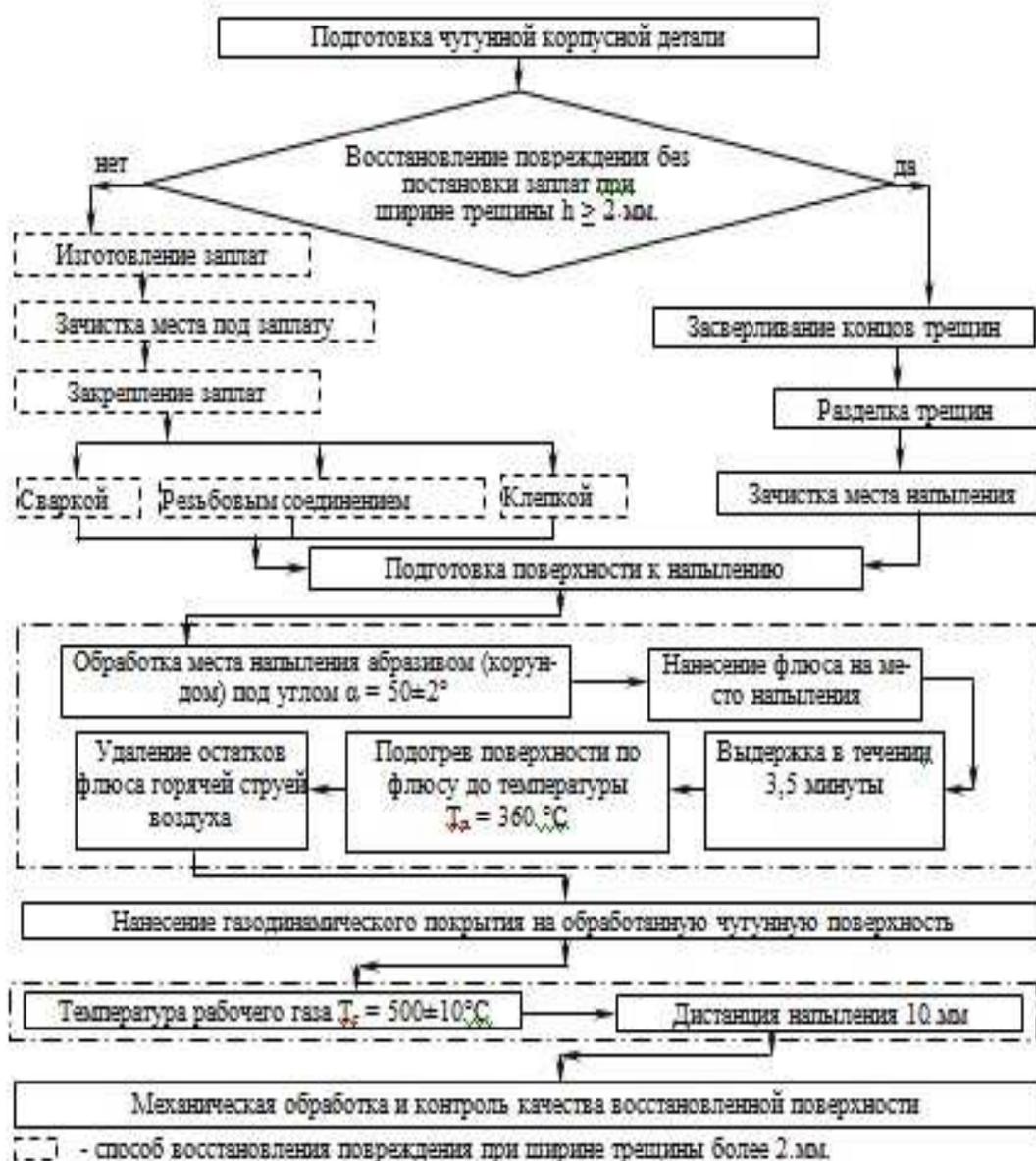


Рис. 10. Схема технологического процесса восстановления чугуновых корпусных деталей ХГДН

Выводы:

1. Установлено, что поверхность чугуновой основы насыщена несвязанным углеродом, при этом абразивная обработка поверхности корундом (Al_2O_3) под углом 90° способствует закреплению частиц абразива в местах дислокации графита, создавая подслои со слабыми механическими связями, снижающими адгезионную прочность холодных газодинамических покрытий.

2. Предложенный способ восстановления деталей ХГДН, базирующийся на рациональном технологическом режиме, обеспечивающий снижение в переходном слое между основой и покрытием концентрацию сво-

бодного углерода и корунда в 2 раза и формирование интерметаллидов железа и цинка, позволяет достичь высокой адгезионной прочности (до 61,2 МПа) газодинамического покрытия на чугунной поверхности.

3. Результаты внедрения нового способа обеспечения адгезионной прочности газодинамических покрытий в технологический процесс восстановления чугунных корпусных деталей ХГДН позволили увеличить прочность сцепления чугунной основы с покрытием в 2,6 раза, тем самым расширить номенклатуру ремонтируемых деталей.

4. Результаты настоящего исследования имеет существенное значение для увеличения адгезионной прочности газодинамических покрытий на корпусных деталях из высокоуглеродистых сплавов - чугунов, а разработанная на них усовершенствованная технология обеспечит расширение номенклатуры восстанавливаемых ХГДН деталей БТВТ и ВАТ и повышение эффективности подвижных ремонтных органов ВС РФ.

Список литературы

1. Концепция развития подвижных средств восстановления бронетанкового вооружения и техники и военной автомобильной техники на период до 2030 года. [Текст]: офиц. текст. М.: Изд-во ГАБТУ МО РФ, 2016. 275 с.

2. Техническое обеспечение войск (сил) во внутреннем конфликте [Текст]: отчет о НИР «Зубр» (заключ.): 2-0110 / 21 НИИИ, рук. В.В. Шипилов; исполн.: А.П. Тарасов, В.Ф. Шолудько [и др.]. Бронницы, 2001. 136 с.

3. Клюев О.Ф., Буздыгар Т.В., Шкодкин А.В. Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций [Текст] // Материалы 6-й междунар. науч.-практ. конф. Санкт – Петербургский государственный университет. С-Пб, 2004. С. 185-193.

4. Коберниченко А.Б. Обеспечение адгезионной прочности при восстановлении деталей военной автомобильной техники плазменным напылением: дис. ... канд. техн. наук: 20.02.17. Рязань, 1996. 187 с.

5. Гедзь А.Д. Метод обеспечения адгезионной прочности газопламенных покрытий при восстановлении деталей военной автомобильной техники [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 20.02.17: защищена 17.06.04. Рязань, 2004. 173 с.

6. Пат. № 2306368 Российская Федерация. Способ нанесения покрытий [Текст] / Коберниченко А.Б.; Куприянов Г.В.; заявитель и патентообладатель РВАИ (RU). №2006114201/02; заявл. 25.04.2006; опубл. 20.09.2007. 5 с.

7. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела ТЗ [Текст]. М.: Наука, 1981. 480 с.

8. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст]. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.

9. Пат. № 2201472 С2 Российская Федерация. Портативное устройство для газодинамического напыления покрытий [Текст] / Каширин А.И., Клюев О.Ф., Бuzдыгар Т.В., Шкодкин А.В.; заявитель и патентообладатель Обнинский центр порошкового напыления (RU) - № 2003125602/02; заявл. 21.08.2003.; опубл. 27.07.2005, 10 с.

10. Пат. № 2309397 Российская Федерация Способ определения адгезионной и когезионной прочности газотермических покрытий [Текст] / А.Б. Коберниченко, Г.В. Куприянов; заявитель и патентообладатель РВАИ (RU). - № 2006109799/28; заявл. 27.03.06 ; опубл. 27.10.07. Бюл. № 30. 5 с.

11. Коберниченко А.Б. Комплекс микрозондовых методов анализа при исследовании адгезионных связей в системе «основа (сталь) – газопламенное покрытие (сплав Ni-Al)» [Текст]. / А.Б. Коберниченко, А.Д. Гедзь. // Науч. техн. сб. воен. автомоб. ин-та. Рязань, 2004. № 14. С. 70-74.

Куприянов Георгий Владимирович, канд. техн. наук, доц., kgw1975@mail.ru, Россия, Рязань, Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище имени генерала армии В.Ф. Маргелова

**METHOD OF REPAIRING DAMAGE BODY PARTS OF MILITARY EQUIPMENT
COLD GAS-DYNAMIC SPRAYING**

G.V. Kupriyanov

The paper presents a method of repairing damage of a cast iron body parts in the form of cracks, holes and chips cold gas-dynamic spraying based on the provision of adhesive strength of gas-dynamic coating on cast iron base, due to the developed by the authors of a new operation of surface preparation for coating.

Key words: cold gas dynamic spraying, gas-dynamic coating, adhesion strength, cast-iron base, body parts, military equipment.

Kupriyanov Georgy Vladimirovich, candidate of technical sciences, docent, kgw1975@mail.ru, Russia, Ryazan, Ryazan higher airborne command school named after army General V.F. Margelov