

## **Research of the wear resistance Ni-Cr-B-Si, reduction coatings modified with mechanically activated SHS materials**

The article describes the research of resource-saving technology restoration working organs of agricultural machines, subject to abrasive wear during operation.

A composite material based on the Ni-Cr-B-Si powder material modified with mechanically activated material obtained using the SHS process is proposed for restoration by electric arc welding.

The results of the research showed that the wear resistance of the developed composite material exceeds the wear resistance of the weld layer by the PG-10N-01 powder by a factor of 2, which allows recommending it for increasing the life of the restored working organs of agricultural machines.

**composite material, SHS-process, mechanoactivation, matrix material, carbide, oxide, surfacing, wear resistance**

Одержано 31.10.17

УДК 621.791

**Т.С. Скобло, проф., д-р техн. наук, А.И. Сидашенко, проф., канд. техн. наук, И.Н. Рыбалко, канд. техн. наук, А.В. Марков, инж.**

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков, Украина*

*E-mail: kafedraTSRP@i.ua*

## **Применение модифицирующих присадок для восстановления деталей машин**

Выполнены исследования по оценке эффективности способа модифицирования процесса восстановления стальных деталей наплавкой для повышения износостойкости. Модифицирование предусматривает повышение качества восстанавливаемого слоя и переходной зоны. Поиск технологических приёмов введения добавки показал, что такие требования к качеству может быть обеспечено дозированным её вводом в жидкую ванну. Установлено, что оптимальной является присадка углеродсодержащей микроалмазной фазы 5-7% от доли проволоки. Сопоставительно оценена возможность использования в качестве модификатора (нано- и микро) природного углеродсодержащего компонента – шунгита и вторичного сырья.

**модифицирование, нано- и микроалмазы, шунгит, детонационная шихта**

**Т.С. Скобло, проф., д-р техн. наук, О.І. Сідашенко, проф., канд. техн. наук, І.М. Рибалко, канд. техн. наук, О.В. Марков, інж.**

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенко, м. Харків, Україна*

## **Використання модифікуючих домішок для відновлення деталей машин**

Виконано дослідження з оцінки ефективності способу модифікування процесу відновлення сталевих деталей наплавленням для підвищення зносостійкості. Модифікування передбачає підвищення якості відновлюваного шару і перехідної зони. Пошук технологічних прийомів введення добавки показав, що такі вимоги до якості може бути забезпечене дозованим її введенням в рідку ванну. Встановлено, що оптимальною є присадка вуглецевмісної мікроалмазної фази 5-7% від частки дроту. Порівняльно оцінена можливість використання в якості модифікатора (нано- та мікро) природного вуглецевмісного компонента - шунгіта і вторинної сировини.

**модифікування, нано- та мікроалмази, шунгіт, детонаційна шихта, зносостійкість, відновлювальне наплавлення**

© Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, И.Н. Рыбалко, А.В. Марков, 2017

**Постановка проблемы.** Для повышения эксплуатационной стойкости изделий в процессе их восстановления используют наплавочные материалы с легирующими добавками. При реализации технологического процесса, с учётом требований эксплуатации, вводят различные компоненты. Если производство предусматривает использование поточных линий с большим набором восстанавливаемых деталей, то, с учётом требований по достижению физико-механических свойств и структуры металла, будет эффективным применение значительного набора различных марок проволок для удовлетворения такой потребности. Для малых объемов восстановления это весьма затратная технология. Поэтому было принято решение для повышения твердости и износостойкости покрытий опробовать модифицирование нанопорошками алмаза и природного фуллерена (шунгита) для упрочнения восстанавливаемого слоя наплавкой. Можно предположить, что введение таких порошков позволит не только обеспечить упрочнение при наплавке за счет измельчения зерна, но и снизит износ изделий в процессе эксплуатации.

Выполнены исследования по получению детонационной шихты, которая может быть использована как для модифицирования жидкого металла при восстановительной наплавке изделий, так и ввода в различные смазки для повышения эксплуатационной стойкости деталей и сопряжений.

Для утилизации использовали 12,7 мм патроны с обычной пулей, срок хранения которых истек, согласно действующей нормативной документации.

Патроны утилизировали методом сжигания при нагреве до температуры самопроизвольной их детонации с доступом кислорода без добавления вспомогательных детонирующих веществ [1].

Шихта при таком способе утилизации была разделена на первом этапе на две фракции: не магнитная и магнитная.

Проведенными экспериментами было установлено, что полученную методом сжигания мелкую шихту можно легко разделить по компонентам при следующих обработках: в начале отделением магнитной составляющей (отделяется фракция, содержащая окислы железа), а затем оставшуюся не магнитную – просевом через сито (отделяется дисперсная углеродосодержащая фракция и частично окислы меди, железа) и более грубая сфероидизированная фракция, содержащая медь, углерод и железо.

Крупная фракция может быть использована при выплавке металла.

Такое разделение позволяет использовать полученное вторичное сырье для производства и восстановления различных изделий из черных и цветных металлов.

Анализом установлено, что в не магнитной шихте углерод, в основном, находится в виде алмазных включений (нано- и дисперсных) и частично – графита.

При используемом способе детонации легкоплавкие компоненты утилизируемого сырья оплавились уже в начале периода обработки и самопроизвольно поступали через отверстия, сформированные в дне емкости, используемые для детонации. Основным содержанием шихты являются 3,37-3,43% С, 2,9% Fe, 3,14% Cu.

Прежде чем оценить эффективность использования такой шихты в качестве модифицирующей присадки было необходимо оценить влияние размера фракций её составляющих и степень вклада в достижение необходимых эксплуатационных показателей (оценить характер переходной зоны при наплавке, склонность к развитию дефектов, напряжённое состояние, величину формируемого зерна, распределение химических элементов по сечению восстановленного слоя). Поскольку это трудно реализовать при использовании такой шихты, т.к. в одном зерне порошка могут находиться все перечисленные компоненты, то провели предварительное моделирование для установления влияния наиболее значимого влияния углерода в виде

алмазных порошков различных фракций – нано- и микро, полученных также детонационным методом, а также природного углеродсодержащего компонента – шунгита (дробленного специально).

**Анализ последних исследований и публикаций.** В ранее проведенных исследованиях по применению нано- и микродобавок углеродсодержащих модифицирующих присадок, была показана эффективность их использования для увеличения эксплуатационной стойкости резьбовых соединений. Такой модификатор детонационной шихты [2, 3] вводили в пластичную смазку, и он существенно повышал срок службы сопряжений, т.к. содержал достаточно большое количество кислорода и обеспечивал формирование вторичных защитных структур (окисных плёнок).

Что касается других типов модифицирующих присадок, то также имеется значительный опыт их использования [4, 5] при восстановительной наплавке различными методами (лазерный, электродом, проволокой со специальной её подготовкой к введению различных композиций). В связи с этим представляет интерес и установление возможности использования с оценкой степени эффективности применения детонационной шихты для повышения прочности сцепления покрытия с основой, измельчения зерна, уменьшения зоны термического влияния, что одновременно существенно снизит затраты по сравнению с модифицированием дорогими присадками нано- и дисперсных алмазов специального производства.

**Постановка задания.** В связи с этим целью работы явилось проведение сопоставительного анализа для установления влияния различных фракций модифицирующих присадок для оценки эффективности процесса восстановления и упрочнения деталей с обоснованием параметров процесса.

Для выполнения поставленной цели использовали комплексные, современные методики исследований.

**Изложение основного материала.** На первом этапе введение наноалмазов разных фракций, а также дробленного шунгита осуществляли путем нанесения шликерного покрытия на 20мм вал, а затем аналогичный эксперимент провели при дозированном введении модифицирующих присадок с нанесением лунок на проволоку и, заполнением их порошком. При нанесении порошка в качестве связующего элемента использовали клей ПВА. После просушки слой оплавливали с использованием проволоки Св-08Г2С. Долю вводимой присадки изучали в пределах 3-15% по отношению к металлу электрода или проволоки.

Зона проплавления, в среднем, составляла 5 мм. Одновременно вал наплавляли той же проволокой Св-08Г2С без ввода упрочняющих добавок. Исследования микрошлифов до травления показало, что в наплавленном слое формируется минимальное количество неметаллических включений, в то время как их доля в основном металле существенно выше. При наплавке с использованием наноалмазного порошка выявлено наличие дисперсных включений черного и белого цветов.

В этом случае белые включения дисперсностью 50 – 100 нм располагаются слоями, которые характеризуют его поэтапную кристаллизацию за счёт их оседания на границу раздела жидкость → кристаллизующийся слой. Более мелкие включения нанопорошка в жидком слое, находясь во взвешенном состоянии, затем выделяются по телу и границам зёрен. Наблюдаемое связано с тем, что эти включения оседают по мере формирования зон кристаллизации при многослойной наплавке. Крупные темные включения (агрегатированные наноалмазы) располагаются равномерно и не выкрашиваются по мере подготовки шлифа к металлографическим исследованиям.

Включения шунгита характеризуются чёрным цветом и большими размерами, что связано с недостаточным дроблением из-за очень высокой их твердости.

Мелкие включения наноалмазов выделяются по границам зёрен, которые

отличаются повышенным уровнем микротвёрдости. Так, микротвёрдость зёрен с добавкой наноалмазов на 20% выше, чем при наплавке без их ввода.

Для более равномерного распределения наноалмазов исследовали их дозированный ввод за счет нанесения лунок определённого размера, согласно патента [6].

После травления наиболее мелкозернистая структура характерна для наплавленного слоя с добавкой наноалмазов (рис. 1). Размер зёрен не превышает 3-5 мкм. Феррит располагается по границам зёрен. Структура зёрен матрицы – игольчатый бейнит.

При введении шунгита структура наплавленного слоя характеризуется заметной неоднородностью – различными по размеру зёрнами (рис. 2). Шунгит также как и наноалмазы не растворяется. Его включения более крупные и вместе с ферритом располагаются по границам зёрен. Структура зёрен матрицы – игольчатый бейнит, который практически не отличается от наплавки с введением наноалмазов.

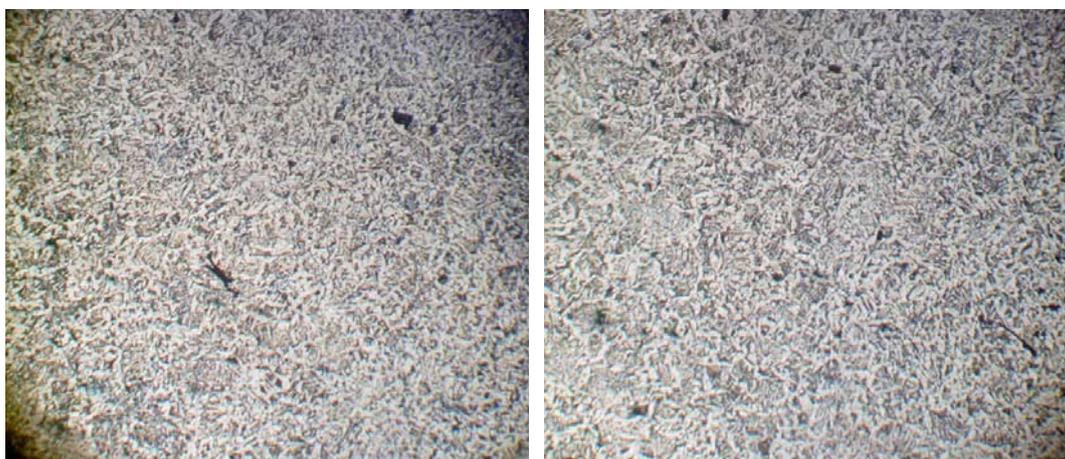


Рисунок 1 – Микроструктура зоны наплавленного слоя с введением наноалмазов, x1000

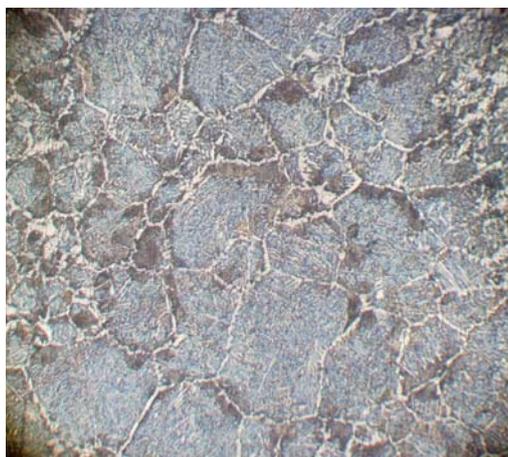


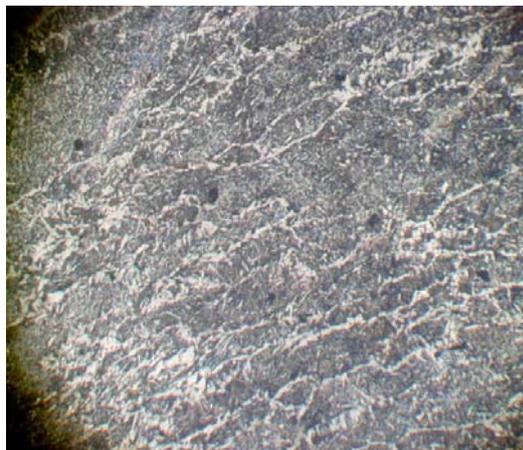
Рисунок 2 – Микроструктура зоны наплавленного слоя, модифицированного шунгитом, x1000

Без добавок модифицирующих порошков структура существенно отличается. В таком покрытии формируются дендриты, и они направлены в сторону к теплоотводу при кристаллизации (рис.3), формируются вытянутые зёрна. Феррит располагается как по границам зёрен, так и по их телу, а также полосами в виде отдельных выделений и скоплений (рис. 3). Наиболее мелкое зерно и его равномерное распределение характерно для наплавки с нанопорошками и дозированным их вводом. Зона

сплавлення с добавками микро- и наноалмазов, шунгита (рис. 4) имеет волнистый характер, в то время как при наплавке только проволокой она резко выражена и, в ряде случаев, отличается прямолинейностью, наличием трещин и пористостью на границе раздела (рис. 5).



Рисунок 3 – Микроструктура зоны наплавленного слоя без ввода модификаторов x1000



а



б

а – шунгита, x100; б – наноалмазов, x1000

Рисунок 4 – Граница раздела при наплавке с добавками



а



б

а – трещина на границе раздела; б – чётко выраженная переходная зона

Рисунок 5 – Граница раздела при наплавке без добавок углеродсодержащих порошков, x1000

Измерения микротвердости показали, что при введении микроалмазов в зону наплавки, она также повышается на 20%. При введении шунгита микротвёрдость возрастает на 11%. Это свидетельствует о том, что углесодержащие включения этой присадки имеют больший размер и их меньше, зерно крупнее. Можно предположить, что шунгит, введённый при наплавке был плохо раздроблен, из-за чего отмечалась большая структурная неоднородность, чем при введении наноалмазов. Микротвердость в исходном материале составляла, в среднем, Н-50-185. При введении наноалмазов в зоне феррита с наличием включений она достигала Н-50-214-221, а в зонах без них – Н-50-157-161. Микротвердость феррита при введении шунгита достигала Н-50-175-214, а - сорбита Н-50-185-227, т.е. при его введении микротвердость изменялась в более широких пределах. В зоне термического влияния при введении алмазного порошка микротвердость не отличается от зон без него и составляет Н-50-112-214. При введении шунгита уровень микротвердости в зоне термического влияния, в среднем, выше на 15% и составляет Н-50-221-237. Наблюдаемое связано с тем, что введение порошка меньшей дисперсности больше снижало температуру жидкой ванны, чем при введении нано- и микродисперсных порошков алмазов.

В связи с тем, что включения наноалмазов располагаются зонально, то дополнительно анализировали микротвёрдость при нагрузке 20 г. В этом случае исследования показали, что микротвёрдость в различных зонах с введением нанопорошка возрастает в 1,54 раза (с Н-20-237 до Н-20-321), что существенно может увеличить износостойкость восстановленных изделий.

В результате проведенных исследований было выявлено, что оптимальной температурой наплавки является 1550-1600°C при вводе таких модифицирующих присадок.

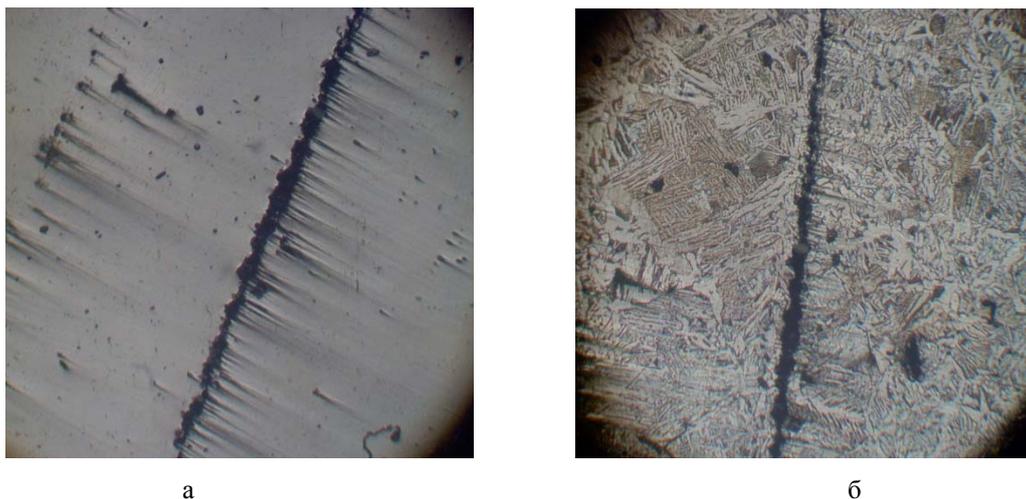
Метод опробован для восстановления изделий из сталей 30ГСЛ, 20ГСЛ. Эффективно может быть использована проволока Св08Г2С,  $d=1,2$ мм. Для равномерного распределения исследуемых добавок, которые плавятся лишь при  $t=4000^\circ\text{C}$ , эффективным будет обеспечение их дозированного ввода.

Эту проблему решали нанесением (накаткой) роликом лунок с двух сторон на проволоке и с использованием специальной технологии заполнения их порошком, что обеспечило послойный дозированный ввод присадки [7]. Как показали эксперименты, доля вводимых порошков (нано- и дисперсных алмазов или шунгита) должна находиться в пределах 5-7% от массы проволоки, что, примерно, в два раза меньше, чем при использовании для модифицирования шлакообразующих смесей.

Основными оптимальными параметрами технологического процесса являются: сила тока 160А; напряжение 20В; смещение проволоки с зенита – 2 мм; скорость подачи проволоки – 0,04 м/с; частота вращения вала  $d=35$ мм – 2 об/мин.

Для формирования лунок на проволоке использовали давление роликами 0,30-0,60 кН. При этом лунки имели глубину 0,13-0,19 мм, а их диаметр составлял 0,35-0,52мм [2]. Расстояние между лунками изменяли с учетом необходимой доли вводимого модификатора.

При отклонении от оптимальных параметров нанесения покрытий с дозированным вводом модифицирующей присадки не формировалась волнистая переходная зона (15-30мкм в сечении), которая надежно обеспечивает соединение с основной. С увеличением доли вводимого углеродсодержащего модификатора отмечалось его выпадение на границе с основным металлом в виде скоплений микро- и наноалмазов и формированием трещин, также послойным выделением их скоплений (см. рис. 5,а и рис. 6).



а – до травления; б – после травления 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте, x1000  
Рисунок 6 – Выпадение на границе раздела покрытие-основа скоплений наноалмазов

Детальный анализ влияния на структурообразование различных углеродсодержащих добавок показал, что независимо от размера их фракций такие модифицирующие присадки являются эффективными. Наибольший вклад в измельчение зерен и формировании волнистой границы с основой при кристаллизации вносят наноалмазы. В детонационной шихте от утилизации боеприпасов формируется как нано- так и микродисперсные алмазы, поэтому можно предположить об эффективном использовании такого материала для модифицирования при восстановлении деталей наплавкой.

Их эффективное влияние определяется измельчением зерна, повышением износостойкости и прочности переходного слоя за счет неоднородного оседания на дно жидкой ванны единичных наноалмазов и формирования «волнистой» переходной зоны при дозированном вводе присадки.

Применение наноалмазов является дорогой присадкой для модифицирования и потому целесообразным будет использование дисперсной, специально подготовленной и дробленой не магнитной детонационной шихты, получаемой при утилизации боеприпасов, которая в своем составе содержит микро- и наноалмазы.

С учётом этого целесообразно оценить их распределение в зонах наплавки и переходной, чтобы обеспечить повышение необходимых показателей прочности, твердости и износостойкости изделий.

Для реализации этого провели следующие исследования:

- разделили получаемую шихту по фракциям и составу;
- оценили распределение компонентов, которые были введены с наплавкой проволокой и добавкой детонационной шихты.

При наплавке использовали немагнитную составляющую детонационной шихты с размером зерен от нано- до 20 мкм от утилизированных патронов, а в качестве проволоки использовали марку ER-321 при формировании на ней лунок для дозированного ввода. Такая проволока выбрана в связи с тем, что рассматривали вариант восстановления деталей с покрытием из нержавеющей стали.

Локальным спектральным анализом установлено, что в нанесенном слое (рис. 7, зоны анализа 1 и 4) содержание выявленных компонентов довольно близкое. Колебания в концентрации: 0,06C; 0,8Si; 1,7Mn; 19,0Cr; 9,0Ni; 0,6Ti, что не превышает 3-5%. Восстановленный наплавкой слой отличается однородностью по распределению

углерода, кремния, титана и алюминия. В этом слое выявлена минимальная доля серы и меди. Незначительные колебания характерны для распределения марганца (0,99-1,24%), что может быть связано с формированием дисперсных неметаллических включений MnS, т. к. только в таких зонах выявлено содержание серы, равное 0,02-0,07% (табл. 1).

Анализируя данные распределения компонентов в переходной зоне восстановленного слоя при повышенной доле вводимой шихты, алмазы оседают на границу раздела, почти полностью покрывая её и, при этом, не формируется волнистая структура сплавления. При этом, по сравнению с концентрацией компонентов основы, отмечаются следующие изменения: углерод (см. рис. 7, зоны анализа 2 и 3) возрастает на 30% по сравнению с наплавленным слоем, что свидетельствует о повышенном осаждении наноалмазов, содержащихся в шихте, на дно жидкой ванны. Это также подтверждается и тем, что в этих зонах дополнительно выявлен кислород, концентрация которого довольно близкая 0,94-1,0%, а этот компонент входит в наноалмазы, полученные детонационным методом (табл. 2).

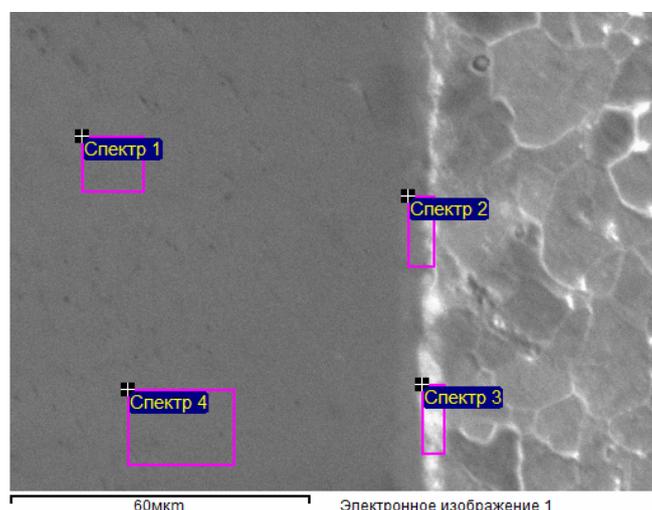


Рисунок 7 – Микрорентгеноспектральный анализ восстановленного слоя и переходной зоны при вводе шихты 10-12% относительно доли проволоки

Таблица 1 – Распределение химических элементов в восстановленном слое и переходной зоне

Химические элементы	Спектры			
	1	2	3	4
C	6,39	8,01	8,28	6,61
Al	0,07	-	-	0,06
Si	0,25	-	0,08	0,29
S	0,07	-	-	0,02
Ti	0,44	-	-	0,57
Cr	16,92	5,00	3,97	16,33
Mn	1,48	0,61	0,46	1,18
Fe	83,19	99,17	99,83	84,65
Ni	5,99	1,48	1,15	5,82
Cu	0,13	-	-	0,05
O	-	0,94	1,00	-
Na	-	-	-	0,01

Характерным для переходного слоя при оптимальной добавке вводимого модификатора является снижение концентраций хрома и никеля, которые не превышают 5-10% от их доли в наплавленном слое (снижается до 3,97 и 1,15 соответственно). Вместе с тем, их концентрация по периметру переходной зоны довольно однородная. Наличие таких компонентов в переходной зоне определяется их диффузией при наплавке, что обеспечивает повышенную прочность сцепления. В этой зоне снижается концентрация марганца до 0,46% и кремния до 0,08%. Их доля определяется содержанием компонентов основного металла. Кроме того, в переходной зоне отсутствуют алюминий, титан и медь, которые были в небольших количествах внесены в наплавленный слой вместе с проволокой и модифицирующей шихтой.

На глубине 70 мкм от зоны сплавления (табл. 2) концентрация хрома не превышает 0,21%, а никель отсутствует, то есть на этой глубине уже полностью не проявляются диффузионные процессы. В основном металле (зона анализа 4) дополнительно выявлены лишь кремний (0,09) и марганец (0,53%).

Статистический анализ наплавленной зоны, а в ряде случаев и переходной, дополнительно выявили наличие натрия. Анализом установлено, что компоненты Na, O, Ti, Al, S распределены не равномерно, то есть не во всех анализируемых зонах они выявляются (табл. 2). В переходной зоне отмечается увеличение доли углерода (в среднем, до 25%). Одновременно появляется кислород до (1,1%), что подтверждает наличие оседающих дисперсных алмазов.

Таблица 2 – Распределение компонентов в спектрах

Химические элементы	Спектры и концентрации компонентов, исследуемых в различных зонах			
	1	2	3	4
C	5,48	6,05	5,42	5,65
Si	-	0,04	-	0,09
S	-	0,13	-	0,12
Ti	-	0,32	-	-
Cr	1,76	2,79	0,21	-
Mn	-	0,57	0,24	0,53
Fe	93,62	91,59	93,83	88,23
Ni	0,55	0,94	-	-

Оптимальной концентрацией вводимой детонационной шихты является добавка 5-7%, которая обеспечивает незначительное количество осаждения дисперсных алмазов на границу наплавленной зоны с основным металлом детали, что формирует ее волнистой и значительно повышает прочность сцепления. Обеспечения такого эффекта осуществляли дозированным вводом шихты в процессе наплавки. Из приведенного рис. 8 видно, что в этом случае концентрация Cr, Ni, Mn достаточно равномерная в наплавленном слое и заметно снижается в переходной зоне и основном металле.

На рис. 9 приведена микроструктура наплавленного слоя с модифицированием не магнитной фракции мелкой детонационной шихты от утилизации боеприпасов.

Четко видно, что при оптимальной добавке модификатора граница сплавления формируется волнистой и изменяется в пределах 15-20мкм. Это обеспечивает высокую прочность сцепления покрытия с основой. В случае неиспользования дозированного ввода модифицирующей присадки отмечается осаждение дисперсных алмазов в жидкой ванне на ее дно - границу наносимых слоев с возможным появлением трещин и формированием неоднородной структуры. Разработанная технология повышения эксплуатационных свойств покрытий с использованием детонационной шихты для модифицирования защищена патентом Украины №98213 [7].

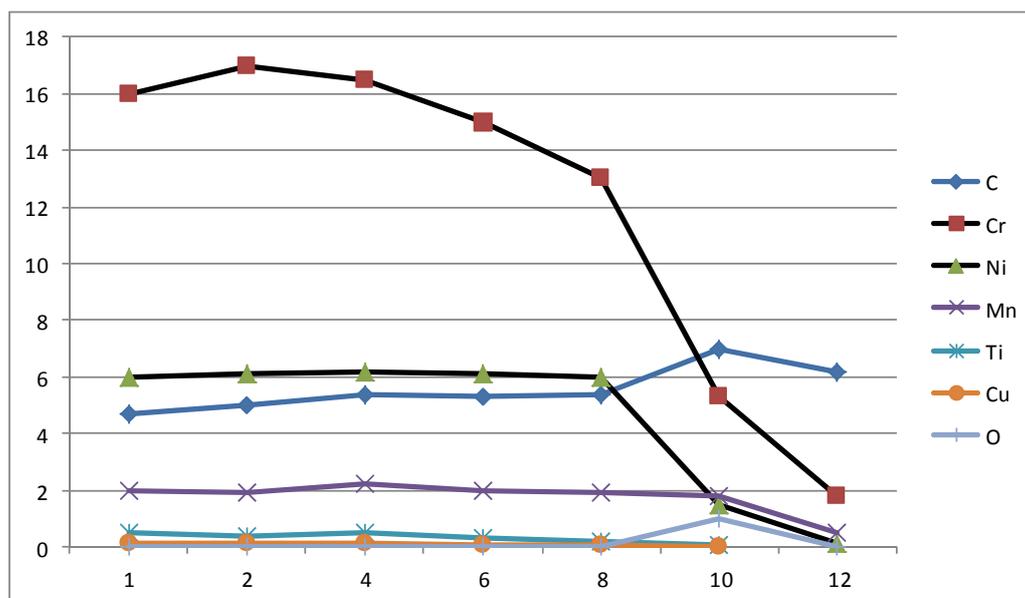


Рисунок 8 – Распределение компонентов по сечению восстановленного слоя, переходной зоны и основного металла при оптимальной добавке модифицирующей присадки

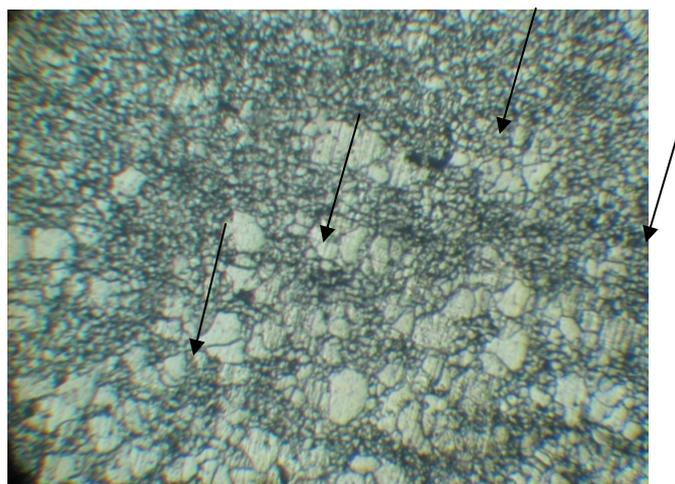


Рисунок 9 – Бейнитная микроструктура наплавленного слоя с использованием не магнитной фракции мелкой детонационной шихты, x1000

**Выводы.** При разработке эффективной, менее затратной технологии использования вторичного сырья детонационной шихты от утилизации боеприпасов для модифицирования восстановительных покрытий наплавкой на первом этапе исследований анализировали влияние углеродсодержащих присадок природного происхождения – шунгита и детонационного – нано- и микродисперсных алмазов. Это позволило выявить не только влияние их на структуру металла, но и определить оптимальные параметры технологического процесса, осуществлять его корректировку. Такой подход особенно важен, поскольку при утилизации боеприпасов получают шихту, содержащую различные фракции алмазов

Исследования показали, что наибольший вклад в дробление формируемой структуры обеспечивают вводимые наноалмазы. Они, модифицируя металл покрытий, измельчают зерно до 3-5 мкм, предотвращают грубую кристаллизацию дендритной структуры в покрытии.

Установлено, что влияние модифицирующих присадок шунгита и дисперсных алмазов проявляется несколько в меньшей степени, чем порошков nano. В этом случае уровень микротвёрдости повышается в покрытии на 11%, а при введении nanoалмазов в 1,54 раза. Наблюдаемое определяется тем, что более крупная фракция алмазов и шунгита распределяется по границам зерен, а nanoалмазы дополнительно и по телу зерна.

Выполнены исследования по определению эффективного способа введения детонационной шихты от утилизации боеприпасов, содержащие алмазы различных фракций.

Локальным микрорентгеноспектральным анализом показано, что модифицирующие присадки не изменяют ликвации компонентов в покрытии при использовании различных по составу проволок.

Наибольшее влияние введение присадок оказывает на переходную зону покрытие – основной металл, а также способ внесения присадки. Показана необходимость корректировки доли вводимой присадки. Оптимальной является присадка в количестве 5-7% от доли проволоки.

Сопоставительные исследования способов модифицирования нанесением шликерного покрытия и дозированным вводом порошка совместно с проволокой показали эффективность второго. Такой подход обеспечил незначительное оседание не растворимых алмазных включений с формированием волнистой структуры переходного слоя размером 15-20 мкм. Это подтверждено микрорентгеноспектральным анализом. Выявлено некоторое повышение углерода и кислорода на такой границе.

## Список литературы

1. Марков, А.В. Утилизация боеприпасов для вторичного использования при производстве и восстановлении деталей [Текст] / А.В. Марков // Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». – Харьков, 2013. – №8. – С. 52-55.
2. Патент №107500 Україна, МПК G01B 21/8 (2006.01) Спосіб визначення товщини захисних оксидних плівок, що формуються при терті / Т.С. Скобло, О.Ю. Марченко, О.І. Сідашенко, І.М. Рибалко, Є.А. Сатановський, О.К. Олейник, О.В. Марков; заявник та патентоутримувач Т.С. Скобло. - u 2015 12140. заявл. 07.12.15.; опубл. 10.06.16., Бюл. № 11.
3. Патент №108224 Україна, МПК (2016.01) C10M 101/00 Енергозберігаючий спосіб підвищення зносостійкості виробів модифікуванням мастила вторинною сировиною / Т.С. Скобло, О.Ю. Марченко, О.І. Сідашенко, І.М. Рибалко, О.О. Гончаренко, Є.А. Сатановський, О.К. Олейник, О.В. Марков; заявник та патентоутримувач Т.С. Скобло. - u 2015 12910. заявл. 28.12.15.; опубл. 11.07.16., Бюл. № 13.
4. Патент №48353 Україна, МПК (2009) B24B39/00. Спосіб відновлення та зміцнення деталей. / Т. С. Скобло, І. М. Рибалко, О. І. Сідашенко, О. В. Тіхонов та інш.; заявник та патентоутримувач Т. С. Скобло. - №200910791. заявл. 26.10.09.; опубл. 10.03.10., Бюл. № 5.
5. Применение шлакообразующих смесей при производстве и реновации изделий [Текст] : Монография. / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, А.Д. Мартыненко, Р.В. Ридный, Н.С. Пасько, А.К. Автухов. Под ред. д.т.н., проф. Т.С. Скобло - Х.: «Полосатая типография», 2016. - 284с.
6. Патент №92472 Україна, МПК (2014.01) B23K 26/00. Спосіб відновлення та підвищення властивостей робочого шару деталей. / Т. С. Скобло, І. М. Рибалко, А.В. Марков, та інш.; заявник та патентоутримувач Т. С. Скобло. – №a2014 03324. заявл. 01.04.14.; опубл. 26.08.14., Бюл. № 16.
7. Патент №98213 Україна, МПК (2006.01) B32B 5/14. Спосіб використання детонаційної шихти для зміцнення відновлювального шару деталей. / Т. С. Скобло, І.О. Сідашенко, А.В. Марков, та інш.; заявник та патентоутримувач О.В. Марков. – №a2014 10552. заявл. 26.09.14.; опубл. 27.04.15., Бюл. № 8.

**Tamara Scoblo, Prof., DSc., Alexandr Sidashenko, Prof., PhD tech. sci., Ivan Rybalko, PhD tech. sci., Alexandr Markov, eng.**

*Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine*

### **The use of modifying additives to restore the machine parts**

This research is aimed at conducting a comparative analysis of the effect of various types of carbon-containing additives and fractions, natural and special nano- and wet-diamond produced, detonation charge for evaluating the efficiency of the process of reduction and hardening of parts.

Investigations were carried out to evaluate the efficiency of the method for modifying the recovery of steel parts by surfacing to improve wear resistance. Modification involves improving the quality of the restored layer and the transition zone. The search for technological methods of introducing additives has shown that such quality requirements can be ensured by dosing it into a liquid bath. It was found that the optimum is the addition of a carbon-containing micro-diamond phase of 5-7% of the proportion of the wire. Comparative assessment of the possibility of using as a modifier (nano- and micro) natural carbon-containing component - schungite and tertiary raw materials.

On the basis of comparative studies, a new technology of modification for restorative surfacing of parts was proposed, which was obtained on the basis of detonation charge. It includes nano- and dispersed diamonds, provides good adhesion to the cladding with the base, fine grain, a reduced zone of thermal impact. The use of such secondary raw materials will significantly reduce the costs of a new technological process of recovery.

**modification, nano- and microdiamonds, schungite, detonation charge**

Одержано 13.10.17

**УДК 631.362:532**

**С.О. Харченко, доц., канд. техн. наук, В.П. Ольшанський, проф., д-р фіз.-мат. наук, Ф.М. Харченко, доц., канд. техн. наук, В.В. Бредихін, доц., канд. техн. наук**  
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків, Україна*

### **Визначення динаміки зернової суміші гречки при її просіюванні через отвори плоских віброрешет**

За результатами розроблених математичних моделей динаміки зернових сумішей отримані закономірності зміни їх складових швидкості при просіюванні на віброрешетах з активаторами. Моделювання проведено з використанням аналогії руху зернової суміші як псевдозрідженого бульбашкового середовища, в якому бульбашки – простір між зернами, тверді частинки – самі зерна. Для підтвердження адекватності розроблених теоретичних положень визначено методику та проведено експериментальні дослідження. Встановлені залежності складових швидкостей потоку зернової суміші гречки від конструктивно-кінематичних параметрів решета, властивостей середовища. Результати експериментальних досліджень підтвердили теоретичні дослідження з розходженням до 3%, що дозволило уточнити діапазони варіювання складових швидкостей зернових сумішей гречки на плоских віброрешетах.

**плоске нахилене віброрешето, процес просіювання, складові швидкості руху, отвір, зернова суміш, гречка**

**С.А. Харченко, доц., канд. техн. наук, В.П. Ольшанский, проф., д-р фіз.-мат. наук, Ф.М. Харченко, доц., канд. техн. наук, В.В. Бредихин, доц., канд. техн. наук**  
*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков, Украина*

**Определение динамики зерновой смеси гречки при ее просеивании через отверстия плоских виброрешет**