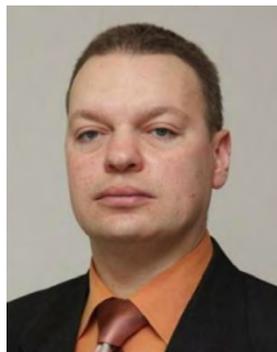


ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 621.793,621.791.92

Н.Т. Кривочуров, А.В. Ишков, В.В. Иванайский, А.В. Дейнеко
N.T. Krivochurov, A.V. Ishkov, V.V. Ivanayskiy, A.V. Deyneko

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКОРОСТНОГО ТВЧ-БОРИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН, ВОССТАНОВЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ НАПЕКАНИЕМ ЖЕЛЕЗНОГО ПОРОШКА

THE EXPERIENCE OF HIGH-SPEED HFC-BORATING FOR HARDENING AGRICULTURAL MACHINERY PARTS RESTORED BY ELECTRICAL CONTACT BAKING OF IRON POWDER

Ключевые слова: индукционный нагрев, электроконтактное напекание, металлический порошок, микропористое покрытие, скоростное ТВЧ-борирование.

Исследуется возможность и приведены результаты использования разработанного авторами нового способа химико-термической обработки – скоростного ТВЧ-борирования для поверхностного слоя восстановленных деталей гладких цилиндрических сопряжений и триботехнических узлов (валов, втулок), получаемых при электроконтактном напекании (ЭКН) на их поверхности железного порошка. Исследовано влияние режимов электроконтактного напекания, режимов химико-термической обработки и параметров совмещенного двухстадийного процесса на микротвердость, толщину и структуру поверхностного слоя образца. Установлена связь указанных параметров с линейной скоростью напекания и потоком тепла (удельной мощности) на стадии электроконтактного напекания, при фиксированных параметрах стадии скоростного ТВЧ-борирования. Показано, что на восстановленной мик-

ропористой поверхности образца из сталей 45 (45 сект) толщина получаемого борированного покрытия зависит от режимов его напекания и пористости напеченного слоя, достигая величины 0,3 мм. Даны практические рекомендации по восстановлению различных деталей сельскохозяйственных машин по новой технологии: ЭКН + скоростное ТВЧ-борирование.

Keywords: induction heating, electrical contact baking, metal powder, microporous coating, high-speed high-frequency current (HFC) borating.

This paper discusses the possibility research findings on the use of a new method of chemical-thermal treatment developed by the authors - high-speed high-frequency current - borating (HFC-borating) for the surface layer of restored parts of smooth cylindrical junctions and tribotechnical units (shafts, bushings) obtained by electrical contact baking (ECN in Russian) on their surface of iron powder. The influence of the modes of electric contact baking, modes of chemical-thermal treatment and parameters of the combined two-stage process on the microhardness,

thickness and structure of the surface layer of the sample was investigated. The relationship of these parameters and the linear speed of baking and the heat flux (specific power) at the stage of electric contact baking under fixed parameters of the stage of high-speed HFC-borating was determined. It is shown that on the restored microporous surface of a specimen made of steels 45 (45 select in Rus-

sian), the thickness of the resulting borated coating depends on the modes of its baking and the porosity of the baked layer reaching 0.3 mm. The practical recommendations are given for the restoration of various parts of agricultural machines using an innovation technology: ECN + high-speed HFC-borating.

Кривочуров Николай Тихонович, к.т.н., доцент, зав. каф. ТКМ и РМ, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: krivochurov_nt@mail.ru.

Ишков Алексей Владимирович, к.х.н., д.т.н., доцент, проф. каф. ТКМ и РМ, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: alekseyishk@rambler.ru.

Иванайский Виктор Васильевич, д.т.н., с.н.с., проф. каф. ТКМ и РМ, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: viv174@bk.ru.

Дейнеко Александр Вячеславович, аспирант каф. ТКМ и РМ, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: tcmirm2014@yandex.ru.

Krivochurov Nikolay Tikhonovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: krivochurov_nt@mail.ru.

Ishkov Aleksey Vladimirovich, Cand. Chem. Sci., Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: alekseyishk@rambler.ru.

Ivanayskiy Viktor Vasilyevich, Dr. Tech. Sci., Senior Staff Scientist, Prof., Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: viv174@bk.ru.

Deyneko Aleksandr Vyacheslavovich, post-graduate student, Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: tcmirm2014@yandex.ru.

Введение

Восстановление деталей, выработавших свой ресурс, является главным условием снижения себестоимости ремонта агрегата или машины [1]. При восстановлении на деталь, являющуюся, по сути, заготовкой, с помощью различных методов, способов и технологий наносятся (наращиваются) различные покрытия (металлические, керамические, композиционные), сопоставимые по толщине с величиной их износа, который у 80-90% таких широко распространенных в сельскохозяйственных машинах деталей, как детали гладких цилиндрических сопряжений (ГЦС – валы, втулки) и деталей трибосопряжений (ТС – колодки/накладки, ленты, диски и их элементы, барабаны и пр.), имеет значение до 0,3 мм.

Максимально быстро (за одну операцию) такую толщину покрытия позволяют получить известные методы восстановления деталей, основанные на дуговой металлизации (ДМ): наплавке, приварке и пр. [2]. Однако повышенные требования к точности размеров и формы восстановленных деталей, особенности тепловых процессов в электрической дуге и сварочной ванне, а также используемые в настоящее время для этого в отрасли ручные способы электродуговой наплавки делают ДМ низкоэффективной [3]. Кроме того, после восстановления деталей ДМ требуется удаление большого припуска

наращенного материала механической обработкой, что дополнительно повышает стоимость и трудоемкость восстановления.

Наиболее перспективным оказалось восстановление деталей ГЦС и ТС, имеющих сложную форму, послойным нанесением покрытий необходимой толщины методом электроконтактной приварки (ЭП) металлической ленты или электроконтактного напекания (ЭКН) металлического порошка [4]. Дополнительным преимуществом ЭКН является и высокое качество поверхности восстановленной детали, а получающийся при этом микропористый слой обеспечивает высокую износостойкость восстановленной детали в условиях трения со смазкой [5].

Но именно наличие микропористости напеченного слоя существенно сужает и область применения данного способа восстановления. Например, ЭКН не рекомендуется применять для восстановления деталей, работающих при наличии большого количества абразивных частиц, а также для восстановления деталей неподвижных сопряжений, так как твердость и, следовательно, износостойкость восстановленных слоев незначительны.

Указанная проблема частично может быть решена путем дополнительной модификации (легирования) исходных металлических порошков, либо напеченного слоя различными элементами как металлами: Ni, Cr, Mn, Co [5], так и,

что более предпочтительно, неметаллами: С, N, S, В [6].

Ранее нами было предложено осуществлять такое упрочнение напеченного слоя элементами-неметаллами С и N, одновременно вводимыми в железный порошок в составе карбамино-формальдегидной смолы, непосредственно в процессе его формирования [7, 8]. Это позволило значительно снизить затраты на восстановление деталей. Однако упрочнение слоя углеродом и(или) азотом не обеспечивает необходимой твердости и износостойкости покрытия, особенно в условиях интенсивного абразивного и ударно-абразивного изнашивания. Кроме того, такие (модифицированные) порошки коммерчески не производятся, что требует дополнительной технологической проработки.

Однако повышение износостойкости напеченного слоя может быть достигнуто не только введением упрочняющих (легирующих) элементов в процессе ЭКН, но и, например, дополнительной химико-термической обработкой (ХТО) уже восстановленных ЭКН деталей. Для этого лучше всего подходит разработанный нами способ скоростного ТВЧ-борирования [9]. При проведении ТВЧ-борирования на восстановленной поверхности детали возможно получение плотных (беспористых) покрытий с высокой твердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью, что позволит существенно расширить область применения метода ЭКН для восстановления различных деталей сельскохозяйственных машин.

Цель работы – исследовать возможность использования скоростного ТВЧ-борирования для улучшения характеристик поверхностного слоя деталей, восстановленных электроконтактным напеканием железного порошка.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследований выбрали невосстанавливаемые (по актуальным ремонтным НТД) унифицированные детали ГРМ двигателей А-41 и их современных модификаций Д-440, широко используемых на сельскохозяйственных тракторах типа ДТ-75 в качестве энергоагрегатов.

Указанные детали: распредвал (дет. 41-05С7), ось коромысел (41-0644) и стойка оси коромысел (дет. 04-0686), выполняются из стали 45 и(или) 45 селек, подвергаются термической обработке (ТВЧ-закалка) в зонах изнашивания и

представляют собой типовые детали ГЦС/трибосопряжений (вал, втулка), работающие в условиях трения со смазкой. Поэтому для исследования процесса ЭКН, ТВЧ-борирования и совмещенного способа восстановления/упрочнения, а также структуры и свойств получающихся покрытий для опытов подготовили образцы из стали 45 (ГОСТ 1050-88), размером 10×50×5 мм.

В качестве реактивов для проведения исследований использовали: железный порошок марки ПЖВ 2.160.28 (ГОСТ 9849-86); карбид бора (технич.) по ГОСТ 5744-85, марки М40; флюс плавный боратный для индукционной наплавки, марки П-0,66 (производство АО «АНИТИМ», г. Барнаул).

ЭКН железного порошка на опытные образцы осуществляли на установке типа 011.1.02Н (производство ВНПО «Ремдеталь», г. Москва), режимы ЭКН: напряжение холостого хода трансформатора $U_{х.х.}=4,94$ В, ток напекания $I_n=10,77$ кА, линейная скорость напекания $v_n=2,24 \cdot 10^{-3}$ м/с; частота вращения детали $n=(1,7-50) \cdot 10^{-3}$ с⁻¹, нормальное давление на слой $P_N=3,12$ кН, используя комплект водоохлаждаемых дисковых сварочных электродов установки, диаметром $D=100$ мм, с шириной дорожки $b=5$ мм из меди М1.

Скоростное ТВЧ-борирование образцов проводили в целевом водоохлаждаемом медном индукторе, выполненном из профилированной медной трубки М1, диаметром $D=16$ мм, с рабочим пространством 50×50×10 мм, термически изолированным асбестом. Индуктор подключали к промышленному инвертору ЭЛСИТ-100/40-70 (производство ООО «Элсит», г. Томск), режимы ТВЧ-нагрева (борирования): ток индуктора $I_u = 80-95\%$; резонансная частота $f_p = 50-55$ кГц; время нагрева/выдержки $t_H = 30/35-40$ с (программировано); температура $T = 1250-1300^\circ\text{C}$.

Металлографические исследования образцов проводили на протравленных (5%-ный раствор HNO_3 в спирте) шлифованных образцах на металлографическом оборудовании ПНИЛ СВС (ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул): отрезной станок MICRACUT-201, пресс для образцов METAPRESS-P, шлифовально-полировальная система DIGIPREP, инвертированный металлографический универсально-исследовательский микроскоп CARL ZEISS AXIO OBSERVER Z-1M, цифровой микротвердомер МН-6.

Результаты и их обсуждение

Коммерческие порошки железа, используемые в настоящее время для ЭКН, имеют низкое содержание упрочняющих элементов и по составу намеренно приближены к низкоуглеродистым сталям. В таблице 1 приведен исходный химический состав порошка восстановленного железа, использованного для ЭКН (ГОСТ 9849-86).

Поэтому для улучшения характеристик восстановленного ЭКН поверхностного слоя деталей требуется их дополнительная модификация углеродом либо легирующими элементами.

Так, в работе [5] автором были проведены исследования по выбору материала модифицирующей присадки и способов легирования слоя, показано, что использование различных ферроматериалов (ферромарганец, феррохром), сормайта, а также их смесей потенциально обеспечивает увеличение износостойкости напеченного слоя. Здесь же было предложено улучшать характеристики ЭКН-покрытия, проводя насыщение железного порошка углеродом перед ЭКН, путем его длительного нагрева с карбюризатором и выдержкой в печи. Однако такая обработка длительна, требует сложного аппаратного оформления и существенно снижает эффективность технологии в целом.

Как следует из данных таблицы 1, порошок железа марки ПЖВ 2.160.28 содержит до 0,1% кремния и до 0,35% марганца, что приближает его (по нижним границам содержания элементов) к составу конструкционной легированной стали 65Г, для которой ранее нами были проведены основные эксперименты по скоростному ТВЧ-борированию [10]. Это позволяет обоснованно рекомендовать материалы, среды и параметры ТВЧ-борирования стали 65Г и для ХТО деталей, восстановленных методом ЭКН.

ЭКН восстановленного железного порошка проводилось в широком диапазоне изменения температурно-временных параметров процесса

(напряжение, ток и линейная скорость):
 $U_{XX} = 3,88-6,04$ В (ступени трансформатора 3,88; 4,18; 4,52, 4,94; 5,43; 6,04 соответственно);
 $I = 8,32-13,2$ кА (соответственно ступеням);
 $V_H = 1,32 \cdot 10^{-3} \dots 5,76 \cdot 10^{-3}$ м/с.

Как известно, режимы ЭКН оказывают комплексное влияние на температуру в зоне сплавления/напекания [11]. Например, изменение линейной скорости при фиксированных значениях напряжения и тока приводит к изменению температуры. Следовательно, эти факторы зависимые. Поэтому в качестве переменного фактора процесса ЭКН целесообразно использование удельной энергии, предложенной в работе [5], который является интегральным (обобщенным) и объединяет указанные параметры в один.

Так, при ЭКН деталей типа вал втулка этот обобщенный параметр имеет вид:

$$\xi_H = \frac{U \cdot I}{1,25 \cdot S_K \cdot V_H \cdot \sqrt{a \cdot t}},$$

где I – сила тока напекания, кА;

U – напряжение, В;

S_K – площадь пятна контакта электрода со слоем, по которой идет спекание и припекание металлического порошка, м²;

V_H – линейная скорость напекания, м/с;

a – коэффициент температуропроводности, м²/с;

t – время действия источника тепла (время спекания слоя), с.

При ЭКН микропористость слоя зависит от мощности ввода тепла (поглощенного теплового потока), которая связана с напряжением холостого хода трансформатора (его ступенью) и линейной скоростью процесса. С точки зрения экономии ресурсов ЭКН лучше проводить при незначительном потоке тепла, но при этом увеличится и пористость слоя, что может негативно отразиться на глубине проникновения в него бора.

Таблица 1

Химический состав порошка восстановленного железа для ЭКН в состоянии поставки (данные паспорта)

Марка порошка	Содержание компонентов, %							остаток, нерастворимый в HCl
	Fe	C	Si	Mn	S	P	O	
ПЖВ 2.160.28	основа	0,02	0,10	0,35	0,02	0,02	0,25	0,3

Процессы ЭКН и скоростного ТВЧ-борирования образцов осуществлялись последовательно, друг за другом с одним технологическим переходом для восстанавливаемой детали (образца). В результате этих процессов на поверхности восстанавливаемой детали (образца) образуется борированный ЭКН-слой сложной морфологии. Глубину проникновения бора определяли косвенно, по изменению микротвердости образца, а структуру этого слоя – металлографически.

На рисунке 1 приведено изменение этого параметра по глубине напеченного слоя. При этом следует отметить, что микротвердость борированного слоя, как и ее изменение по толщине/глубине, очень сильно зависит от режимов ЭКН. Видно, что при борировании ЭКН-слоя,

напеченного при параметрах: $U_{xx}=3,88$ В, $V_H=1,31 \times 10^{-3}$ м/с, максимальная микротвердость слоя составила $H_{\mu} = 840$ МПа, а глубина борирования – 0,2 мм. При борировании слоя по режиму $U_{xx} = 6,04$ В, $V_H=3,34 \times 10^{-3}$ м/с микротвердость слоя достигает уже $H_{\mu}=1220$ МПа, а глубина борирования возрастает до 0,25 мм.

С увеличением удельной энергии ЭКН наблюдается симбатный рост средней микротвердости борированного слоя (рис. 2).

Отсюда можно предположить, что на процесс ТВЧ-нагрева, следовательно, и на процесс ТВЧ-борирования большое влияние оказывает пористость напеченного слоя. Нами установлено, что в исследуемом диапазоне режимов ЭКН микropористость слоя изменялась от 28 до 10% (рис. 3).

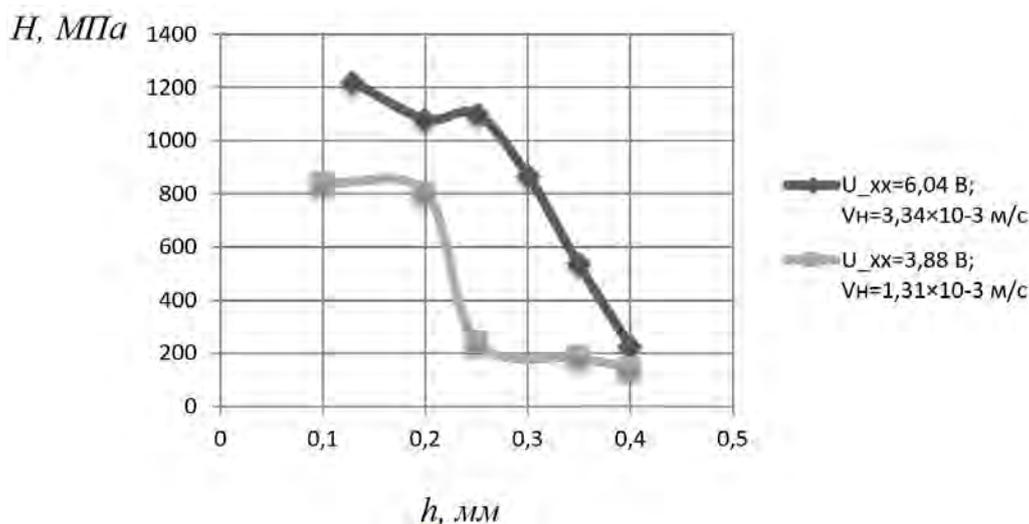


Рис. 1. Изменение микротвердости борированного ЭКН-слоя по глубине

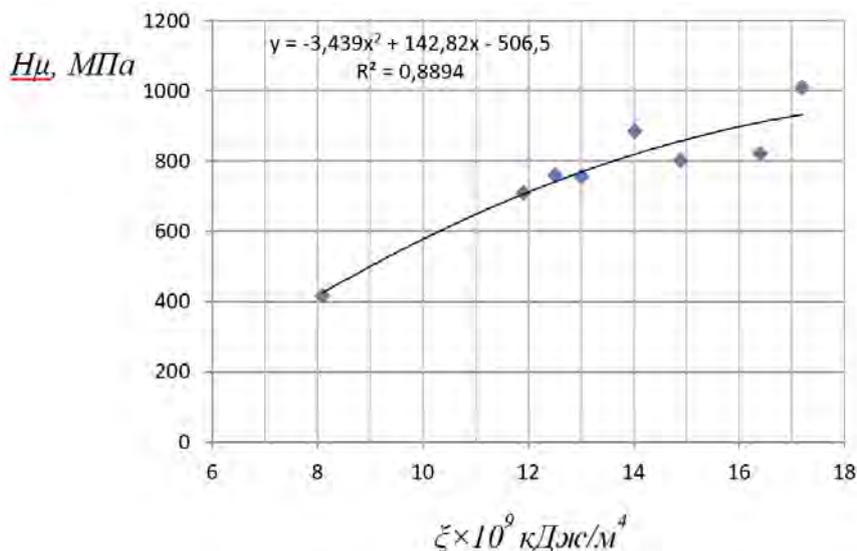


Рис. 2. Зависимость микротвёрдости борированного ЭКН-слоя от удельной энергии напекания

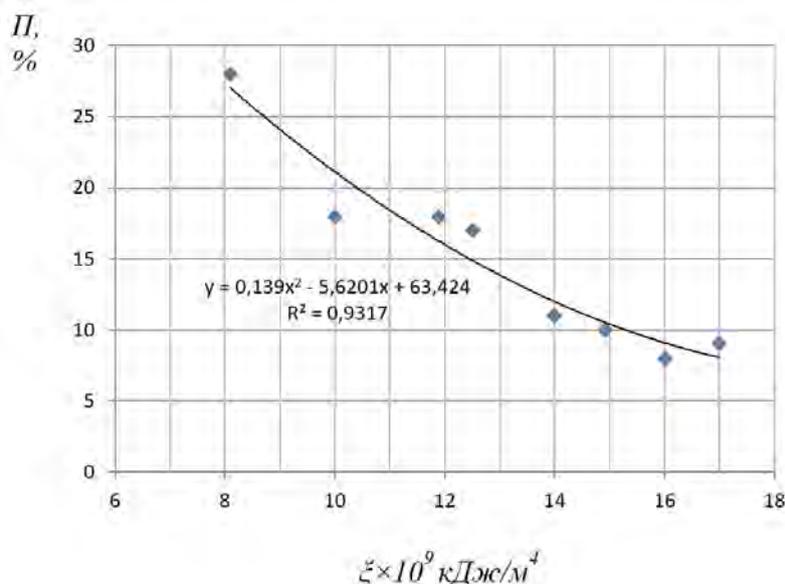


Рис. 3. Зависимость микропористости ЭКН-слоя от удельной энергии напекания

Как видно из графиков, приведенных на рисунках 2 и 3, наблюдается закономерность увеличения микротвердости при уменьшении пористости борированного ЭКН-слоя. Это объясняется тем, что время нагрева и выдержки не менялось и было для всех образцов одинаковым. Можно предположить, что интенсивность нагрева, температура слоя и глубина зоны нагрева при ТВЧ-нагреве зависят от плотности спеченного слоя, что и повлияло на процесс борирования.

Исследование макро- и микроструктуры борированного ЭКН-слоя показало наличие нескольких характерных зон по глубине/высоте слоя. На рисунке 4 приведена типичная макро-структура борированного ЭКН-слоя, полученного на образце из стали 45, напеченном при

$U_{\text{сх}}=6,04 \text{ В}$, $V_{\text{н}}=3,34 \times 10^{-3} \text{ м/с}$ и подвергнутом затем скоростному ТВЧ-борированию при оптимальных режимах. Видно, что на поверхности образца образовалась характерная для переплавленных боридов железа ледебуритоподобная структура, которая имеет четкую границу раздела с нижерасположенным микропористым ЭКН-слоем.

Микротвердость нижерасположенного ЭКН-слоя также изменилась (рис. 1), по сравнению с исходной твердостью, что свидетельствует об интенсивном протекании диффузионных процессов по границам спекания частиц порошка железа, обладающих повышенным, по сравнению с объемом, количеством дефектов кристаллической решетки, хотя явных изменений в его структуре и не наблюдается (рис. 5).



Рис. 4. Макроструктура борированного ЭКН-слоя (50 \times)

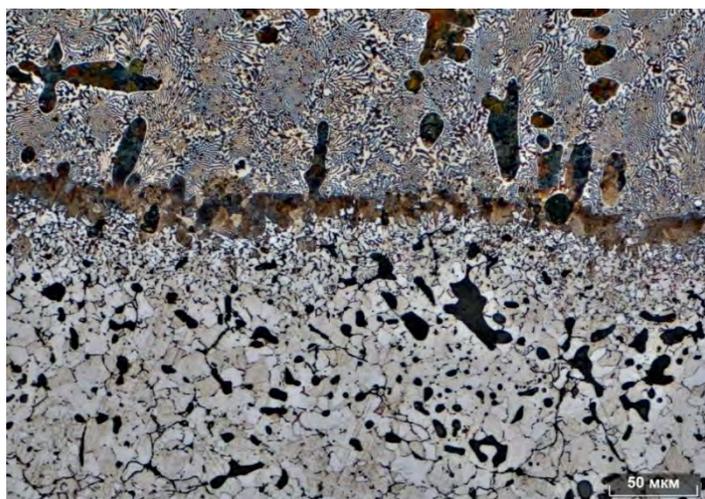


Рис. 5. Микроструктура борированного ЭКН-слоя (200×)

Таким образом, проведенное нами исследование возможности использования скоростного ТВЧ-борирования для улучшения характеристик поверхностного слоя деталей, восстановленных методом ЭКП, показало, что параметры образующихся композиционных, двухслойных покрытий больше зависят от режимов ЭКН, определяющих его микропористость, и в меньшей степени – от параметров ХТО. Это можно с успехом использовать для проектирования пилотной технологии восстановления деталей в новом, совмещенном, последовательном процессе, который по затратам времени и ресурсов занимает промежуточное положение между ЭКН и широко применяемой в отрасли технологии восстановления (упрочнения) деталей сельскохозяйственных машин методом индукционной наплавки [12]. По классификации М.И. Юдина [13] эта технология может быть отнесена к наукоемким, инновационным процессам восстановления деталей.

Практические рекомендации по восстановлению деталей по новой технологии.

а) Восстановление в совмещенном, последовательном процессе ЭКН + скоростное ТВЧ-борирование рекомендуется проводить для деталей ГЦС из стали 45, 45 селек, типа тел вращения (валы, втулки), а также для плоских поверхностей деталей трибосопряжений (накладки, сектора дисков).

б) В качестве основного метода наращивания изношенных поверхностей и восстановления размеров с припуском следует использовать ЭКН железного порошка марки ПЖВ 2.160.28, до 0,3 мм за один проход, на установке типа

011.1.02Н, на подготовленную поверхность детали (заготовки), при оптимальных режимах. Оборудование – стандартное, приспособления – типовые, оснастка – цеховая.

в) В качестве основного метода ХТО, для увеличения твердости, износостойкости и уменьшения пористости поверхностного слоя восстановленной детали следует использовать скоростное ТВЧ-борирование в среде смеси карбида бора с флюсом П-0,66 оптимального состава, на инверторе ЭЛСИТ-100/40-70, с глубиной борирования до 0,25 мм, при оптимальных режимах. Оборудование – стандартное, приспособления – типовые, оснастка – цеховая.

г) Учитывая свойства материалов образующихся покрытий и используя найденные закономерности изменения их свойств, в новой технологии рекомендуются следующая последовательность операций типового (группового) технологического процесса:

005. Подготовительная. Подготовка поверхности восстанавливаемой детали (мех. обработка: точение/фрезерование, шлифование; очистка, обезжиривание);

010. Основная 1. Наращивание материала методом ЭКН (получение покрытия заданной толщины, микропористости);

015. Промежуточная. Предварительное удаление части припуска нарощенного ЭКН-слоя (мех. обработка);

020. Основная 2. Упрочнение поверхности детали ХТО в процессе скоростного ТВЧ-борирования (получение верхнего слоя покрытия заданной толщины, с увеличенной твердо-

стью, износостойкостью и уменьшенной пористостью);

025. Отделочная. Окончательная удаление припуска, обработка борированного ЭКН-слоя, вывод детали в ремонтные размеры/допуски (финишная мех. обработка: шлифование, полирование);

030. Контрольная. Определение структуры и свойств восстановленного слоя покрытия и детали, сравнение с нормированными требованиями (металлография, дюрOMETрия, микрометраж).

Выводы

1. Для улучшения характеристик деталей сельскохозяйственных машин, восстановленных ЭКН железного порошка, предложено осуществлять дополнительное упрочнение их напеченного слоя скоростным ТВЧ-борированием. Процесс апробирован, разработана инновационная пилотная групповая технология восстановления деталей ГРМ двигателя Д-440 типа вал, втулка, выполненных из стали 45 (45 селект).

2. Обнаружено, что при ТВЧ-борировании ЭКН-слоя происходит интенсивная диффузия бора в покрытие, в результате чего в слое возникают две зоны боридов железа и твердых растворов бора в железе, с неравномерным распределением концентрации бора по объему спеченных частиц порошка.

3. Показано, что параметры образующихся композиционных, двухслойных покрытий больше зависят от режимов первой стадии – ЭКН, определяющих его микропористость, и в меньшей степени, от параметров второй стадии – скоростного ТВЧ-борирования. При проведении ТВЧ-борирования ЭКН-слоя при ТВЧ-нагреве до температур 1250-1300°C и выдержке 35-45 с, происходит интенсивное насыщение слоя бором, а образующиеся покрытия обладают высокой микротвердостью и пониженной пористостью.

Библиографический список

1. Восстановление деталей машин: справочник / Ф. И. Пантелеенко [и др.]; под редакцией В. П. Иванова. – Москва: Машиностроение, 2003. – 672 с. – Текст: непосредственный.

2. Бороненков, В. Н. Основы дуговой металлизации / В. Н. Бороненков, Ю. С. Коробов. – Екатеринбург: Университетское изд-во, 2012. – 268 с. – Текст: непосредственный.

3. Черноиванов, В. М. Организация и технология восстановления деталей машин / В. И. Черноиванов, В. П. Лялякин, И. Г. Голубев. – Москва: ФГБНУ, Росинформагротех, 2016. – 568 с. – Текст: непосредственный.

4. Перспективы применения метода электроконтактной приварки для восстановления деталей типа «вал» широкого диапазона размеров / А. И. Фомин, В. В. Власкин, А. Н. Зозин, В. А. Кузьмин. – Текст: непосредственный // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвузовский сборник научных трудов. – Саранск: МГУ им. Н. П. Огарева, 2016. – С. 368-371.

5. Тарасов, Ю. С. Исследование электроконтактного напекания металлических порошков, как возможного способа восстановления деталей: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тарасов Ю. С. – Челябинск: ЧИМЭСХ, 1970. – 24 с. – Текст: непосредственный.

6. Чижов, В. Н. Использование порошковых композиций при восстановлении деталей напеканием / В. Н. Чижов, Н. Т. Кривочуров. – Текст: непосредственный // Роль Алтайского края в решении продовольственной программы: тезисы Всероссийской конференции (29-30 мая). – Барнаул: АСХИ, 1987. – С. 210-211.

7. Физико-химические основы управления составом и свойствами износостойких слоев на поверхностях восстанавливаемых деталей / Н. Т. Кривочуров, В. В., Миронов Д. С. Зудилов, А. В. Ишков. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2010. – № 3. – С. 197-200.

8. Управление составом и свойствами износостойкого слоя, полученного на поверхности восстанавливаемой детали методом электроконтактного напекания порошка / В. П. Лялякин, В. Ф. Аулов, А. В. Ишков [и др.]. – Текст: непосредственный // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 115. – С. 114-120.

9. Функциональные боридные покрытия для конструкционных сталей: получение при ТВЧ-нагреве, структура и свойства, применение в сельхозмашиностроении / А. В. Ишков, Н. М. Мишустин, В. В. Иванайский, Н. Т. Кривочуров. – Текст: непосредственный // Новые материалы и технологии в машиностроении: сборник материалов XII Международной научно-

практической конференции. – Брянск: Изд-во БГИТА, 2010. – Вып. 12. – С. 57-60.

10. Мишустин, Н. М. Состав, структура и свойства износостойких боридных покрытий, полученных на сталях 65Г и 50ХГА при скоростном ТВЧ-борировании / Н. М. Мишустин, В. В. Иванайский, А. В. Ишков. – Текст: непосредственный // Известия ТПУ. – 2012. – Т. 320. – № 2. – С. 68-72.

11. Чижов, В. Н. Удельные параметры процесса напекания для различных групп деталей / В. Н. Чижов. – Текст: непосредственный // Повышение эффективности эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка: труды АСХИ. – Барнаул, 1987. – С. 79-83.

12. Индукционная наплавка твёрдых сплавов / В. Н. Ткачев, Б. М. Фиштейн, Н. В., Казинцев Д. А. Алдырев. – Москва: Машиностроение, 1970. – 183 с. – Текст: непосредственный.

13. Технология восстановления и упрочнения деталей машин / под редакцией М. И. Юдина, В. П. Лялякина. – Краснодар: КубГАУ, 2000. – 352 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Восстановление деталей машин: справочник / F.I. Panteleenko [i dr.]; pod red. V.P. Ivanova. – Moskva: Mashinostroenie, 2003. – 672 s.

2. Boronenkov, V.N. Osnovy dugovoy metallizatsii / V.N. Boronenkov, Yu.S. Korobov. – Ekaterinburg: Universitetskoe izdatelstvo, 2012. – 268 s.

3. Chernoiyanov, V.M. Organizatsiya i tekhnologiya vosstanovleniya detaley mashin / V.I. Chernoiyanov, V.P. Lyalyakin, I.G. Golubev. – Moskva: FGBNU, Rosinformagrotekh, 2016. – 568 s.

4. Fomin A.I., Vlaskin V.V., Zozin A.N., Kuzmin V.A. Perspektivy primeneniya metoda elektrokontaktной приварки dlya vosstanovleniya detaley tipa «val» shirokogo diapazona razmerov // Energoeffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii i sistemy: mezhvuz. sb. nauch. trudov. – Saransk: MGU im. N.P. Ogareva, 2016. – S. 368-371.

5. Tarasov, Yu.S. Issledovanie elektrokontaktного napekaniya metallicheskih poroshkov, kak vozmozhnogo sposoba vosstanovleniya de-

taley: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. – Chelyabinsk: ChIMESKh, 1970. – 24 s.

6. Chizhov, V.N., Krivochurov N.T. Ispolzovanie poroshkovykh kompozitsiy pri vosstanovlenii detaley napekaniem // Rol Altayskogo kraya v reshenii prodovolstvennoy programmy: tez. Vseross. konferentsii (29-30 maya). – Barnaul: ASKhI, 1987. – S. 210-211.

7. Krivochurov N.T., Mironov V.V., Zudilov D.S., Ishkov A.V. Fiziko-khimicheskie osnovy upravleniya sostavom i svoystvami iznosostoykikh sloev na poverkhnostyakh vosstanavlivaemykh detaley // Polzunovskiy vestnik. – 2010. – No. 3. – S. 197-200.

8. Lyalyakin, V.P., Aulov V.F., Ishkov A.V., Krivochurov N.T., Ivanayskiy V.V. Upravlenie sostavom i svoystvami iznosostoykogo sloya, poluchennogo na poverkhnosti vosstanavlivaemoy detali metodom elektrokontaktного napekaniya poroshka // Trudy GOSNITI. – 2014. – T. 115. – S. 114-120.

9. Ishkov, A.V., Mishustin N.M., Ivanayskiy V.V., Krivochurov N.T. Funktsionalnye boridnye pokrytiya dlya konstruksionnykh staley: poluchenie pri TVCh-nagreve, struktura i svoystva, primeneniye v selkhoz mashinostroenii // Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii: sb. materialov XII Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. – Vyp. 12. – Bryansk: Izd-vo BGITA, 2010. – S. 57-60.

10. Mishustin N.M., Ivanayskiy V.V., Ishkov A.V. Sostav, struktura i svoystva iznosostoykikh boridnykh pokrytiy, poluchennykh na stalyakh 65G i 50KhGA pri skorostnom TVCh-borirovanii // Izvestiya TPU. – 2012. – T. 320. – No. 2. – S. 68-72.

11. Chizhov, V.N. Udelnye parametry protsessa napekaniya dlya razlichnykh grupp detaley // Trudy ASKhI. Povysheniye effektivnosti ekspluatatsii i remonta mashinno-traktornogo parka. – Barnaul, 1987. – S. 79-83.

12. Tkachev V.N., Fishteyn B.M., Kazintsev N.V., Aldyrev D.A. Induktsionnaya naplavka tverdykh splavov. – Moskva: Mashinostroenie, 1970. – 183 s.

13. Tekhnologiya vosstanovleniya i uprochneniya detaley mashin / pod red. M.I. Yudina, V.P. Lyalyakina. – Krasnodar: KubGAU, 2000. – 352 s.

