

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ, ИЗМЕНЕНИЕМ СОСТАВА МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

Н.Т. Кривочуров, В.В. Миронов, Д.С. Зудилов,
А.В. Ишков, Е.А. Васильев, Е.А. Иванайский

Предложены способы управления составом и свойствами поверхностных слоев, получаемых при электроконтактном напекании на металлические поверхности деталей пар трения порошка железа, который модифицирован различными органическими полимерами. Исследованы адсорбционные процессы в системах железный порошок - полистирол и железный порошок - карбамидоформальдегидная смола КФ-Ж, установлены оптимальные соотношения компонентов и показано, что достигнутое содержание неметаллов в покрытии (0,85 % С и 0,38 % N) в полученном при электроконтактном напекании износостойком слое ($T=950\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=3\text{ сек.}$) коррелирует с физико-химическими характеристиками адсорбции, составом, функциональностью и фазовым состоянием полимера и составом металл-полимерного нанокompозита.

Ключевые слова: функциональные материалы, пары трения, порошковые материалы, адсорбция, полимеры, олигомеры, металл-полимерный нанокompозит, полистирол, карбамидоформальдегидная смола, электроконтактное напекание.

В настоящее время для восстановления изношенных поверхностей металлических деталей и упрочнения деталей узлов трения в машиностроении, химической и перерабатывающей промышленности, наряду с электрохимическим, газопламенным и плазменным нанесением металлических и композиционных покрытий, широко используют и высокопроизводительные методы индукционной наплавки и электроконтактного напекания (ЭКН) [1, 2]. Для упрочнения уже обработанных поверхностей металлических деталей применяют также различные методы термической и химико-термической обработки (ТО, ХТО) [3].

В отличие от других методов ЭКН позволяет за короткие промежутки времени (3-5 сек) получать на поверхности детали толстые (до 1-3 мм и более), плотные слои, экономя при этом электроэнергию и расходные материалы. Преимуществом ЭКН является и высокое качество поверхности изделия, зачастую не требующей дополнительной механической обработки. Однако имеющийся ассортимент порошковых материалов не позволяет получать этим методом износостойкие слои триботехнического назначения, содержащие в своем составе значительные количества неметаллических элементов (С, N, S, В), которые бы обеспечивали им необходимые при

приработке и эксплуатации свойства, без применения дорогостоящих добавок легирующих элементов (Ni, Cr, Mn, Co и др.) [4].

Кроме того, кинетические и термодинамические особенности процесса ЭКН не позволяют непосредственно вводить добавки неметаллических элементов в составы для ЭКН, так как эти элементы не усваиваются покрытием, а входят в его состав в виде простых веществ, которые сильно ухудшают его эксплуатационные параметры.

Ранее, в работе [5] было предложено проводить насыщение железного порошка углеродом перед ЭКН путем его длительного нагрева с карбюризатором и выдержкой в печи, однако это существенно снижает эффективность технологии в целом.

Тем не менее известно, что даже на поверхности твердых и инертных частиц тугоплавких карбидов, нитридов и карбонитридов титана при адсорбции олигомерных связующих из растворов и расплавов, образуются измененные полимолекулярные слои полимера, настолько прочно связанные с поверхностью частиц указанных наполнителей, что при отверждении таких композиций происходит изменение не только кинетических параметров процесса, но и свойств получающихся материалов [6].

Так как химическим составом и функ-

циональностью большинства олигомеров можно легко управлять при их получении, а сами органические ВМС могут служить поставщиками активных частиц, содержащих атомы С, N, S, В и других неметаллов в процессах ЭКН, то применение металлических порошков с адсорбированным на их поверхности полимером может стать одним из решений указанной проблемы метода ЭКН.

Целью настоящей работы являлось исследование возможности насыщения поверхностных функциональных слоев деталей пар трения (валов), углеродом и азотом при электроконтактном напекании частиц железного порошка, модифицированного различными полимерами, и возможности управление этим процессом.

Экспериментальная часть

Для экспериментов были использованы: железный порошок марки ПЖВ 2.160.28 (ГОСТ 9849-86), полистирол эмульсионный (ГОСТ 9440-60), карбамидоформальдегидная смола КФ-Ж (ГОСТ 14231-78).

Адсорбционные металл-полимерные наноконкомпозиты приготавливали смешиванием порошка ПЖВ с растворами полистирола в толуоле и смолы КФ-Ж в воде, растворы ВМС вводились в железный порошок, композиции перемешивались до однородного пастообразного состояния и выдерживалась необходимое время до установления адсорбционного равновесия после чего избыток полимера удалялся промыванием.

Термодинамическое равновесие в исследованных нано-системах изучали рефрактометрически (ИРФ-454Б2М), по предварительно построенным калибровочным зависимостям.

Электроконтактное напекание полученных композиций осуществляли на установке типа 011.1.02Н (ВНПО «Ремдеталь»), режимы напекания: напряжение холостого хода трансформатора $U_{х.х.}=4, 94$ В, ток напекания $I_{н.}=10,77$ кА, линейная скорость напекания $v_{л.}=2,24 \cdot 10^{-3}$ м/с (частота вращения детали $n=(1,7...50) \cdot 10^{-3}$ с⁻¹), нормальное давление на слой $P_N=3,12$ кН.

Содержание углерода в износостойком слое определяли на экспресс-анализаторе АН-7529 (ГОСТ 22536.1-77), содержание азота - по методу Кьельдаля с титриметрическим окончанием (ГОСТ 12359-81). Отбор проб для химического анализа предусматривал удаление верхней, наиболее окисленной части слоя, толщиной 0,3-0,5 мм, и его кромок - шириной 1 мм, оставшаяся часть слоя среза-

лась резцом и полученная стружка измельчалась, масса навески для анализа составляла 0,5-0,7 г.

Распределение неметаллических элементов по объему слоя исследовали на сканирующем Оже-микроанализаторе РН-660 (Perkin-Elmer), при напряжении 15,0 кВ, силе тока 1,5 А и увеличении $0,3^x$.

Рентгенофазовый анализ проводили на приборе ДРОН-2 по методу порошка (излучение $Co-K_{\alpha}$, скорость углового перемещения образца 1 град/мин).

Металлографические исследования образцов проводили на травленных (4 % раствор HNO_3 в этиловом спирте) и шлифованных образцах на микроскопе Neophot-30 и растровом электронном микроскопе BS-300 (900^x и 3000^x).

Результаты и их обсуждение

Установление адсорбционного равновесия в изученных системах определялось путем снятия кинетических кривых адсорбции [6]. На рис. 1 приведены кинетические кривые адсорбции использованного олигомерного связующего КФ-Ж на поверхности железных порошков различных фракций.

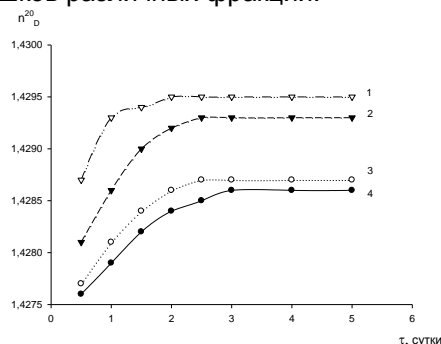


Рисунок 1 - Кинетические кривые адсорбции олигомера КФ-Ж из водного раствора на поверхности частиц различных фракций порошка ПЖВ:

1 - 25 мкм, 2 - 50 мкм, 3 - 90 мкм, 4 - 130 мкм

В течение первых 2-3 суток после контакта растворов КФ-Ж с адсорбентом наблюдалось установление постоянного значения показателя преломления его растворов, свидетельствующее об установлении адсорбционного равновесия. Аналогичные зависимости получены и для системы железный порошок-полистирол в толуольном растворе.

Исследование влияния состава растворов адсорбатов на содержание углерода в напеченном слое показало различную активность исследуемых полимеров в процессах ЭКН.

Как видно из рис. 2 состояние полимера

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ, ИЗМЕНЕНИЕМ СОСТАВА МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

в растворе сильно влияет на усвоение неметаллов в методе ЭКН.

Так полистирол, являющийся типичным полимером и образующий в толуоле истинный молекулярный раствор, увеличивает содержание углерода в напеченном слое не более чем на 0,1% от его исходного содержания в порошке.

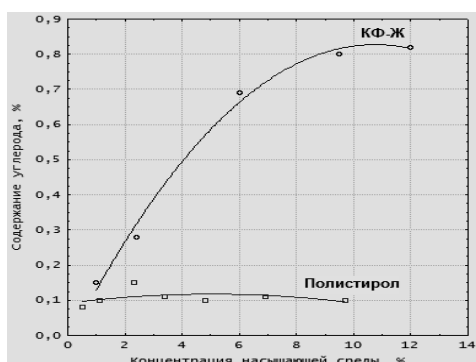


Рисунок 2 - Влияние содержания полимера в нанокompозите на содержание общего углерода в износостойком слое

Совершенно иное влияние оказывает олигомер КФ-Ж, с увеличением содержания смолы наблюдается резкое увеличение содержания углерода в слое. Однако повышенные концентрации КФ-Ж в водном растворе выше 12 % нецелесообразно, так как не приводит к дальнейшему содержанию углерода в износостойком слое.

Учитывая кратковременность температурного воздействия в методе ЭКН, важным параметром процесса является размер частиц железного порошка, который, как оказалось, проявляет себя иначе, чем при адсорбции.

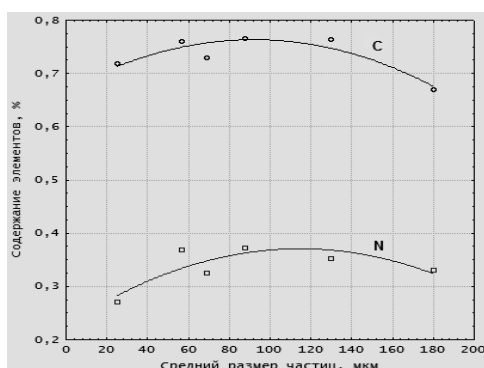


Рисунок 3 - Влияние размера частиц нанокompозита ПЖВ - ХФ-Ж, на содержание углерода и азота в функциональном покрытии

Проведенные эксперименты показали (рисунок 3), что при изменении среднего размера частиц от 25 до 180 мкм содержание углерода в слое изменяется лишь на 0,095%, а содержание азота на 0,103%. Это свидетельствует о слабом влиянии размера частиц на параметры насыщения напекаемого слоя исследованными неметаллами, что связано с компенсацией увеличения объема частиц порошка ПЖВ с ростом их размера, за счет губчатой формы. При этом, однако, наличие развитой системы пор в частицах железа облегчает диффузию адсорбата и последующее насыщение слоя продуктами его термической диссоциации и пиролиза [7].

Более сильное влияние на процесс насыщения напекаемого износостойкого слоя неметаллами оказывает время выдержки при температуре спекания (950 °С), что подтверждается зависимостями, представленными на рисунке 4.

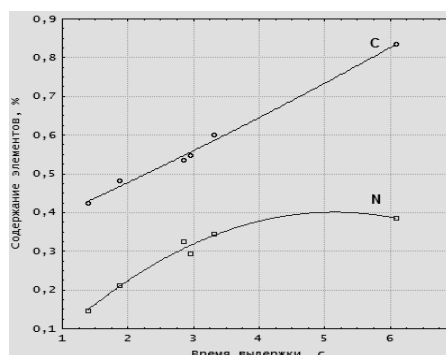


Рисунок 4 - Влияние времени технологической выдержки на содержание углерода и азота в функциональном покрытии (Т = 950 °С)

С уменьшением времени выдержки, при постоянной температуре (950 °С), содержание углерода и азота в слое уменьшается на 0,41% и 0,23% соответственно.

Это говорит о том, что концентрация углерода на поверхности частицы и в ее объеме возрастает более интенсивно, кроме того, содержание азота по мере выдержки слоя стремится к равновесию, в то время как насыщение его углеродом в выбранных условиях ЭКН – неравновесный процесс.

Так или иначе, увеличение времени выдержки слоя при температуре спекания обеспечивает достижение на поверхности частицы высокого градиента концентрации неметаллов и можно предположить, что при увеличении времени выдержки насыщение износостойкого слоя, получаемого из частиц порошка ПЖВ, модифицированных смолой КФ-Ж, протекает на всю их глубину. Однако для

доказательства этого предположения необходимо оценка распределения неметаллов по объему частиц.

Как показывают результаты проведенных экспериментов, технологические факторы, как и состояние исходных модификаторов несущественно влияют на состав получаемых при ЭКН покрытий. Прежде всего, это определяется тем, что содержание неметаллических элементов, усваиваемых при напекании вновь образующейся поверхностью металла, коррелирует с их содержанием в органическом веществе, которое в условиях высокоскоростного пиролиза теряет свою химическую индивидуальность и может приближенно рассматриваться как смесь соответствующих простых веществ.

Этот факт, впервые описанный в работе [8], был подтвержден одним из участников настоящего исследования при синтезе бинарных и тройных нестехиометрических соединений титана в режиме СВС с участием сложных органических веществ [9].

Понятно, что степень усвоения неметалла в самопроизвольных экзотермических реакциях органического вещества с элементами IV-VI групп ПСЭ, образующих с неметаллами тугоплавкие и устойчивые бинарные и тройные соединения (бориды, нитриды, карбиды, силициды и пр.) будет выше, чем аналогичные показатели для реакций с участием железа, но, тем не менее, общий характер таких зависимостей, позволяет положить этот подход в основу способа управления составом, а значит и свойствами, покрытий, полученных электроконтактным напеканием поверхностно-модифицированных полимерами железных порошков. Тогда основное управление составом покрытия будет осуществляться уже на стадии синтеза полимера-модификатора, путем задания его определенного элементного состава, а регулировать содержание неметаллических элементов можно будет, влияя на кинетические и термодинамические характеристики процессов пиролиза органического вещества и взаимодействия металла с неметаллами.

Причем в качестве веществ, модифицирующих поверхность частиц напекаемого металлического порошка предпочтительнее использовать поликонденсационные олигомеры и полимеры, так как последние имеют более высокую адгезию к металлическим поверхностям из-за наличия функциональных концевых групп и полярных гетероатомов в основной цепи (см. рис. 2).

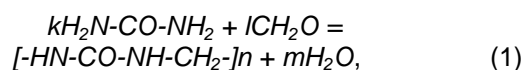
В качестве примера рассмотрим интере-

сующий нас процесс одновременного насыщения восстанавливаемого поверхностного слоя углеродом и азотом, подобный цианированию или нитроцементации. В соответствующих диффузионных процессах ХТО наилучшие результаты достигаются, когда соотношение элементов *C* и *N* в обработанном слое отвечает образованию их тройных соединений с железом и(или) легирующими сталь элементами - карбонитридов, когда оба неметалла входят в анионную подрешетку упрочняющей фазы в виде группы *CN*, доля элементов в которой составляет 0,4615 и 0,5385 % соответственно, а их соотношение равно 0,85. В таком случае примерно половина позиций анионной подрешетки оказывается занята атомами углерода, а остальная часть - атомами азота. При преобладании в подрешетке одного из элементов образуется соединение более близкое по своей природе к карбиду (цементит) или нитриду железа, параметры кристаллических решеток, физические и химические свойства которых заметно отличаются.

В полученных нами напеченных упрочняющих слоях соотношение *C/N*, в зависимости от характеристик железного порошка и параметров процесса изменяется от 2,1 до 3,2, но, в любом случае, содержание углерода не может превысить 0,9 а азота 0,4 % в износостойком слое. Таким образом, получаемые при ЭКН железного порошка, модифицированного смолой *KΦ-Ж* соединения, по своей природе и составу отвечают более отвечают карбидам а не карбонитридам железа.

Применим этот подход управления составом функциональных ЭКН-покрытий к предельным случаям составов карбамидоформальдегидных смол, которыми может быть модифицирована поверхность частиц железного порошка и соответствует конкретный состав металл-полимерного нанокompозита.

Как известно, карбамидоформальдегидные смолы получают по реакции поликонденсации мочевины (карбамида) и формальдегида в водном растворе при различных значениях *pH*, температуре и продолжительности процесса по реакции [10]:

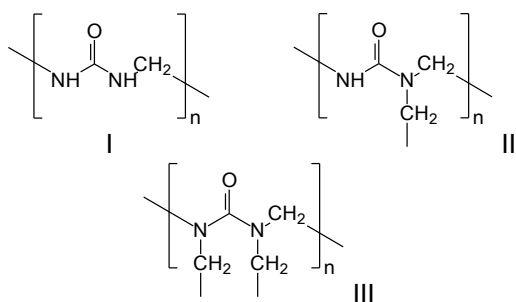


причем реакция (1), как правило, не заканчивается образованием олигомерного продукта линейного строения (формула I ниже).

**УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ
ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ, ИЗМЕНЕНИЕМ СОСТАВА МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНЫХ
НАНОКОМПОЗИТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ**

Из-за наличия реакционных центров в олигомере (вторичных аминогрупп) их пространственной доступности и высокой реакционной способности формальдегида, конденсация идет дальше, с образованием продуктов разветвленного и сетчатого строения (формулы II и III). В готовой смоле можно обнаружить полимеры всех трех типов, а состав готового продукта лишь приблизительно задается мольным соотношением мономеров k/l в исходной смеси.

Специальные синтетические приемы и исчерпывающее проведение реакции (1) с мольным соотношением карбамида и формальдегида 1:1, 1:2, 1:3 и дает смолы, отвечающие предельным составам I-III.



На практике же, при получении коммерческих марок карбамидоформальдегидных смол, применяют большие избытки формальдегида (1:5, 1:10), чтобы получались легко отверждаемые уротропином, или другими аминными системами, олигомерные продукты разветвленного строения с большим количеством реакционноспособных метилольных концевых групп.

Аналогично, конденсацией с формальдегидом, можно получить предельные олигомерные продукты на основе меламина (формулы V-VIII), анилина (формулы IX-XI) и фенола (XII-XIII), обладающие высокой адгезией к металлу и потенциальной активностью в процессах ЭКН и при образовании адсорбционного металл-полимерного нанокompозита.

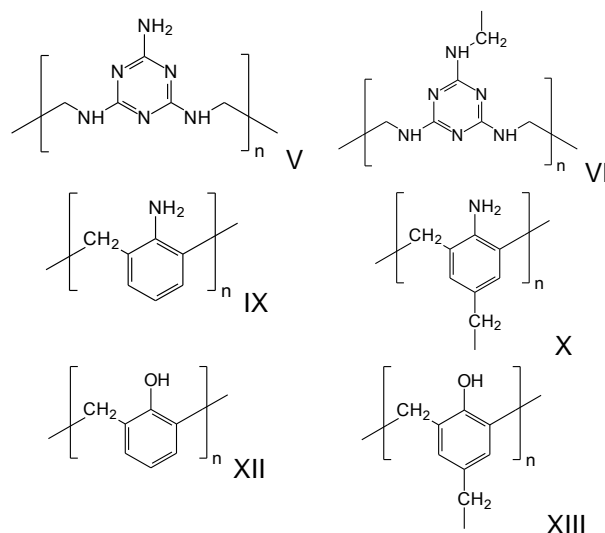
Расчет предельного содержания интересующих нас элементов в олигомерных продуктах и их отношения друг к другу дает следующие результаты (табл. 1).

Таблица. 1. Расчетное предельное содержание углерода и азота в поликонденсационных олигомерах

Соединение	Доля элемента, ед.		Отношение C/N
	N	C	
I	0,3888	0,3333	0,85
II	0,3294	0,4235	1,28

III	0,2857	0,4898	1,72
V	0,6087	0,3478	0,57
VI	0,5563	0,3973	0,71
IX	0,1333	0,8000	5,88
X	0,1186	0,8135	7,14
XII	0,7924	-	-
XIII	0,8067	-	-

Как следует из приведенных в табл. 1 данных, даже в группе карбамидоформальдегидных олигомеров, изменяя только соотношение мономерных остатков, связанное с мольным отношением исходных веществ в реакции (1), можно регулировать совместное содержание углерода и азота в модифицирующем металл полимере от оптимального для цианирования соотношения $C/N = 0,85$ до максимальной величины 1,72.



Тогда, перейдя в группу наиболее богатых азотом меламинаформальдегидных смол, это соотношение можно расширить до границ от 0,57 до 1,00, а используя в качестве модификатора поверхности частиц порошка ПЖВ при получении нанокompозита, анилинформальдегидную смолу, при условии полного усвоения элементов в процессе пиролиза органического вещества при ЭКН, можно добиться такого состояния упрочняющей фазы, когда в анионной подрешетке карбонитрида только каждый 6-ой или 7-ой атом будет азотом.

Использование олигомерных поликонденсационных продуктов для модификации поверхности металлических частиц при восстановлении деталей электроконтактным напеканием позволяет не только насыщать поверхностный слой неметаллами, но и регулировать его состав, изменяя природу олигомера, соотношение мономерных остатков и

природу исходных веществ.

Так, например, заменив часть карбамида в реакции поликонденсации (1) на тиомочевину $H_2N-CS-NH_2$, не изменяя общего направления процесса можно получить олигомерные продукты, содержащие в боковой макромолекулярной цепи атомы серы, которая после пиролиза в процессе ЭКН войдет в состав поверхностного слоя, повысив его антифрикционные характеристики, длительную износостойкость и прирабатываемость [3].

Таким образом, исследование адсорбционных процессов, происходящих при модификации поверхности частиц железного порошка растворами полимеров и олигомеров, химического и фазового состава износостойкого слоя, полученного методом ЭКН на поверхностях восстанавливаемых металлических деталей, а также анализ распределения неметаллов С и N, показали, что указанными процессами можно управлять, изменяя природу, состав и фазовое состояние полимера в растворе, характеристики адсорбционного равновесия, размер и состояние поверхности частиц железного порошка.

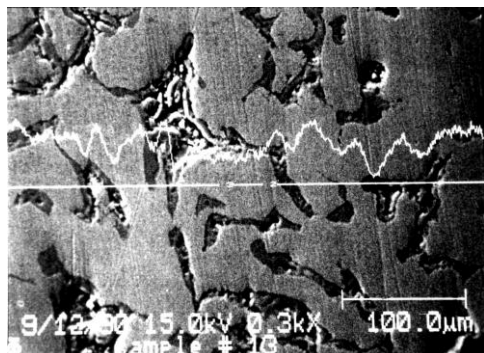


Рисунок 5 - Распределение углерода и микроструктура износостойкого слоя

Рентгенофазовыми исследованиями образцов, спеченных при времени выдержки 3 секунды, установлено присутствие в нем до 35% аустенита, а также мартенсита, с содержанием углерода до 0,75%. Отмечается также качественное наличие в слое цементита. Увеличение параметра решетки аустенита до 3,6193 Å показывает растворение в нем 1,6-1,8 % азота, следовательно, при ЭКН частиц железного порошка, модифицированного смолой КФ-Ж, происходит совместное диффузионное насыщение износостойкого слоя углеродом и азотом.

Зависимость изменения содержания углерода по сечению слоя (рисунок 5), исследованная по Оже-спектрам, показывает наличие участков его повышенного и пониженного

содержания. Наложение кривой распределения неметалла на картину микрошлифа износостойкого слоя свидетельствует о снижении концентрации С в области пор, участки повышенного содержания углерода, соответствуют границам частиц, образующих пору. В целом же можно отметить относительно равномерное распределение углерода по объему частицы, что связано, вероятно, с наличием пор на частицах губчатой формы.

Известно также, что атомы насыщающих элементов диффундируют наиболее интенсивно по границам зерен [3, 7]. Поэтому мелкозернистое строение металла, обусловленное скоростным нагревом, также может служить объяснением полученного распределения.

Заключение

Таким образом, исследование адсорбционных процессов, происходящих при модификации поверхности частиц железного порошка растворами полимеров и олигомеров, химического состава, микроструктуры и фазового состава износостойкого слоя, полученного методом ЭКН на поверхностях восстанавливаемых металлических деталей, а также анализ распределения неметаллов С и N, показали, что:

Указанными процессами можно управлять, изменяя природу, состав и фазовое состояние полимера в растворе, характеристики адсорбционного равновесия, размер и состояние поверхности частиц железного порошка, и, в целом, параметры образующегося при этом адсорбционного металл-полимерного нанокompозита.

Установлено, что при проведении электроконтактного напекания нанокompозита, полученного из частиц железного порошка ПЖВ, поверхность которых модифицирована смолой КФ-Ж, при температуре 950 °С и выдержке 3 сек, происходит интенсивное совместное насыщение износостойкого слоя углеродом и азотом.

Концентрация углерода в получаемом износостойком слое достигает 0,85 %, а азота - 0,38 % и коррелирует с составом металл-полимерного нанокompозита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткачев В.Н., Фиштейн Б.М., Казинцев Н.В., Алдырев Д.А. Индукционная наплавка твердых сплавов. -М.: Машиностроение, 1970.
2. Волошин Л.Г. Химико-термическая обработка металлокерамических материалов. -Минск: Наука и техника, 1977.

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ
ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ, ИЗМЕНЕНИЕМ СОСТАВА МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕРНЫХ
НАНОКОМПОЗИТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

3. Термическая обработка в машиностроении: справочник. / Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. -М.: Машиностроение, 1980.

4. Лахтин Ю.М. Современное состояние и перспективы развития химико-термической обработки стали. // Сб. «Новые методы химико-термической обработки в машиностроении». -М.: Изд-во МАДИ, 1982. -С. 4-7.

5. Тарасов Ю.С. Исследование электроконтактного напекания металлических порошков, как возможного способа восстановления деталей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. -Челябинск, 1970.

6. Ишков А.В., Сагалаков А.М. Адсорбция олигомерного полиаминимидного связующего и его мономеров на поверхности нестехиометрических соединений титана. // Журнал прикладной химии. -Т. 77. -Вып. 10. -2004. -С.1647-1653.

7. Кривочуров Н.Т. Использование порошковых композиций при восстановлении деталей напеканием. // Тез. научн. конф. «Роль Алтайского края в решении продовольственной программы» - Барнаул: АСХИ, 1987. -С. 210-211.

8. Перов Э.И., Костомарова И.Н., Тюникова Г.А. Взаимодействие органических веществ с металлическим титаном в режиме горения. // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2000. - Т.43. -№ 6. -С.108-111.

9. Ишков А.В. Композиционные материалы с нестехиометрическими соединениями титана: монография. -Томск: Изд-во ТГУ, 2006.

10. Григорьев А.П., Федотова О.Я. Лабораторный практикум по технологии пластических масс. Ч. II. Поликонденсационные и химически модифицированные пластические массы. -М.: Высшая школа, 1977.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-08-98016-р_сибирь_а.

Кривочуров Н.Т., К.т.н., доцент,
тел. (3852)-62-83-80;

Миронов В.В., аспирант;

Зудилов Д.С. аспирант;

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет»,

Ишков А.В., д.т.н., профессор,

Иванайский Е.А., к.т.н., доцент;

Васильев Е.А., студент,

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».