

Используя две последние аналитические зависимости радиуса r от угла φ и параметров питателя R_1, R_2, φ_0 , а также от физико-механических свойств порошка γ, λ, τ и давления p_0 и p_n при образовании свода, можно осуществить выбор рациональной конструкции питателя, обеспечивающего равномерное истечение порошка.

Выводы

Полученные при решении плоской задачи зависимости размерных параметров питателя от физико-механических свойств порошковой массы и избыточного давления внутри питателя вполне пригодны для определения размеров питателя с малыми углами воронки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. – М.: Металлургия, 1992. – 429 с. 2. Г. Корн, Е. Корн. Справочник по математике. Для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1978. – 832 с. с илл.

The determination of the rational form of a feeder

When powdered mixes are sprayed with gas – flame, especially with low value of relative density (powders on plastic material base and enc.) often there are cases of powder supply termination from the feeder. This is caused by the fact of the powder dome formation in the feeder, even if pressure is excessive, which holds the entire powder mix mass.

That is why it is important to find mathematical dependencies which connect the feeder form characteristics, physical and mechanical properties of powders and parameters of spraying process.

УДК 621.785.53, 621.793.4

Шматов А. А., Федотов Ф. О.

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ДИФфуЗИОННЫЕ КАРБИДНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ЧУГУНАХ

*Белорусский национальный технический Университет
Минск, Беларусь*

В целях экономии некоторые производители погружных насосов для нефтедобычи изготавливают их рабочие органы (направляющие аппараты и рабочие колеса) из модифицированных серых чугунов. Но такие насосы имеют недостаточно высокий ресурс работы, поскольку чугунные детали долго не выдерживают абразивного изнашивания твердых частиц и коррозионного воздействия сернистых соединений, входящих в состав пластовой жидкости, которую выкачивают из скважины. Поэтому нанесение коррозионно-стойких и износостойких покрытий на поверхность чугунных деталей является обязательным условием продления срока службы погружных насосов для нефтедобычи. Этим требованиям в наибольшей степени отвечают многокомпонентные покрытия на основе карбидов, которые могут обладать комплексом высоких физико-химических, механических и технологических свойств [1,2].

Однако процессы нанесения многокомпонентных карбидных покрытий на чугуны пока мало изучены. С другой стороны, известные методы поверхностного упрочнения не всегда могут сформировать карбидные покрытия, одновременно легированные несколькими тугоплавкими металлами. К лучшим зарубежным способам поверхностного упрочнения относятся PVD и CVD процессы для осаждения тугоплавких соединений, в т. ч. карбидов, на поверхность изделий. Эти методы позволяют получать многослойные и многокомпонентные покрытия, причем каждый слой состоит преимущественно из соединений, в т.ч. карбидов, одного и редко двух легирующих металлов. Данный процесс крайне трудоемок, энергоемок, требует применения дорогостоящего вакуумного оборудования и большого расхода дорогих компонентов [3].

В связи с вышесказанным целью настоящей работы являлось (1) проведение сравнительно-го анализа структуры и свойств одно-, двух- и трехкомпонентных карбидных слоев на сером чугу-не, полученных более простым и недорогим методом химико-термической обработки; (2) опти-мизация процессов получения многокомпонентных диффузионных карбидных покрытий на сером чугу-не.

Разработка новых износостойких и коррозионно-стойких покрытий на чугунах расширит применение чугунов в различных областях промышленности, а в некоторых случаях сэкономить более дорогостоящие нержавеющие стали и сплавы.

МЕТОДИКА

Многокомпонентные карбидные покрытия в системах на основе следующих карбидо-образующих элементов: Cr-Ti-V, Cr-Ti-Mn, Cr-Ti-Mo, Cr-V-Mo, Cr-V-Mn и Cr-V-Nb были получены на сером чугуне СЧ20 высокотемпературным методом химико-термической обра-ботки (ХТО). Образцы из серого чугуна помещали в контейнер из жаропрочной стали, за-полненного специально приготовленной порошковой насыщающей смесью, которую герме-тично защищали плавким затвором. Затем контейнер с образцами был загружен в электриче-скую печь, разогретую до температуры 1100°C, где выдерживали в течение 6 часов. Насы-щающую смесь получали методом алюминотермии путем восстановлением оксидов метал-лов алюминием в порошковых смесях следующего состава, мас. %: 98% (50% Al₂O₃ + 35% Me_xO_y + 15% Al) + 2% NH₄Cl, где оксиды Me_xO_y = Cr₂O₃, TiO₂, V₂O₅, MoO₃, Nb₂O₅ являлись поставщиком карбидообразующих металлов. Предварительно восстановленную смесь разма-львали и просеивали. Когда в нее дополнительно добавляли активатор (2%NH₄Cl) смесь для ХТО была готова к употреблению.

Структуру и фазовый состав покрытий изучали методами микроструктурного, дюр-метрического, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализов. Сравнитель-ные испытания на износ различных видов карбидных слоев в условиях сухого трения сколь-жения проводили на машине типа Шкоды-Савина. Стойкость карбидных слоев в условиях износа при сухом трении скольжения оценивали в относительных и в абсолютных значениях. Величину абсолютной износостойкости покрытия выражали объемом лунки V (мм³), образо-ванной за 20 мин. контртелом трения (диском из ВКЗ, диаметром 57 мм, толщиной 2,4 мм) при нагрузке 1 МПа и скорости вращения диска 1 м/сек (600 об/мин). Использование относи-тельных показателей износостойкости карбидных слоев позволило провести наиболее на-глядный сравнительный анализ. Относительную стойкость покрытия оценивали по формуле: $K_w = V_s/V_n$, где: V_s и V_n – объемы лунок, соответственно, эталона и исследуемого карбидного

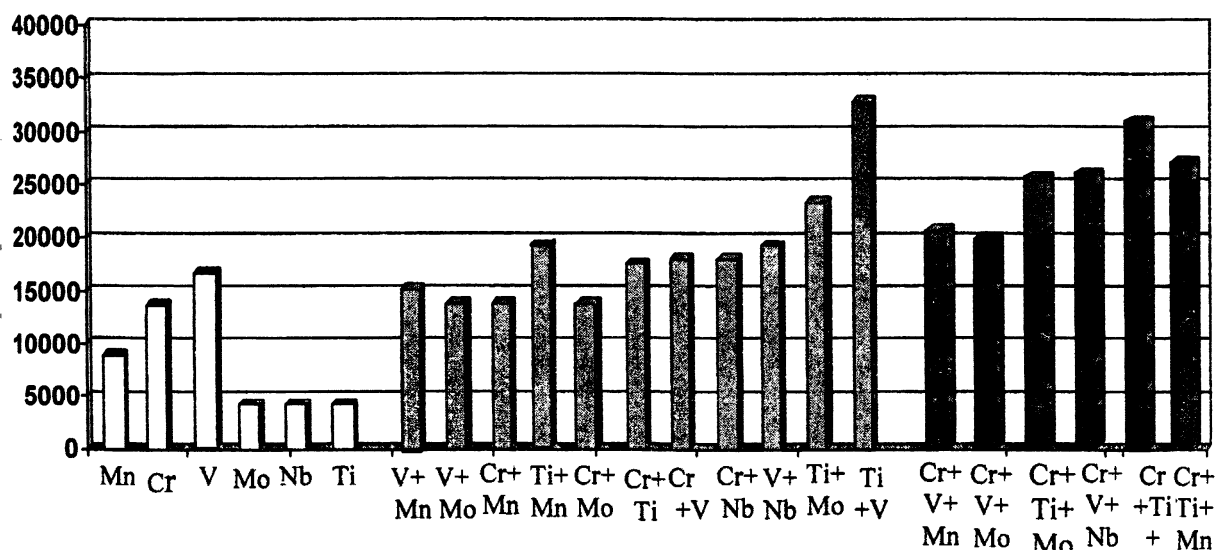


Рисунок 1 - Сравнительные диаграммы микротвердости однокомпонентных, двухкомпонентных и трехкомпонентных карбидных покрытий на чугуне СЧ20. Режим ХТО: T = 1100°C, τ = 6 час.

покрытия. Причем в качестве эталона использовали однокомпонентные карбидные покрытия, полученные на чугуна СЧ20 при диффузионном хромировании.

Для уменьшения количества экспериментов оптимизацию составов насыщающих смесей по свойствам (износостойкости, микротвердости) серого чугуна осуществляли методом математического симплекс - планирования на основании 19 экспериментальных опытов в каждой из шести систем: Cr-Ti-V, Cr-Ti-Mn, Cr-Ti-Mo, Cr-V-Mo, Cr-V-Mn и Cr-V-Nb [4]. На основании рассчитанных математических моделей были построены диаграммы «состав - свойство» для исследуемых карбидных систем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании полученных данных построены сравнительные диаграммы микротвердости H_c (рис.1) и относительной износостойкости при сухом трении скольжения $K_{ст}$ (рис.2) однокомпонентных, двухкомпонентных и трехкомпонентных карбидных диффузионных слоев на сером чугуне.

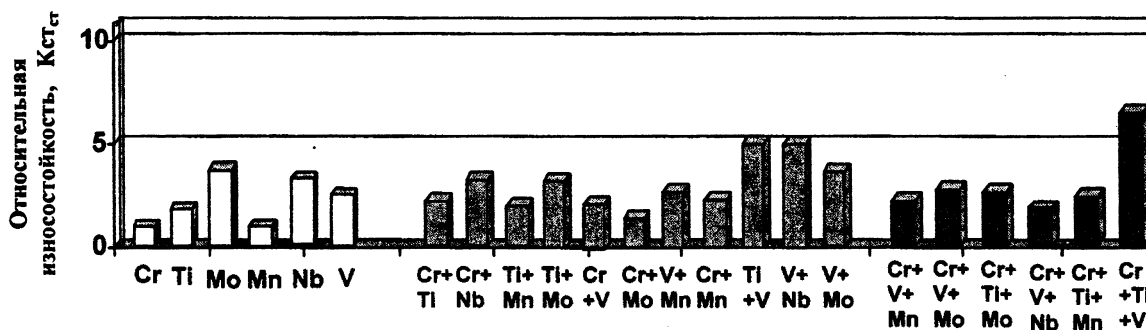


Рисунок 2 - Сравнительные диаграммы износостойкости однокомпонентных (а), двухкомпонентных (б) и трехкомпонентных (в) карбидных покрытий при сухом трении скольжения.

Режим ХТО: $T = 1100^{\circ}C$, $\tau = 6$ час. Условия испытаний: $P = 0,98$ МПа, $V = 1$ м/сек, контртело трения - ВКЗ

Из рис.1 и рис.2 видно, что трех- и двухкомпонентные карбидные покрытия на сером чугуне превосходят по микротвердости однокомпонентные, а наилучшими свойствами при сухом трении скольжения обладают карбидные диффузионные слои на основе ванадия. Отмечено, что повышение микротвердости карбидных покрытий с увеличением числа компонентов обусловлено (1) образованием многофазных слоев с преобладанием в них наиболее твердых карбидов титана или ванадия; (2) высокой степенью их легирования другими карбидами. В условиях сухого трения скольжения лучше работают одно- и двухфазные диффузионные покрытия на базе легированных карбидов ванадия, благодаря наилучшему сочетанию их высокой твердости наряду с низкой хрупкостью [2].

В работе проведена оптимизация порошковых смесей в шести трехкомпонентных системах: Cr-Ti-V, Cr-Ti-Mn, Cr-Ti-Mo, Cr-V-Mo, Cr-V-Mn и Cr-V-Nb по микротвердости и износостойкости при сухом трении скольжения карбидных покрытий на сером чугуне СЧ20. На основании экспериментов, проведенных в соответствии с матрицами планирования, получены математические модели четвертого порядка и построены диаграммы, геометрически описывающие влияние состава насыщающих смесей на свойства многокомпонентных покрытий. В качестве примера, рассмотрим оптимизацию карбидных покрытий на чугуне СЧ20 в одной из шести систем - трехкомпонентной системе Cr-Ti-V. Для нее получены следующие математические модели:

для микротвердости карбидных покрытий на чугуне СЧ20

$$y = 9,8x_1 + 8,6x_2 + 10,0x_3 + 2,4x_1x_2 - 5,6x_1x_3 + 2,3x_2x_3 - 3,3x_1x_2(x_1 - x_2) - 1,6x_1x_3(x_1 - x_3) + 6,8x_2x_3(x_2 - x_3) + 2,7x_1x_2(x_1 - x_2)^2 + 17,0x_1x_3(x_1 - x_3)^2 + 8,1x_2x_3(x_2 - x_3)^2 + 47,4x_1^2x_2x_3 - 42,5x_1x_2^2x_3 + 49,9x_1x_2x_3^2;$$

для износостойкости карбидных покрытий на чугуне СЧ20 при сухом трении скольжения

$$= 2,3x_1 + 3,0x_2 + 3,3x_3 - 0,3x_1x_2 - 0,4x_1x_3 + 0,7x_2x_3 + 1,8x_1x_2(x_1 - x_2) + 6,1x_1x_3(x_1 - x_3) -$$

$$-3,8x_2x_3(x_2-x_3)+9,9x_1x_2(x_1-x_2)^2-0,5x_1x_3(x_1-x_3)^2+4,4x_2x_3(x_2-x_3)^2-17,2x_1^2x_2x_3+25,1x_1x_2^2x_3+11,8x_1x_2x_3^2,$$

где микротвердость и износостойкость при сухом трении скольжения являлись параметрами оптимизации (y), а массовая доля металлооксидов Cr_2O_3 (x_1), TiO_2 (x_2), MoO_3 (x_3) в порошковой смеси являлась переменной величиной. При этом суммарное количество оксидов Me_xO_y в Cr-Ti-V смеси, содержащей 98% (50% Al_2O_3 + 35% Me_xO_y + 15% Al) + 2% NH_4Cl , оставалось постоянной, т.е. суммарное количество Cr_2O_3 + TiO_2 + MoO_3 составляло 100% (или 1 весовую долю).

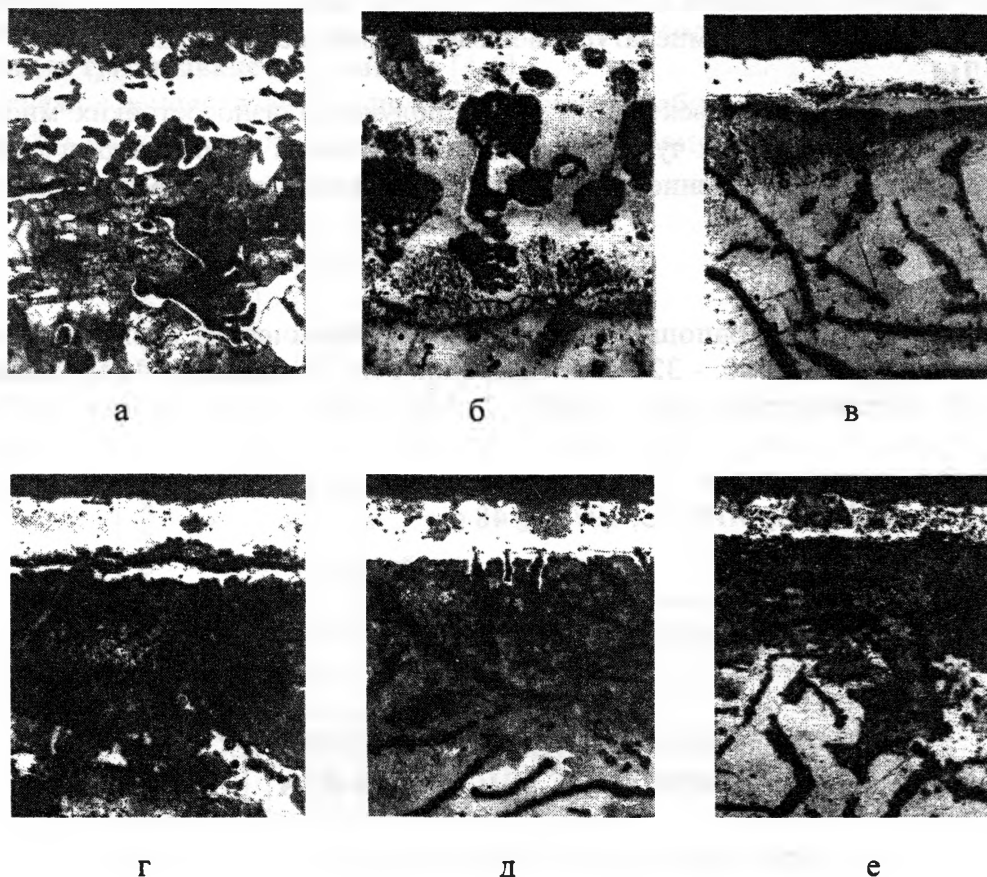


Рисунок 3 - Микроструктуры оптимальных карбидных слоев на чугуне СЧ20, полученных при $T = 1100^{\circ}C$ и $\tau = 6$ час. ($\times 240$). Составы насыщающих смесей по основным компонентам:

а - 15% Cr_2O_3 +85% V_2O_5 ; б - 25% TiO_2 +75% MnO_2 ;

в - 75% Cr_2O_3 +12,5% TiO_2 +12,5% V_2O_5 ; г - 25% Cr_2O_3 +50% TiO_2 +25% V_2O_5 ;

д - 75% Cr_2O_3 +12,5% TiO_2 +12,5% MnO_2 ; е - 25% Cr_2O_3 +50% TiO_2 +25% MnO_2 .

Полученные модели позволили построить диаграммы «состав-свойства» для карбидных покрытий на чугуне СЧ20 в системе Cr-Ti-V. (рис.3). В результате оптимизации выбраны оптимальные составы порошковых смесей, при которых карбидные покрытия обладают наибольшей микротвердостью и износостойкостью в условиях сухого трения скольжения. Структуры карбидных слоев, полученных в оптимальных насыщающих средах, представлены на рис.4. Кинетика роста этих многокомпонентных карбидных слоев носит общеизвестный характер, т.е. зависимость толщины карбидных покрытий от времени насыщения близка к параболической, а зависимость толщины покрытий от температуры процесса - к экспоненциальной. Только рост карбидных покрытий, полученных в смесях с преобладанием MnO_2 (более 70%), носит прямолинейный характер, что объясняется образованием на поверхности жидкометаллической фазы с участием алюминия.

Результаты лабораторных и производственных испытаний свидетельствуют о том, что химико-термическая обработка с использованием оптимальных составов порошковой насыщающей среды, позволяет увеличить стойкость чугунных изделий, рабо-

тающих в условиях коррозии и износа. Чугунные форсунки для распыления малярных составов, направляющие для навивки проволоки, детали нефтедобывающих насосов, на которые были нанесены различные диффузионные карбидные покрытия, прошли промышленные испытания; в результате износостойкость чугунных изделий возросла в 1,5-5 раз, по сравнению с неупрочненными.

Следует отметить, что замена чистых металлов на оксиды карбидообразующих металлов, необходимых для приготовления порошковых насыщающих смесей, позволила существенно (2-10 раз) снизить стоимость этих смесей, увеличив экономичность и применяемость предлагаемого процесса высокотемпературной химико-термической обработки.

ВЫВОДЫ

Предложен простой и эффективный метод получения износостойких многокомпонентных карбидных покрытий на чугунных изделиях путем их химико-термической обработки, который расширит применение чугунов в различных областях промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б.Г. Лившиц, В.С. Крапошин, Я.Л. Линецкий Физические свойства металлов и сплавов, М. Металлургия, 1980. - 320 с. 2. Самсонов Г.В., Винницкий И.М. Тугоплавкие соединения. -М.: Металлургия, 1976. - 560 с. 3. M.G. Hocking, V.Vasantasree, P.S.Sidky Metallic and Ceramic Coatings. Production, Properties and Applications – London, New York, 2000 - 518 p. 4. Ф.С.Новик Математические методы планирования экспериментов в металловедении, ч. IV, М., МИСиС, 1971.- 148 с.

УДК 621.793, 621.787

Шматов А. А., Девойно О.Г.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТА

*Белорусский национальный технический Университет
Минск, Беларусь*

Для повышения износостойкости и долговечности инструмента и деталей машин на практике широко применяют различные технологии получения износостойких и коррозионно-стойких покрытий. К лучшим низкотемпературным способам поверхностного упрочнения относится процесс CVD (химического осаждения из паровой фазы), активируемый плазмой для осаждения на поверхность изделий таких тонких пленок из тугоплавких соединений, при которых не меняются размеры изделий [1]. Но этот способ крайне трудоемок, мало производителен и энергоемок, требует применения дорогостоящего вакуумного оборудования и большого расхода дефицитных компонентов. Тонкие пленки можно нанести только на видимые поверхности изделий и невозможно осадить на внутренние их полости. Кроме того, минимальная температура процесса 300-350°C, поэтому способ не может быть применим для деталей машин и инструментов, изготовленных из не теплостойких конструкционных и инструментальных сталей по причине их разупрочнения.

В последние годы большое внимание уделяется развитию нанотехнологий, наноматериалов и применению их в технике. В частности, в машиностроении довольно успешно используют такие синтетические добавки, как фуллерены (наноалмазы), вводимые вместе со смазочными материалами в зону трения деталей машин, поскольку они существенно снижают силы трения и в результате повышают долговечность машин. Последнее объясняется тем, что синтетические молекулы - фуллерены C₆₀ состо-