

УДК 621.791

ПРИМЕНЕНИЕ КАРБИДИЗАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ СТАЛЕЙ

Басалай И.А.¹, Павловская Л.Ф.²

¹ Белорусский национальный технический университет, г. Минск

² Высшая политехническая школа, Дакар, Сенегал

В работе исследовано влияние температурно-временных параметров карбидизации на толщину, твердость, микротвердость, структуру и фазовый состав карбидизированного слоя на высокохромистых сталях. Изучена износостойкость хромистых сталей с карбидными покрытиями. Показана возможность применения карбидных покрытий для повышения эксплуатационной стойкости деталей горного оборудования.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, карбидизация, покрытия, эксплуатационная стойкость, высокохромистые стали, износостойкость.

APPLICATION OF METHOD OF CARBURIZING FOR INCREASE OF OPERATIONAL RESISTANCE OF COMPONENTS MOUNTAIN EQUIPMENT FROM HIGH-CHROMIUM STEELS

Basalay I.A., Pavlovskaya L.F.

In article the influence of thermal-kinetic parameters of method of carburizing on the thickness, hardness, microhardness, structure and phase compound layer on high-chromium steels is investigated. Wear resistance of chromium steels with carbide coating is studied. Possibility of application of carbide coating for increase of operational resistance of components mountain equipment from high-chromium steels is shown.

Keywords: chemical heat treatment, karbidization, coating, operational resistance, high-chromium steels, wear resistance.

Эксплуатационные параметры горных машин и оборудования в значительной степени зависят от прочностных свойств элементов приводов исполнительных органов. Это продиктовано разнообразием условий эксплуатации и режимов работы, как внутренних элементов конструкций (валов, осей, зубчатых колес и т.п.), так и внешних, т. е. взаимодействующих с горной породой (зубков, фрез, роторов). Широкий спектр марок сталей [1] для использования в качестве материала при проектировании разнообразных деталей требует от конструкторов рационального подхода к их выбору для оптимизации конструкций по условиям прочности и металлоемкости.

Решение данного вопроса имеет и второй аспект – применение сложнолегированных сталей позволяет существенно повысить эксплуатационные свойства основных деталей горных машин за счет химико-термических методов воздействия на структуру материала [2], а также термодиффузионного насыщения их рабочих поверхностей.

В частности, для изготовления основных деталей приводов исполнительных органов горных машин и оборудования рекомендуются следующие марки сталей: валы и оси – 45 и 40Х; высоконагруженные зубчатые колеса – сложнолегированные хромоникелевые стали марок 20Х2Н4А,

18Х2Н4ВА и др., подвергнутые цементации или нитроцементации и последующей закалке с низким отпускком; тяговые цепи – хромомолибденовая сталь 30ХМА, обеспечивающая повышение разрывного напряжения до 800 МПа [2, 3].

За последнее десятилетие значительно расширилось применение карбидизации для повышения износостойкости изделий из высоколегированных сталей: деталей горнодобывающего оборудования, буровой техники, быстроизнашивающихся узлов (роlikоопоры, скребки, направляющие), режущего и мерительного инструмента.

Сложность карбидизации хромосодержащих сталей связана с двумя причинами: науглероживание сопровождается избирательным окислением хрома; формирование слоя карбидов одновременно с повышением твердости и износостойкости стали снижает ее прочность и пластичность. Анализ современного состояния проблемы показывает актуальность исследований, направленных на интенсификацию карбидизации и улучшение структуры диффузионного слоя, установление зависимости комплекса эксплуатационных свойств хромосодержащих сталей от режима химико-термической обработки.

Упрочнение (карбидизация) высокохромистых сталей (типа 40Х13 и Х12) позволяет значительно повысить содержание углерода в поверхностной зоне (до 2,5 % С и выше) и, главное, получить в диффузионном слое значительно большее содержание довольно мелких скоагулированных карбидов даже по сравнению со сталями ледебуритного класса. После карбидизации эти стали обладают повышенной износостойкостью, в том числе и в условиях динамических нагрузок.

В работе исследовано влияние температурно-временных параметров обработки на толщину карбидизированного слоя на сталях Х12Ф1, 40Х13, 20Х13. Показано, что время и температура карбидизации определяются требуемой толщиной карбидной зоны и особенностями конкретного изделия. Рекомендуемые режимы процесса: $t=950-1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=4-8\text{ ч}$ [3, 4].

Результаты исследования влияния условий последующей термообработки на твердость предварительно карбидизированной стали Х12Ф1 показали, что при температуре закалки 850-900 °С и температуре отпуска – 200 °С на поверхности упрочненной стали твердость имеет максимальное значение - 65-67 HRC (85-88 HRA). С увеличением температуры закалки выше 950 °С, твердость карбидизированной стали Х12Ф1 снижается. Однако, при закалке с температур 1050-1100 °С наблюдается эффект вторичной твердости при температуре отпуска 500 °С (до 62-64 HRC).

Установлено влияние условий карбидизации и последующей термической обработки на изменение твердости по толщине формирующегося покрытия. Обработка высокохромистых сталей приводит к изменению химического состава поверхности, а значит, и к изменению прокаливаемости стали. Однако, при толщине слоя 1,5 мм и выше и при закалке с 850-900 °С

(отпуск 200 °С) на глубине до 0,5-1,0 мм сохраняется максимальная твердость до 65-67 HRC. Микротвердость карбидизированного слоя до и после термообработки с удалением от поверхности меняется, соответственно, от 620 до 460 и от 1200 до 680 HV_{0,1} [3, 4].

Исследования структуры и фазового состава карбидизированного слоя на стали X12Ф1 показали, что он состоит из мелкодисперсных карбидов. Зоны разветвленных крупных карбидов, которые могут служить причиной трещинообразования при последующей закалке, на поверхности не образуются. Стабилизирующие добавки на основе соединений хрома препятствуют внутреннему окислению поверхностной зоны покрытия. Установлен фазовый состав карбидизированного слоя: легированный хромом цементит - (Fe,Cr)₃C; легированный железом карбид хрома (Cr,Fe)₇C₃; вероятно присутствие незначительного количества карбида (Cr,Fe)₂₃C₆.

Установлены характер распределения карбидов по толщине диффузионного слоя на высокохромистых сталях X12Ф1 и 40X13 в зависимости от условий карбидизации. Независимо от температуры обработки стали X12Ф1 процент площади, занятой карбидами, плавно изменяется от поверхности слоя к основе от 30-35 % до 15-20 %. Площадь среднего из большинства карбидов также снижается по толщине слоя от 0,43 до 0,23 мкм² при 900 °С и от 2,1 до 1,2 мкм² при 1050 °С.

С увеличением температуры ХТО увеличивается средняя площадь одного из карбидов от 1,0 мкм до 5-8 мкм² в поверхностной зоне слоя. Такой параметр характеристики покрытия, как общее количество карбидов на исследуемом участке, не является достаточно объективным. Следует лишь отметить, что с увеличением температуры обработки свыше 900 °С, количество карбидов в слое и в основе снижается, по сравнению с характеристиками образца, подвергнутого диффузионному упрочнению при температуре 900 °С, однако площади карбидов увеличиваются. При карбидизации стали 40X13 процент площади, занятой карбидами, на поверхности составляет 22-26 %, в основе - 6-7 %.

Исследован химический состав карбидов и матрицы по толщине карбидизированного слоя на сталях X12Ф1 и 40X13. Определено количество хрома, ванадия и железа в карбидах различных размеров и в матрице на удалении 50, 250, 550 мкм от поверхности и в основе стали X12Ф1; а также количество хрома и железа в карбидах и в матрице на удалении от поверхности 100, 400, 800 мкм и в основе стали 40X13. Легированный хромом цементит, независимо от размеров частиц, содержит до 15-18 % хрома. В карбиде хрома Cr₇C₃ растворяется до 20-50 % железа. Содержание хрома в матрице между карбидами увеличивается от поверхности по толщине слоя и достигает максимального значения в основе как стали X12Ф1, так и в стали 40X13. Введение дополнительных изотермических выдержек при различных режимах карбидизации высокохромистых сталей не приводит к заметным изменениям в структуре, фазовом или в химическом составе

диффузионного слоя и не влияет на твердость покрытия после последующей закалки и отпуска в исследуемом интервале температур (800-1100°C).

Для оценки интенсивности изнашивания упрочненных стальных образцов использованы четыре установки для испытания на износ. Установки снабжены серийной аппаратурой, необходимой для регистрации триботехнических параметров в процессе трения. Установка ТТ реализует трение скольжения торца кольца по цилиндрической поверхности образца из испытуемого материала, создана на базе токарно-винторезного станка 1 модели 16У04П. Роликовая испытательная установка предназначена для определения зависимости изнашивания от числа циклов фрикционных воздействий и может служить для оценки фрикционной усталости материала. Установка ТПК создана на базе токарного станка ТПК-125 и реализует трение скольжения цилиндрического контрообразца по образцу из испытуемого материала. Испытания на трение и износ при локальном контакте проводили на машине 10/2-88 для образцов, контактирующих по схеме цилиндр-плоскость с осуществлением замера силы трения в сопряжении, а также замером величины износа гравиметрическим методом.

В результате проведенных исследований установлено, что карбидизация хромистых сталей с последующей термической обработкой приводит к увеличению износостойкости в исследуемом диапазоне режимов в 6-10 раз, на 20-30% снижается коэффициент трения. С увеличением содержания в поверхностных слоях карбидной составляющей износостойкость увеличивается. Для прецизионных деталей, изделий, технологические особенности изготовления которых требуют окончательной механической обработки, наиболее эффективно применение процесса карбидизации; эффективность карбидизированной зоны сохраняется до 80% ее толщины. Использование деталей из хромистых сталей с карбидными покрытиями приведет к повышению их надежности, увеличению срока эксплуатации, значительной экономии материальных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марочник сталей и сплавов / Ю.Г. Драгунов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. – М.: 2014 – 1216 с.
2. Докукин, А.В. Повышение прочности и долговечности горных машин / А.В. Докукин, П.В. Семенча, Е.Е. Гольдбухт, Ю.А. Зислин – М.: Машиностроение, 2001, – 224 с.
3. Получение на поверхности высокохромистых сталей карбидоупрочняемых диффузионных слоев заданного уровня свойств/ Кухарева Н.Г., Петрович С.Н., Галынская Н.А., Машков К.Н., Муха М.Н. // Вестник БНТУ. №3, - 2003. – с. 30-34.
4. Cazac, V. Acoperiri de crom pe aliaje fier-carbon. / V. Cazac, I. Basalai, V. Goian. // Analele ATIC – 2004. – Vol. I (VI). – Academia de transporturi, informatica si comunicatie Chisinau, Moldova, 2004. – с. 109-113.