

- вторая – формование заготовок и получение высокоплотного спрессованного полуфабриката из пластичных масс;

- третья – обжиг изделия в печи при температуре 1280 °С в течение 2 ч с последующей стадией остывания в печи до температуры окружающего воздуха.

Дополнительных операций готовым изделиям не требовалось.

Установлено, что изделия имеют однородную и гомогенную по всему объему структуру керамического материала, а разработанная технология изготовления позволяет получать изделия со стабильными и воспроизводимыми свойствами.

Физико-механические свойства такого материалы соответствуют заменяемым импортным деталям и находятся в пределах: плотность – 209 кг/м³; пористость – 20 %; коэффициент теплопроводности – 0,09–0,1 Вт/м · °С; прочность при сжатии – 2–2,5 МПа.

В результате испытаний установлено, что эксплуатационная стойкость КИ возросла в 1,5–2,3 раз, долговечность деталей увеличилась на 15–25 %.

Таким образом, использование керамической массы разработанного состава обеспечивает снижение себестоимости производства керамических изоляторов за счет уменьшения используемых сырьевых компонентов в составе керамической массы и утилизации отходов местного фарфорового завода при производстве изделий при одновременном улучшении качества.

Литература

1. Воронов, Г. В. Огнеупорные материалы и изделия в промышленных печах и объектах вспомогательного назначения / Г. В. Воронов, В. А. Старцев. – Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2006. – 303 с.
2. Салахов, А. М. Керамика для технологов : учеб. пособие / А. М. Салахов, Р. А. Салахова. – Казань : Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2010. – 232 с.
3. Балкевич, В. Л. Техническая керамика / В. Л. Балкевич. – М. : Стройиздат, 1984. – 310 с.

УДК 620.178

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НАУГЛЕРОЖЕННЫХ СЛОЕВ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Е. П. Поздняков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

И. Н. Степанкин

БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель

Д. В. Куис

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск

С. Н. Лежнев

Некоммерческое акционерное общество «Рудненский индустриальный институт», Республика Казахстан

Отображены результаты исследований цементованных слоев, сформированных на сталях 40Х, 35ХГСА и 42CrMoS4 в процессе 8- и 12-часового насыщения в древесноугольном карбюризаторе. Испытаниями на контактную усталость при напряжениях 1300 ± 65 МПа установлено, что у образцов стали 35ХГСА после 8- и 12-часовой химикотермической об-

работки и стали 40X после 8-часовой химико-термической обработки обнаружена высокая износостойчивость сплавов, которая сохраняется до 6,4 тыс., 10 тыс. и 12,9 тыс. циклов нагружения соответственно. Наибольшим сопротивлением к усталостному изнашиванию обладают науглероженные слои стали 40X, наработка которых при достижении глубины лунки износа 0,6 мм составила 30,2 тыс. и 32,4 тыс. циклов нагружения после 8- и 12-часового насыщения соответственно. Наличие молибдена в стали 42CrMoS4 не повысило износостойкость сплава.

Ключевые слова: износостойкость, усталостный износ, конструкционная сталь, цементация, легирующие элементы.

WEAR RESISTANCE OF CARBURATED LAYERS OF MEDIUM CARBON STRUCTURAL STEELS

E. P. Pozdnyakov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

I. N. Stepankin

BelNIPIneft RUE "Production Association "Belorusneft", Gomel

D. V. Kuis

Educational Institution "Belarusian State Technological University", Minsk

S. N. Lezhnev

*Non-commercial joint stock company "Rudny Industrial Institute",
Kazakhstan*

The paper presents the results of studies of carburized layers formed on steels 41Cr4, 35CrMnSi4 and 42CrMoS4 during 8 and 12 hours of saturation in a charcoal carburizer. Tests for contact fatigue at stresses of 1300 ± 65 MPa found that the specimens of steel 35CrMnSi4 after 8 and 12 hours of cold treatment and steel 41Cr4 after 8 hours of heat treatment showed high wear resistance of the alloys, which lasts up to 6.4 thousand, 10 thousand and 12.9 thousand loading cycles, respectively. The carburized layers of steel 41Cr4 have the highest resistance to fatigue wear, the operating time of which, when the wear hole depth reaches 0.6 mm, was 30.2 thousand and 32.4 thousand loading cycles after 8 and 12 hours of saturation, respectively. The presence of molybdenum in 42CrMoS4 steel did not increase the wear resistance of the alloy.

Keywords: wear resistance, fatigue wear, structural steel, carburizing, alloying elements.

Причиной выхода многих деталей машин, таких как зубчатые колеса, шестерни, подшипники качения, колеса железнодорожных составов, элементы штамповой оснастки и др., подвергающихся в процессе эксплуатации циклическим, пульсирующим и знакопеременным нагрузкам, является контактная усталость материала. На способность сопротивляться усталости первоочередное влияние оказывает твердость сплава [1]. Максимальную твердость поверхностных слоев можно получить посредством проведения цементации, которая получила наибольшее распространение в машиностроительной отрасли. Традиционно цементуемые стали после термической обработки обычно имеют низкую твердость сердцевины, которая не превышает 30–35 HRC. Такой величины твердости недостаточно для сопротивления подповерхностных слоев пульсирующим контактными нагрузкам свыше 1000 МПа. Поэтому для решения этой задачи можно применить среднеуглеродистые конструкционные стали 40X и 35ХГСА [2], которые содержат в качестве карбидообразующего элемента только хром. В настоящее время на ОАО «БМЗ – УКХ «БМК» произво-

дится новая марка стали 42CrMoS4, содержащая карбидообразующий молибден. Его наличие может повлиять на морфологию фазовых составляющих и изменить износоусталостные характеристики.

Целью работы являлось установление влияния длительности цементации на износостойкость конструкционных среднеуглеродистых сталей 40X, 35ХГСА и 42CrMoS4.

Методика проведения исследований. Объектом исследований являлись цементованные слои конструкционных среднеуглеродистых низколегированных сталей 40X, 35ХГСА и 42CrMoS4. Упрочнение поверхностного слоя осуществлялось путем проведения цементации в древесно-угольном карбюризаторе с добавкой карбоната бария BaCO₃ при температуре 920 °С с длительностью активного насыщения 8 или 12 ч. Окончательные свойства формировались посредством проведения закалки в масле с температуры 860 °С и последующем низком отпуске при температуре 200 °С в течение 1 ч. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе «Метам-РВ22» и сканирующем электронном микроскопе «Vega II» LSH. Травление микрошлифов проводилось в 1–5%-м спиртовом растворе азотной кислоты. Измерение распределения микротвердости по толщине упрочненных слоев проводилось на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке на индентор 1,962 Н. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое образцов при многократном контактном воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [3] при напряжениях 1300 ± 65 МПа.

Результаты исследований и их обсуждение. После проведения полного цикла упрочнения металлическая матрица науглероженных слоев состоит из мартенсита отпуска и остаточного аустенита, в которой присутствует карбидная фаза. В таблице 1 приведены размеры карбидов и их объемная доля, определенная в поверхностном слое толщиной 0,2 мм от поверхности образцов. Анализ данных показал, что минимальное содержание карбидов и их наименьший размер обнаружены у диффузионных слоев стали 35ХГСА. Максимальные размеры и процентное содержание включений выявлены у диффузионных слоев стали 42CrMoS4.

Объемная доля карбидной фазы и максимальный размер включений в науглероженных слоях сталей 40X, 35ХГСА и 42CrMoS4

Марка стали	Длительность ХТО, ч					
	8			12		
	Объемная доля, %	Максимальный размер включений, мкм	Микротвердость поверхности / сердцевины, ГПа	Объемная доля, %	Максимальный размер включений, мкм	Микротвердость поверхности / сердцевины, ГПа
40X	15	10	7,9 / 5,6	40	20	8,2 / 5,5
35ХГСА	10	2	9,1 / 6	15	3	9,1 / 6
42CrMoS4	30	10	8,2 / 6,0	40	30	7,3 / 5,6

После проведения испытаний на контактную усталость установлено, что у всех исследованных партий образцов присутствует этап приработки с контртелом, который длится около 1000–1500 циклов нагружения (рис. 1). У образцов стали 35ХГСА после 8- и 12-часовой химико-термической обработки (ХТО) и стали 40X – после

8-часовой – после этапа приработки обнаружена высокая износостойчивость, которая составила 6,4 тыс., 10 тыс. и 12,9 тыс. циклов нагружения соответственно. После чего интенсивность износа возрастает. У данных слоев величина стойкости, определенная при достижении лунки износа 0,6 мм, составила в интервале 20–30 тыс. циклов.

Для остальных диффузионных слоев зависимости износа несут иной характер. У цементованного слоя стали 40X, подвергнутого 12-часовой ХТО, зависимости износа имеют характер, близкий к равномерному. Максимальная стойкость данного слоя составила 32,5 тыс. циклов. Для цементованных слоев стали 42CrMoS4 после этапа приработки сохраняется высокая скорость износа, которая сохраняется при достижении лунки износа около 0,2 мм. После этого интенсивность изнашивания снижается, но указанные слои обладают минимальной стойкостью среди всех испытанных – 17,2 тыс. (12 ч ХТО) и 18,3 тыс. (8 ч ХТО) циклов нагружения.

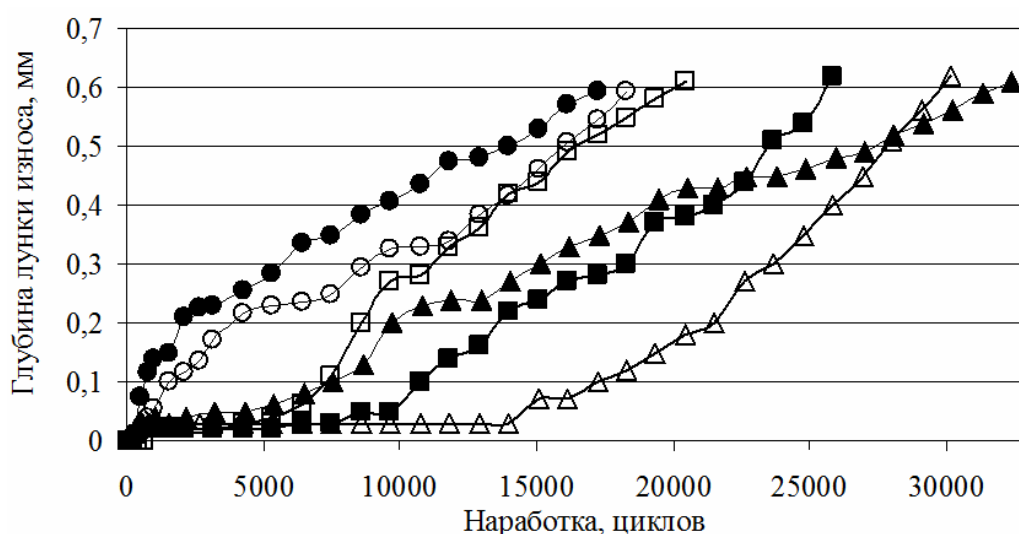


Рис. 1. Кривые износа науглероженных слоев стали 35ХГСА (■, □), 40X (▲, △) и 42CrMoS4 (●, ○) при амплитуде контактных напряжений 1300 ± 65 МПа: светлые маркеры – 8-часовая химико-термическая обработка; темные маркеры – 12-часовая химико-термическая обработка

Металлографическим исследованием установлено, что все исследованные слои сопровождаются питтинговым изнашиванием. Уже на начальном этапе при первых контактах с контртелом материал образцов претерпевает пластическую деформацию. При увеличении наработки в деформированных объемах материала образуются зоны наклепа, в которых зарождаются и распространяются трещины контактной усталости, приводящие, в конечном счете, к выкрашиванию объемов деформированного материала. Образование питтингов сопровождается перераспределением действующих напряжений на контактной поверхности образцов и ускорению интенсивности износа.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Установлено, что у образцов стали 35ХГСА после 8- и 12-часовой ХТО и стали 40X после 8-часовой ХТО обнаружена высокая износостойчивость материала, которая составила 6,4 тыс., 10 тыс. и 12,9 тыс. циклов нагружения соответственно.

2. Определено, что максимальной стойкостью к изнашиванию обладают науглероженные слои стали 40X. Их наработка составила 30,2 тыс. и 32,4 тыс. циклов

нагрузки контактными напряжениями 1300 ± 65 МПа после 8- и 12-часового насыщения соответственно.

3. Присутствие молибдена в стали 42CrMoS4 не привело к увеличению износостойкости науглероженных слоев.

Литература

1. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали : справочник / Ю. А. Геллер. – М. : Металлургия, 1984. – 584 с.
2. К вопросу влияния остаточного аустенита на износостойкость науглероженных слоев стали 40X и 35ХГСА / И. Н. Степанкин [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. / редкол.: В. Г. Залесский (гл. ред.) [и др.]. – Минск, – 2019. – С. 104–116.
3. Устройство для испытания на контактную усталость и износ : полезная модель ВУ 7093 / Степанкин, И. Н., Кенько, В. М., Панкратов, И. А. – Опубл. 28.02.2011.

УДК 539.216.2+666.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ Cu° В СТРУКТУРЕ SiO_2 ПЛЕНКИ

А. А. Бойко, М. Ф. С. Х. Аль-Камали, Е. Н. Подденежный

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Н. А. С. Аль-Арики

Таузский университет, Республика Йемен

На основании анализа СЭМ-изображения и масс-спектрометрии твердотельных образцов, полученных наноструктурированных $SiO_2 : Cu$ пленок, высказано предположение, что при высокой концентрации Cu° в пленке формируются изолированные наночастицы меди сферической формы. Построена модель распределения атомов меди в структуре высококремнеземистой матрицы, показано, что распределение меди в структуре пленки требует учета концентрации атомов меди в мишени, технологических режимов и среды формирования пленок. Обоснована перспективность таких материалов для датчиков интенсивности солнечного излучения.

Ключевые слова: наноструктурированные пленки, ионы меди, СЭМ-изображение.

MODELING OF Cu° DISTRIBUTION IN THE SiO_2 FILM STRUCTURE

A. A. Boika, M. F. S. H. Al-Kamali, E. N. Poddenezhny

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

N. A. S. Al-Areqi

Department of Chemistry, Taiz University, Republic of Yemen

Based on the analysis of the SEM-image and mass spectrometry of solid-state samples obtained from nanostructured $SiO_2 : Cu^{\circ}$ films, it is suggested that isolated spherical copper nanoparticles are formed in the film at a high concentration of Cu° . A model of the distribution of copper atoms in the structure of a high-silica matrix is constructed, it is shown that the distribution of copper in the film structure requires taking into account the concentration of copper atoms in the target, technological modes and the medium of film formation. The prospects of such materials for solar radiation intensity sensors are substantiated.

Keywords: nanostructured films, copper ions, SEM-image.