Научная статья
Original article
УДК 621.6.033

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИЦИРОВАННОГО СЛОЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ ЗМЕЕВИКОВ РЕАКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ

PROCEDURE FOR OBTAINING A SILICATED LAYER THE INNER SURFACE OF THE PIPES OF THE REACTION FURNACE COILS TO PROTECT AGAINST CARBONIZATION

Хабибуллин Артемий Илгизович, Магистрант 2 курс, Институт нефтегазового инжиниринга и цифровых технологий (ИНИЦТ), Кафедра Технологические машины и оборудование, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация

Шерматов Джамшед Наимджонович, Ассистент, Институт нефтегазового инжиниринга и цифровых технологий (ИНИЦТ), Кафедра Технологические машины и оборудование, Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация

Khabibullin Artemy Ilgizovich, Master student 2nd year, Institute of Oil and Gas Engineering and Digital Technologies (INICT), Department Technological machines and equipment, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russian Federation

Shermatov Jamshed Naimdzhonovich, Assistant, Institute of Oil and Gas Engineering and Digital Technologies (INICT), Department Technological machines and equipment, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается проблема выхода из строя змеевиков реакционных печей, которая встречается на нефтеперерабатывающих и на нефтехимических производствах. Основная причина выхода из строя таких печей – коксоотложение и науглероживание внутренней поверхности труб. При науглероживании трубы змеевиков растрескиваются, и меняется пластичность труб, что значительно сокращает срок эксплуатации змеевиков печей.

Особенно негативное воздействие с точки зрения науглероживания оказывает отложение кокса на его внутренней поверхности. Неравномерное отложение кокса приводит к перегреву отдельных участков и способствует диффузионному проникновению углерода в слой металла труб.

Одним из возможных решений проблемы является получение модифицированного поверхностного слоя внутренней поверхности печных змеевиков на основе кремния, так как кремний является эффективным барьером на пути диффузии углерода в металл труб и должен подавлять коксоотложение на поверхности стали.

В данной работе исследуются особенности силицирования стали 08Х18Н10Т на компактных образцах в зависимости от времени насыщения металла кремнием, формы образцов и шероховатости поверхности.

Подготовленные образцы помещаются вместе с реакционной смесью в специальный контейнер. Далее контейнер загружается в муфельную печь. После чего печь включается, нагревается до температуры 1000 °С, выдерживается в течении определенного времени, и выключается.

Химический состав образцов, насыщенных кремнием, был определен с помощью рентгено-флуоресцентного спектрометра.

Микроструктура образцов, покрытых кремнием, была изучена с помощью растрового электронного микроскопа.

По результатам исследований было определено оптимальное время для силицирования, при котором происходит наибольшее покрытие поверхностного слоя образцов трубы.

Annotation: The article deals with the problem of failure of the coils of reaction furnaces, which occurs in oil refineries and petrochemical industries. The main reason for the failure of such furnaces is coke deposition and carburization of the inner surface of the pipes. When carburizing, the pipes of the coils crack, and the ductility of the pipes changes, which significantly reduces the service life of the furnace coils.

A particularly negative effect from the point of view of carburization is the deposition of coke on its inner surface. Uneven deposition of coke leads to overheating of individual sections and promotes diffusion penetration of carbon into the metal layer of the pipes.

One of the possible solutions to the problem is to obtain a modified surface layer of the inner surface of the furnace coils based on silicon, since silicon is an effective barrier to diffusion of carbon into the pipe metal and should suppress coke deposition on the steel surface.

In this work, we study the features of siliconizing steel 08Kh18N10T on compact samples depending on the time of saturation of the metal with silicon, the shape of the samples and the surface roughness.

The prepared samples are placed together with the reaction mixture in a special container. Next, the container is loaded into a muffle furnace. After that, the furnace turns on, heats up to a temperature of 1000 ° C, is held for a certain time, and turns off.

The chemical composition of the samples saturated with silicon was determined using an X-ray fluorescence spectrometer.

The microstructure of the samples coated with silicon was studied using a scanning electron microscope.

Based on the research results, the optimal time for siliconizing was determined, at which the maximum coverage of the surface layer of the pipe samples occurs.

Ключевые слова: Реакционные печи, коксоотложение, науглероживание, перегрев, насыщение углеродом, силицирование стали, кремний, поверхностный слой.

Keywords: Reaction furnaces, coking, carburizing, overheating, carbon saturation, steel siliconizing, silicon, surface layer.

На нефтеперерабатывающих и на нефтехимических производствах существует проблема выхода из строя змеевиков реакционных печей. Такие печи применяются в процессах гидроочистки, каталитического риформинга, термического крекинга, висбрекинга и пиролиза. Основной причиной выхода из строя таких печей является коксоотложение и науглероживание внутренней поверхности печных змеевиков. В результате науглероживания трубы перегреваются, из-за чего появляются дефекты.

Науглероживание – явление, заключающее в насыщении углеродом поверхностных слоев материала, вызывающее изменение химического состава и механических свойств.

Причинами науглероживания внутренней поверхности труб змеевиков реакционных печей зачастую являются условия их эксплуатации. Науглероженный слой имеет склонность к растрескиванию и к снижению пластичности и значительно сокращает срок эксплуатации змеевиков печей.

Особенно негативное воздействие с точки зрения науглероживания оказывает отложение кокса на его внутренней поверхности. Неравномерное отложение кокса приводит к перегреву отдельных участков и способствует диффузионному проникновению углерода в слой металла труб. Процесс коксоотложения зависит не только от скорости отложения кокса, но и от периодичности его выжига. У науглероженного металла змеевика, ускоряется протекание структурно – фазовых изменений, что приводит к снижению

механических характеристик. Из-за проникновения углерода во внутренние слои труб происходит охрупчивание стали.

Исследованию деградации свойств и структуры металла труб змеевиков реакционных печей с различным сроком эксплуатации посвящено немалое количество научных работ. Некоторые результаты исследований приведены в работах [1-11].

К сожалению, известные методики борьбы с науглероживанием зачастую малоэффективны. В связи с этим возникает необходимость разработки эффективного метода для защиты внутренней поверхности труб змеевиков реакционных печей от диффузного насыщения углеродом.

Одним из возможных решений проблемы является получение модифицированного поверхностного слоя внутренней поверхности печных змеевиков на основе кремния, так как кремний является эффективным барьером на пути диффузии углерода в металл труб и должен подавлять коксоотложение на поверхности стали.

В данной работе исследуются особенности силицирования стали 08Х18Н10Т на компактных образцах в зависимости от состава силицирующей смеси, времени насыщения металла кремнием, формы образцов, шероховатости поверхности и т.д.

Наиболее оптимальные параметры для получения равномерного и качественного модифицированного поверхностного слоя на основе кремния в компактных образцах станут основой методики силицирования, изготавливаемых на производстве труб печных змеевиков.

Для проведения силицирования трубы змеевика в порошкообразной смеси была выбрана труба из стали 08Х18Н10Т диаметром 160х10 мм. Она была разрезана на образцы 40х10 мм, и на образцы 20х20 мм. Для каждого режима насыщения были сделаны шлифованные и нешлифованные образцы. Образцы были отшлифованы на точильном станке с помощью шлифовального круга. Затем была измерена шероховатость шлифованных и нешлифованных образцов с помощью профилометра.

Для насыщения кремнием образцов была подготовлена реакционная смесь, которая состоит из карбида кремния SIC, оксида марганца Mn2O3, и фтористого аммония NH4F. Эти реактивы были смешаны в следующем процентном содержании: 75%, 15%, 10%.

Подготовленные образцы помещаются вместе с реакционной смесью в специальный контейнер, который закрывается чашей, а затем переворачивается. Между контейнером и чашей засыпается измельченное стекло для герметичности.

Далее контейнер загружается в муфельную печь. После чего печь включается, нагревается до температуры 1000 °C, выдерживается в течении определенного времени, и выключается. Контейнер охлаждается в закрытой печи. После охлаждения расплавленное и застывшее стекло разбивается молотком. Образцы извлекаются, очищаются от смеси, промываются и просушиваются. Эксперимент проводился 5 раз, при разной выдержке временем. Контейнер с образцами выдерживался в печи в течении 2, 4, 6, 8 и 9 часов.

Химический состав образцов, насыщенных кремнием, был определен с помощью рентгено-флуоресцентного спектрометра. После силицирования на прямоугольных образцах 40х10 мм делается косой срез по внутренней стороне трубы. И в трех разных точках определяется химический состав образцов. Замеры в одной точке делаются 3 раза, и потом находится среднее значение из этих трех замеров.

Микроструктура образцов, покрытых кремнием, была изучена с помощью растрового электронного микроскопа. Для микроструктурного анализа часть образцов была разрезана таким образом, чтобы был виден слой, покрытый кремнием, вдоль сечения трубы. Разрезанные образцы были залиты эпоксидной смолой. Та сторона заливки, на которой виден слой, покрытый кремнием, была отшлифована на станке и отполирована алмазной пастой. Затем отполированная поверхность была прочищена спиртом. Подготовленная заливка устанавливалась под микроскоп, и полученное

изображение с микроскопа выводилось на компьютер, где потом были произведены замеры толщины покрытого слоя кремнием.

По результатам исследований было определено оптимальное время для силицирования, при котором происходит наибольшее покрытие поверхностного слоя образцов трубы из стали 08Х18Н10Т диаметром 160х10 мм. Наиболее оптимальное время для силицирования – 8 часов. На квадратных и на прямоугольных образцах толщина покрытого слоя при силицировании получилась примерно одинаковой. На шлифованных образцах толщина покрытого слоя получилась меньше, чем на нешлифованных образцах. Это можно объяснить тем, что на нешлифованных образцах сцепление с реакционной смесью происходит лучше.

Литература

1. Махутов Н.А., Чиркова А.Г., Рубцов А.В., Наумкин Е.А., Гайдукевич У.П. Оценка прочности материала трубы змеевика реакционной печи от действия внутреннего давления // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. Т. 74. № 1. С. 58-62.
2. Рубцов А.В. Разработка метода оценки технического состояния труб змеевиков реакционных печей // диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2007.
3. Чиркова А.Г., Наумкин Е.А., Рубцов А.В., Гайдукевич У.П. Предельное состояние трубы змеевика реакционной печи // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2007. № 5. С. 100-105.
4. Рубцов А.В., Наумкин Е.А., Фахрутдинов Н.М. Измерение магнитных характеристик дефектных фрагментов труб змеевика реакционной печи с различным сроком наработки //
5. В сборнике: Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. Сборник материалов научно-практической конференции. 2015. С. 100-102.

6. Чиркова А.Г., Махутов Н.А., Рубцов А.В., Наумкин Е.А., Иванова А.Н., Кузеев И.Р., Акомолафе Б.А. Разрушающее испытание труб змеевиков реакционных печей //
7. В сборнике: Остаточный ресурс нефтегазового оборудования. сборник научно-технических трудов. Уфа, 2007. С. 38-46.
8. Рубцов А.В., Чиркова А.Г. Анализ механических свойств сварных соединений с различным уровнем накопления повреждений // В книге: 54-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. 2003. С. 243.
9. Рубцов А.В., Закирничная М.М., Ковалева Е.М., Гималетдинова Г.А. Определение механических характеристик металла фрагмента трубы змеевика реакционной печи по значениям твердости. Сборник научных статей. «Остаточный ресурс нефтегазового оборудования» – Уфа: УГНТУ, 2014. 30-33.
10. Рубцов А.В., Чиркова А.Г. Механические свойства сварных соединений с различным уровнем накопленных повреждений. Сборник научных статей. «Мировое сообщество: проблемы и пути решения» – Уфа: УГНТУ, 2003. № 13. С. 12-22.
11. Закирничная М.М., Чиркова А.Т., Кузеев И.Р. Изменение структуры и свойств металла труб змеевиков печей пиролиза в процессе эксплуатации // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 1998. № 2. С. 87-92.
12. Чиркова А.Г., Хаерланамова Е.А., Кузеев И.Р. Образование квазимногослойных оболочек при эксплуатации труб змеевика печи пиролиза углеводородов // Механика композиционных материалов и конструкций. 2004. Т. 10. № 2. С. 153-165.
13. Чиркова А.Г., Кузеев И.Р., Попова С.В., Васильев А.Н. Изменение напряженно-деформированного состояния змеевиков печей пиролиза в процессе эксплуатации // Башкирский химический журнал. 2011. Т. 18. № 1. С. 78-82.

Literature

1. Makhutov N.A., Chirkova A.G., Rubtsov A.V., Naumkin E.A., Gaidukevich U.P. Evaluation of the strength of the tube material of the reaction furnace coil from the action of internal pressure // Zavodskaya laboratory. Diagnostics of materials. 2008. T. 74. No. 1. S. 58-62.
2. Rubtsov A.V. Development of a method for assessing the technical condition of tubes of coils of reaction furnaces // dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Ufa State Oil Technical University. Ufa, 2007.
3. Chirkova A.G., Naumkin E.A., Rubtsov A.V., Gaidukevich U.P. Limiting state of the reaction furnace coil tube // News of higher educational institutions. Oil and gas. 2007. No. 5. S. 100-105.
4. Rubtsov A.V., Naumkin E.A., Fakhrutdinov N.M. Measurement of the magnetic characteristics of defective fragments of the pipes of the reaction furnace coil with different operating time //
5. In the collection: Expertise of industrial safety and diagnostics of hazardous production facilities. Collection of materials of the scientific and practical conference. 2015.S. 100-102.
6. Chirkova A.G., Makhutov N.A., Rubtsov A.V., Naumkin E.A., Ivanova A.N., Kuzeev I.R., Akomolafe B.A. Destructive Testing of Coil Pipes in Reaction Furnaces //
7. In the collection: Residual resource of oil and gas equipment. collection of scientific and technical works. Ufa, 2007.S. 38-46.
8. Rubtsov A.V., Chirkova A.G. Analysis of mechanical properties of welded joints with different levels of damage accumulation // In the book: 54th scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists. 2003.S. 243.
9. Rubtsov A.V., Zakirnichnaya M.M., Kovaleva E.M., Gimaletdinova G.A. Determination of the mechanical characteristics of the metal of the coil pipe fragment of the reaction furnace from the hardness values. Collection of

scientific articles. "Residual resource of oil and gas equipment" - Ufa: USPTU, 2014. 30-33.

10. Rubtsov A.V., Chirkova A.G. Mechanical properties of welded joints with different levels of accumulated damage. Collection of scientific articles. "The world community: problems and solutions" - Ufa: USPTU, 2003. No. 13. P. 12-22.
11. Zakirnichnaya M.M., Chirkova A.T., Kuzeev I.R. Changes in the structure and properties of metal pipes of coils of pyrolysis furnaces during operation // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavod. Oil and gas. 1998. No. 2. S. 87-92.
12. Chirkova A.G., Khaerlanamova E.A., Kuzeev I.R. Formation of quasi-multilayer shells during the operation of the pipe coil of the pyrolysis furnace of hydrocarbons // Mechanics of composite materials and structures. 2004. T. 10. No. 2. S. 153-165.
13. Chirkova A.G., Kuzeev I.R., Popova S.V., Vasiliev A.N. Changes in the stress-strain state of the coils of pyrolysis furnaces during operation // Bashkir Chemical Journal. 2011. T. 18.No. 1.P. 78-82.

© Хабибуллин А.И., Шерматов Д.Н. 2021 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №11/2021.

Для цитирования: Хабибуллин А.И., Шерматов Д.Н. МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИЦИРОВАННОГО СЛОЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ ЗМЕЕВИКОВ РЕАКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №11/2021.