Научная статья
Original article
УДК 621.6.033

СИЛИЦИРОВАНИЕ ТРУБ ЗМЕЕВИКОВ РЕАКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ

SILICIFICATION OF PIPES OF COILS OF REACTION FURNACES

Сейтжапаров Бексултан Серикович, Магистрант 2 курс, Институт нефтегазового инжиниринга и цифровых технологий (ИНИЦТ), Кафедра «Технологические машины и оборудование», Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация

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

Seitzhaparov Bexultan Serikovich, 2nd year master's student, Institute of Oil and Gas Engineering and Digital Technologies (INICT), Department "Technological machines and equipment", Ufa State Oil Technical University, Ufa, Russian Federation

Khabibullin Artemy Ilgizovich, 2nd year master's student, Institute of Oil and Gas Engineering and Digital Technologies (INICT), Department "Technological

machines and equipment", Ufa State Oil 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 Oil Technical University, Ufa, Russian Federation

Аннотация: В статье рассматривается проблема, возникающая в реакционных печах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, служащих для высокотемпературного разложения углеводородов, которые эксплуатируются в очень жестких условиях. Змеевики таких печей воспринимают сложные термосиловые нагрузки, а также подвергаются воздействию технологической среды на металл. Вышеуказанные эксплуатационные условия способствуют отложению кокса на внутренней поверхности печных труб и образованию различных дефектов, которые в свою очередь оказывают негативное влияние на безопасную и надежную работу печного оборудования и являются причинами частых остановов на ремонт.

Одним из наиболее распространенных и характерных дефектов труб змеевиков реакционных печей является науглероживание металла внутренней поверхности. Как показывает статистика, науглероживание металла практически является одной из доминирующих причин преждевременной отбраковки участков змеевиков реакционных печей на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии. Особенно негативное воздействие на эксплуатацию змеевика оказывает отложение кокса на его внутренней поверхности. Неравномерное отложение кокса приводит к перегреву отдельных участков и способствует диффузионному проникновению углерода в слой металла.

У науглероженного металла микроструктура и механические характеристики меняются в худшую сторону. У металла наблюдается

снижение пластических свойств, что приводит к охрупчиванию. Все вышеуказанное является причиной развития аварийной ситуации и преждевременного останова реакционной печи.

Одним из возможных и недорогих решений этой проблемы является применение специальных термодиффузионных покрытий на основе кремния – силицирование. В связи с тем, что кремний обладает минимальным химическим сродством к углероду, он должен служить эффективной преградой диффузии углерода в металл в одном случае, и в другом случае, замедлять воздействие железа как катализатора образования кокса.

Затруднительность проблемы заключается в разработке режима насыщения, который будет способствовать образованию равномерных диффузионных слоев при силицировании внутренних поверхностей труб.

Annotation: The article deals with the problem arising in reaction furnaces of the oil refining and petrochemical industries, which are used for high-temperature decomposition of hydrocarbons and are operated under very harsh conditions. Coils of such furnaces perceive complex thermosilicon loads, and are also exposed to the technological environment on the metal. The above operating conditions contribute to the deposition of coke on the inner surface of the furnace pipes and the formation of various defects, which, in turn, have a negative impact on the safe and reliable operation of the furnace equipment and are the reasons for frequent stops for repairs.

One of the most common and characteristic defects of the pipes of the coils of reaction furnaces is the carburization of the metal of the inner surface. As statistics show, metal carburization is practically one of the main causes of premature marriage of sections of reaction furnace coils at oil refineries and petrochemical enterprises. The deposition of coke on its inner surface has a particularly negative effect on the operation of the coil. Uneven deposition of coke leads to overheating of individual sections and contributes to the diffusion penetration of carbon into the metal layer.

In charred metal, the microstructure and mechanical characteristics change for the worse. The metal has a decrease in plastic properties, which leads to embrittlement. All of the above is the reason for the development of an emergency situation and premature shutdown of the reaction furnace.

One of the possible and inexpensive solutions to this problem is the use of special thermal diffusion coatings based on silicon – silicification. Due to the fact that silicon has minimal chemical affinity for carbon, it should serve as an effective barrier to the diffusion of carbon into the metal in onecase, and in the other case slow down the action of iron as a catalyst for the formation of coke.

The complexity of the task lies in the development of a saturation mode that will contribute to the formation of homogeneous diffusion layers when silicifying the inner surfaces of pipes.

Ключевые слова: Реакционные печи, змеевики, науглероживание, отложение кокса, термодиффузионное покрытие, силицирование, диффузионный слой.

Keywords: Reaction furnaces, coils, carburization, coke deposition, thermal diffusion coating, silicification, diffusion layer.

Реакционные печи нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств, служащие для высокотемпературного разложения углеводородов, эксплуатируются в очень жестких условиях. Змеевики таких печей воспринимают сложные термосиловые нагрузки, а также подвергаются воздействию технологической среды на металл. Вышеуказанные эксплуатационные условия способствуют отложению кокса на внутренней поверхности печных труб и образованию различных дефектов, которые в свою очередь оказывают негативное влияние на безопасную и надежную работу печного оборудования и являются причинами частых остановов на ремонт.

Одним из наиболее распространенных и характерных дефектов труб змеевиков реакционных печей является науглероживание металла внутренней поверхности. Как показывает статистика, науглероживание металла

практически является одной из доминирующих причин преждевременной отбраковки участков змеевиков реакционных печей на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии. Особенно негативное воздействие на эксплуатацию змеевика оказывает отложение кокса на его внутренней поверхности. Неравномерное отложение кокса приводит к перегреву отдельных участков и способствует диффузионному проникновению углерода в слой металла.

У науглероженного металла микроструктура и механические характеристики меняются в худшую сторону. У металла наблюдается снижение пластических свойств, что приводит к охрупчиванию. Все вышеуказанное является причиной развития аварийной ситуации и преждевременного останова реакционной печи.

Одним из возможных и недорогих решений этой проблемы является применение специальных термодиффузионных покрытий на основе кремния – силицирование. В связи с тем, что кремний обладает минимальным химическим сродством к углероду, он должен служить эффективной преградой диффузии углерода в металл в одном случае, и в другом случае, замедлять воздействие железа как катализатора образования кокса.

Затруднительность проблемы заключается в разработке режима насыщения, который будет способствовать образованию равномерных диффузионных слоев при силицировании внутренних поверхностей труб [1-6].

В данной работе проводится исследование взаимодействия кремния с высоколегированной трубной сталью 08Х18Н10Т и формированию силицированного слоя для защиты змеевика печи от диффузионного насыщения углеродом на образцах прямоугольной формы 40×10 мм в зависимости от состава силицирующей смеси, времени насыщения металла кремнием, формы образцов, шероховатости поверхности и т.д.

Для проведения силицирования трубы змеевика в порошкообразной смеси была выбрана труба из стали 08Х18Н10Т диаметром 160×10 мм. Она

была разрезана на образцы 40×10 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 применялся порошок, который состоит из компонентов: 75 % SiC карбида кремния (данное вещество является дешевым и легкодоступным), 15 % Mn_2O_3 оксида марганца для предотвращения спекания смеси и налипания порошка на образец (инертная добавка),

10 % NH_4F фтористого аммония для ускорения процесса.

Для проведения силицирования был изготовлен контейнер цилиндрической формы. Заполнив контейнер реакционной смесью, готовые образцы погружались в контейнер, которые заранее обезжирились. После чего контейнер закрывался чашей и переворачивался. Между контейнером и внутренней поверхностью чаши для герметизации процесса насыпалось измельченное стекло. Готовая конструкция контейнера загружалась в муфельную печь, которая была разогрета до рабочей температуры 1000 °С, после чего выдерживалась в ней 2, 4, 6, 8 и 9 часов.

По истечению заданного промежутка времени печь выключалась, контейнер извлекался и охлаждался на воздухе. Далее после полного охлаждения загерметизированные затворы разбивались молотком. Извлекались образцы, очищались от насыщающей смеси, хорошо промывались и просушивались.

Для того, чтобы более подробно изучить химический состав, на образцах прямоугольной формы размерами 40×10 мм, подвергавшихся силицированию в течение 2, 4, 6, 8 и 9 часов был выполнен косой срез. На рисунке 1 представлен силицированный образец размерами 40×10 мм с косым срезом с участками определения содержания кремния по высоте образца. Участок № 1 расположен на вогнутой части образца, характеризующего

внутреннюю часть трубы змеевика реакционной печи. Содержание кремния определялось с помощью рентгено-флуоресцентного спектрометра Olympus Innov-X Delta Premium.

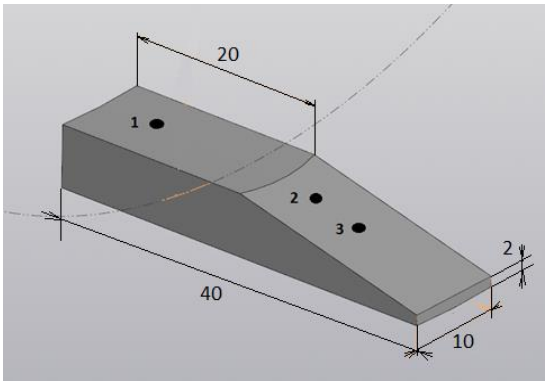
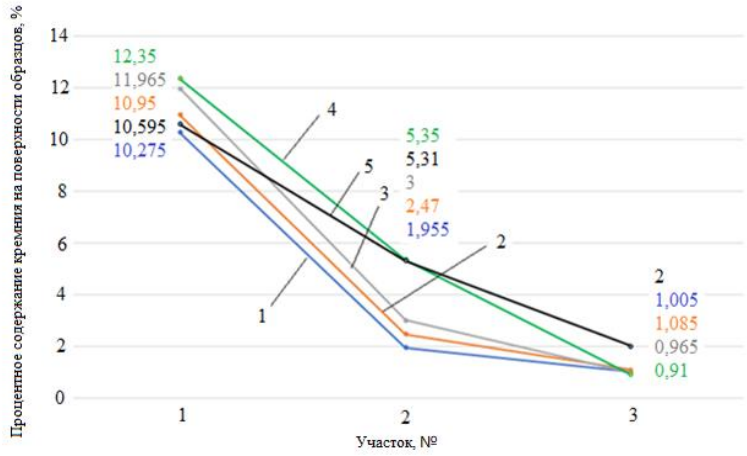


Рисунок 1 – Силицированный образец размерами 40×10 мм с косым срезом с участками определения содержания кремния по высоте образца

На рисунке 2 приведен график зависимости содержания кремния на поверхности образцов размерами 40×10 мм, с шероховатостью Ra 1,8, в зависимости от участка косого среза и времени выдержки образцов в силицирующей смеси.



1 – образец после выдержки в силицирующей смеси в течение 2 часов;

2 – образец после выдержки в силицирующей смеси в течение 4 часов;

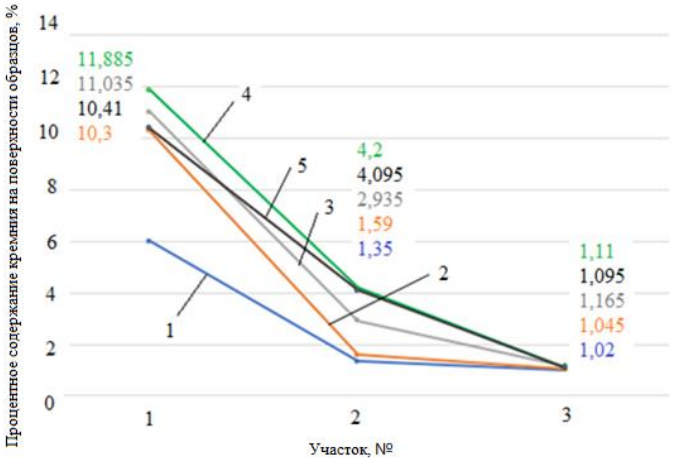
3 – образец после выдержки в силицирующей смеси в течение 6 часов;

4 – образец после выдержки в силицирующей смеси в течение 8 часов;

5 – образец после выдержки в силицирующей смеси в течение 9 часов

Рисунок 2 – График зависимости содержания кремния на поверхности образцов размерами 40×10 мм, с шероховатостью Ra 1,8 в зависимости от участка косого среза и времени выдержки образцов в силицирующей смеси

На рисунке 3 приведен график зависимости содержания кремния на поверхности образцов криволинейной формы, с менее выраженной кривизной, размерами 40×10 мм, с шероховатостью Ra 4,9 в зависимости от участка косого среза и времени выдержки образцов в силицирующей смеси.



1 – образец после выдержки в силицирующей смеси в течение 2 часов;

2 – образец после выдержки в силицирующей смеси в течение 4 часов;

3 – образец после выдержки в силицирующей смеси в течение 6 часов;

4 – образец после выдержки в силицирующей смеси в течение 8 часов;

5 – образец после выдержки в силицирующей смеси в течение 9 часов

Рисунок 3 – График зависимости содержания кремния на поверхности образцов размерами 40×10 мм, с шероховатостью Ra 4,9 в зависимости от участка косого среза и времени выдержки образцов в силицирующей смеси

Из вышеприведенных зависимостей видно, что при увеличении времени выдержки образцов в силицирующей порошкообразной смеси возрастает процентное содержание кремния по высоте исследуемых силицированных образцов на участках № 1 и № 2. Наибольшее насыщение кремнием со стороны внутренней поверхности произошло при выдержке образцов в

силицирующей смеси в течение 8 часов. Так, для образцов с шероховатостью поверхности Ra 1,8 и силицированных в течение 8 часов, содержание кремния на участке № 1 составляет 12,35 %, а на участке № 2 – 5,35 %. Для образцов с шероховатостью поверхности Ra 4,9 содержание кремния на участке № 1 составляет 11,885 %, а на участке № 2 – 4,2 %. Из полученных результатов видно, что поверхность образцов с шероховатостью Ra 1,8 подвергается силицированию несколько интенсивнее, чем поверхность образцов с шероховатостью Ra 4,9.

Литература

1. Рубцов А.В., Наумкин Е.А., Фахрутдинов Н.М. Измерение магнитных характеристик дефектных фрагментов труб змеевика реакционной печи с различным сроком наработки // В сборнике: Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. Сборник материалов научно-практической конференции. 2015. С. 100-102.
2. 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. С.30-33.
3. 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.
4. 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. С. 12-22.

5. 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.
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 // В сборнике: Остаточный ресурс нефтегазового оборудования. Сборник научно-технических трудов. Уфа, 2007. С. 38-46.

Literature

1. 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 // In the collection: Expertise of industrial safety and diagnostics of hazardous production facilities. Collection of materials of the scientific and practical conference, 2015, pp. 100-102.
2. 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, pp. 30-33.
3. Rubtsov A.V., Chirkova A.G. Analysis of mechanical properties of welded joints with different levels of damage accumulation // In the book: 54-th scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists, 2003, pp. 243.
4. 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, pp. 12-22.
5. 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, pp. 100-105.
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 // In the collection: Residual resource of oil and gas equipment. collection of scientific and technical works. Ufa, 2007, pp. 38-46.

© Сейтжапаров Б.С., Хабибуллин А.И., Шерматов Д.Н. 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №5/2022.

Для цитирования: Сейтжапаров Б.С., Хабибуллин А.И., Шерматов Д.Н. СИЛИЦИРОВАНИЕ ТРУБ ЗМЕЕВИКОВ РЕАКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №5/2022.