

*Рубцов А.В.,*

*кандидат технических наук, доцент*

*кафедры «Технологические машины и оборудование»*

**ФГБОУ ВО УГНТУ**

*Россия, г. Уфа*

*Зарипов М.З.,*

*доцент*

*кафедры «Технология нефтяного аппаратостроения»*

**ФГБОУ ВО УГНТУ**

*Россия, г. Уфа*

*Арсланова А.И.,*

*студент магистратуры*

*2 курс, факультет «Механический»*

**ФГБОУ ВО УГНТУ**

*Россия, г. Уфа*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КРЕМНИЯ С  
ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ ТРУБНОЙ СТАЛЬЮ, ПРИМЕНЯЕМОЙ В  
КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА ЗМЕЕВИКОВ РЕАКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ**

*Аннотация:* Явление науглероживания заключается в насыщении поверхностных слоев металла углеродом, вызывающим изменение химического состава и механических свойств. Отложения кокса на поверхности труб вызывают интенсивное науглероживание металла змеевика. Науглероживание змеевика реакционной печи является главной причиной, сокращающей продолжительность непрерывной работы. Одним из возможных решений данной проблемы является метод силицирования.

*Силицирование - процесс химико-термической обработки, состоящий в высокотемпературном (950-1100 °С) насыщении поверхности стали кремнием.*

*Методика силицирования позволяет замедлить процесс науглероживания металла змеевика реакционной печи, следовательно, способствует повышению срока эксплуатации труб.*

**Ключевые слова:** *змеевик, реакционная печь, силицирование, науглероживание, закоксовывание.*

**Annotation:** *The phenomenon of carburization is the saturation of the surface layers of the metal with carbon, causing a change in the chemical composition and mechanical properties. Carbon deposits on the surface of the tubes causing intense carburization of the metal coil. The carbonization of the reaction furnace coil is the main reason reducing the duration of continuous operation. One possible solution to this problem is the silication method.*

*Silicification is a chemical-thermal treatment process consisting of high-temperature (950-1100 °C) saturation of the surface of steel with silicon. Methods of silicononane can slow the process of carburization of the metal coil reaction furnace, thus increasing the life of tubes.*

**Key words:** *coil, reaction furnace, silication, carbonation, coking.*

Процесс получения кремниевых покрытий состоит из двух основных стадий – осаждения кремния на поверхность металла и его диффузии вглубь. Для осуществления первой стадии необходимо создать условия, при которой происходило бы выделение свободного элемента на поверхности металла. Во второй стадии, выделившийся активный элемент адсорбируется металлом и диффундирует вглубь его, образуя диффузионный слой.

Силицирование проводят при высоких температурах, когда запас свободной энергии системы достаточно велик для осуществления диффузии в твердой фазе. Однако при высоких температурах происходит интенсивное окисление диффундирующего элемента и поверхности насыщаемого сплава, что уменьшает скорость процесса силицирования.

В качестве материала для проведения силицирования в порошкообразной смеси были выбраны образцы, выполненные из жаропрочной

высоколегированной стали 10X23H18. Исследуемая сталь широко используется для изготовления змеевиков трубчатых печей.

Для силицирования образцов использовался состав, состоящий из следующих компонентов: в качестве основного материала 75% карбида кремния SiC (данное вещество является легко доступным и наиболее дешевым), для предотвращения спекания смеси и налипания порошка на образец – 15% оксида марганца Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (инертная добавка), а для ускорения процесса – 10% фтористого аммония NH<sub>4</sub>F[1,2]. Образцы до проведения испытаний представлены на рисунке 1. Основные показатели используемых веществ приведены в таблице 1.



**Рисунок 1. Образцы до проведения испытания**

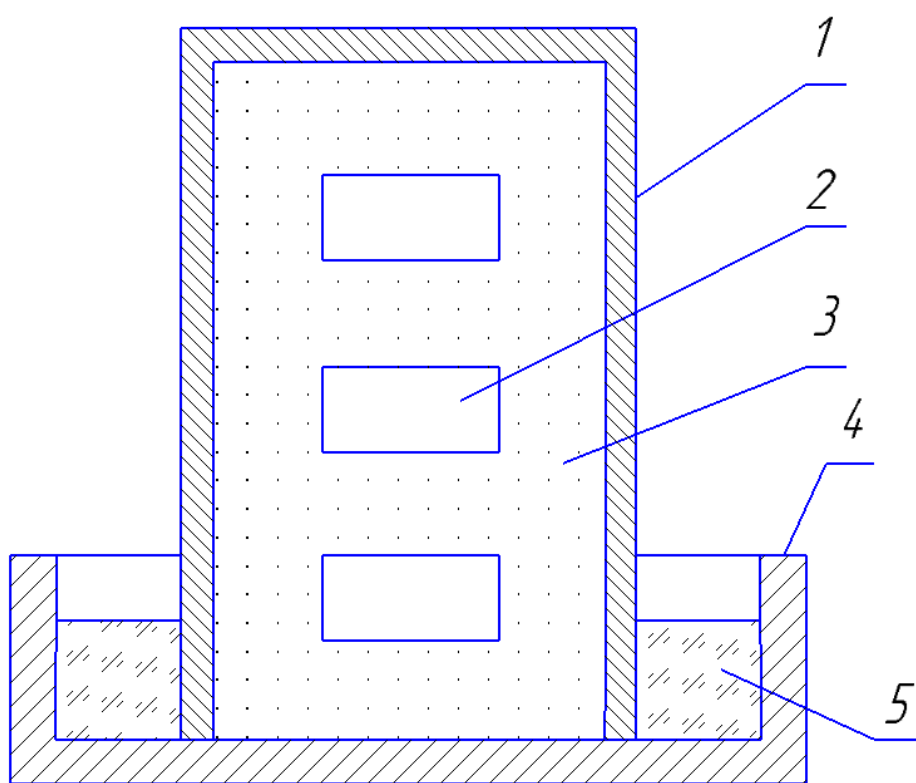
**Таблица 1**

**Основные показатели используемых веществ**

Параметр	Карбид кремния (карборунд)	Оксид марганца (браунит)	Аммоний фтористый
Химическая формула	SiC	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> F
Молекулярный вес	40,1	157,87	37,04
Цвет	черный	черный	белый
Кристаллическая структура	кубическая	тригональная	-
Плотность, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>	3,22	4,50	1,015
Температура плавления, °С	2540	1347 (разл.)	при нагревании разлагается
Температура кипения, °С	2830 (разл.)	-	-

В контейнер, наполненный реакционной смесью, погружались образцы, предварительно обезжиренные. Затем контейнер закрывался крышкой, переворачивался и, в пространство между контейнером и внутренней поверхностью крышки насыпалось измельченное стекло для герметизации процесса. Конструкция контейнера представлена на рисунке 2. Упакованный контейнер загружался в печь, разогретую до рабочей температуры, и выдерживался в ней необходимое количество времени. Для силицирования использовали муфельную электрическую печь МИМП-3УЭ.

Температура в печи составляла 1050 °С, время выдержки 3, 4, 5, 6 и 7 часов.

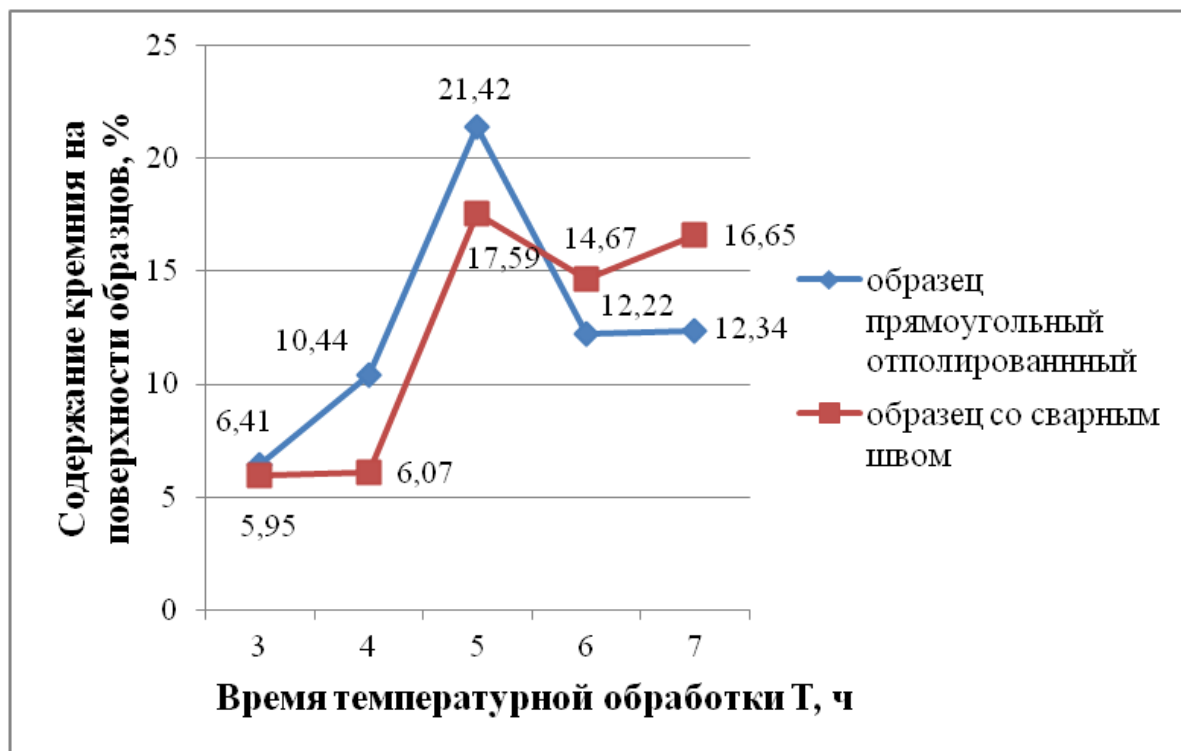


1 – корпус; 2 – образец; 3 – реакционная смесь; 4 – крышка; 5 – стекло

**Рисунок 2. Конструкция контейнера**

По окончании процесса печь выключалась, и контейнер охлаждался на воздухе. После полного охлаждения контейнера, герметизирующие затворы разбивались ударами молотка.

Результаты исследований представлены на рисунке 3.



**Рисунок 3. График зависимости содержания кремния на поверхности образцов в зависимости от времени температурной обработки**

Химический состав образцов определялся при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра Innov-X Delta Premium. Рентгенофлуоресцентный спектрометр Innov-X представляет собой комплект аналитического оборудования с автономным питанием.

По графику зависимости содержания кремния на поверхности образцов в зависимости от времени температурной обработки Т при 1050 °С видно, что оптимальное время насыщения – 5 часов. Дальнейшая выдержка незначительно влияет на содержание кремния на поверхности образцов.

В данной статье была рассмотрена методика силицирования материала, которая позволяет замедлить процесс коксоотложения на поверхности труб змеевиков, следовательно, способствует повышению срока эксплуатации труб.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

- 1 Хисаева, З.Ф. Повышение стойкости металла печных труб к коксоотложению силицированием поверхности/Диссертация на соиск. уч. ст. к.т.н.- Уфа: УГНТУ, 2003.
- 2 Латыпова Э.Р. Защита внутренней поверхности труб змеевиков реакционных печей от науглероживания/Магистерская диссертация.-Уфа: УГНТУ, 2018.