

Алексеев Александр Русланович, магистрант, Амурский государственный университет, г. Благовещенск

Лескова Светлана Анатольевна, доцент кафедры химии и химической технологии, Амурский государственный университет, г. Благовещенск

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА РАБОТУ
ЗМЕЕВИКОВ ПЕЧЕЙ ПИРОЛИЗА ДЛЯ ГАЗОВОГО СЫРЬЯ**

Аннотация

В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на работоспособность змеевиков печей пиролиза при переработке газового сырья. Предложено применение высокоизлучающих керамических покрытий для повышения их долговечности и интенсификации теплопередачи.

Annotation

The article discusses the main factors affecting the performance of coils of pyrolysis furnaces during the processing of gas raw materials. The use of high-emitting ceramic coatings is proposed to increase their durability and intensify heat transfer.

Ключевые слова: змеевики печей пиролиза, жаропрочные стали, температурный режим, коррозия, коксообразование, высокоизлучающие керамические покрытия.

Keywords: coils of pyrolysis furnaces, heat-resistant steels, temperature regime, corrosion, coking, high-emitting ceramic coatings.

Змеевики печей пиролиза представляют собой один из ключевых элементов технологического оборудования в производстве олефинов, таких как этилен и пропилен. Их работоспособность напрямую влияет на надежность и экономическую эффективность всего процесса. Однако

длительная эксплуатация в экстремальных условиях вызывает интенсивную деградацию материала змеевиков. Основными факторами, воздействующими на их состояние, являются высокая температура, агрессивная технологическая среда, коррозионные процессы, термические напряжения и коксоотложение.

Температурный режим работы змеевиков является одним из главных факторов, определяющих их долговечность. В современных установках пиролиза температура наружной поверхности труб может достигать 1100 – 1150 °С, что приближается к предельным значениям для большинства применяемых жаропрочных сталей. Под действием таких температур происходит тепловое старение металла, сопровождающееся изменением микроструктуры, выделением карбидов и снижением механических свойств материала [1]. Особенно интенсивно этот процесс протекает в реакционных зонах печей, где условия значительно превышают обычные параметры нагревательных установок. Неравномерное распределение температур по длине трубы приводит к возникновению термических напряжений, способствующих ускоренному износу материала [2].

Для изготовления змеевиков применяются высоколегированные жаропрочные стали аустенитного класса, такие как X25H20 и X25H35, а также специальные сплавы с содержанием хрома 25 – 35 % и никеля 20 – 45 % [3]. Эти материалы обладают хорошей стойкостью к окислению и науглероживанию, однако под длительным воздействием высоких температур наблюдается структурная нестабильность: изменяется зернистость, формируются вторичные карбиды, снижается пластичность. Теоретический срок службы таких материалов составляет до 100 000 часов, но на практике змеевики нередко выходят из строя уже через 4 000 часов из-за недопустимого формоизменения или образования трещин [4].

Агрессивная технологическая среда, содержащая серу, водород и свободные радикалы, способствует развитию различных видов коррозии. Наиболее распространенными являются питтинговая и язвенная коррозия, которые приводят к локальному истончению стенок и образованию дефектов

[1]. Особую опасность представляет коррозионное растрескивание под напряжением – механизм разрушения, возникающий при совместном воздействии растягивающих напряжений и агрессивной среды. Это может привести к внезапной разгерметизации системы и аварийным ситуациям. Также значимым фактором является эрозионный износ, особенно в местах изменения направления потока – калачах и поворотных участках змеевиков, где скорость износа может достигать 2 – 2,5 мм в год [3].

Коксообразование на внутренней поверхности труб представляет собой серьёзную проблему, поскольку оно ухудшает теплообмен, вызывает локальные перегревы и диффузионное проникновение углерода в металл, что приводит к науглероживанию и охрупчиванию материала. Существуют три основных типа кокса: волокнистый нитевидно-ленточный (дендрит), слоистый анизотропный и аморфный («пушистый») – каждый из которых по-разному влияет на эксплуатационные характеристики оборудования. Скорость отложения кокса можно снизить путём применения ингибиторов, что позволяет уменьшить его образование на 75 % [6]. В качестве эффективных ингибиторов показали себя соединения олова и сурьмы, которые блокируют каталитические центры железа и никеля на поверхности стали, не вызывая при этом коррозии и являясь пожаро- и взрывобезопасными [8].

Одним из эффективных решений является модификация внутренней поверхности труб, например, создание силицированного слоя, который служит барьером против диффузии углерода. Перспективным подходом является применение графитовых покрытий, обладающих высокой химической стойкостью, низкой поверхностной энергией и способностью снижать адгезию кокса. Особенно актуально это для калачей и сварных швов – наиболее уязвимых элементов конструкции.

Для повышения надёжности и продления срока службы змеевиков применяются различные технические меры. Одним из перспективных подходов является использование высокоизлучающих керамических (ВИК) покрытий. Такие покрытия повышают коэффициент излучения футеровки

печи с 0,45 до 0,92 – 0,95, что значительно увеличивает плотность лучистого теплового потока согласно закону Стефана–Больцмана:

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²;

ε – коэффициент излучения поверхности (степень черноты);

σ – постоянная Стефана–Больцмана, равная $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴);

T – абсолютная температура, К [7].

Применение ВИК-покрытий позволяет более равномерно распределять тепловое поле внутри печи, снижать локальные перегревы, интенсифицировать теплообмен и, как следствие, продлевать срок службы змеевиков. По результатам внедрения таких покрытий на предприятиях нефтехимической отрасли зафиксировано снижение потребления топлива на 1-13 %, увеличение производительности на 3 – 10 %, а также уменьшение выбросов CO_x и NO_x [8]. Например, на предприятии «Томскнефтехим» (входит в группу СИБУР) после нанесения покрытия Emisspro R-Series площадью более 337 м² была достигнута экономия топлива порядка 3 %, что положительно сказалось на экологических и экономических показателях [2].

Таким образом, работа змеевиков печей пиролиза находится под комплексным воздействием физико-химических факторов, которые ограничивают их эксплуатационный ресурс. Для повышения надежности и долговечности конструкций необходимо применять современные технологии, такие как высокоизлучающие керамические покрытия, позволяющие оптимизировать тепловой режим, снизить износ материалов и улучшить общие технико-экономические показатели установок пиролиза.

Список литературы

1. Добротворский А.М. Змеевики технологических печей нефтеперерабатывающих производств // Химическая техника. 2016. № 1. С. 2-7.

2. ООО «Грин Рэй» [Электронный ресурс] : Референс-лист по внедрению Технологии Чернения Печей (ТЧП) с использованием Высоко Излучающих Керамических (ВИК) покрытий / Официальный сайт компании: <https://www.greenrays.ru/references.html>.
3. Афанасьев С.В. Новые инновационные разработки в области реакционных труб для печей риформинга // Химическая техника. 2015. № 8. С. 3-9.
4. Реакционные трубы для нефтехимии и нефтепереработки. Ру. : офиц. сайт: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/neftekhiyma/536529-reaktsionnye-truby-dlya-neftekhiimii-i-neftepererabotki/>
5. Карпов А.Б. Повышение энергоэффективности процесса пиролиза путем снижения коксообразования // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2015. № 11. С. 100-104.
6. Хабибуллин А.И. Методика получения силитированного слоя внутренней поверхности труб змеевиков реакционных печей для защиты от науглероживания // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». 2021. № 11. С. 3-8.
7. Гизатуллин И.Ф. Повышение энергоэффективности работы трубчатых печей с применением высокоизлучающих керамических покрытий // Химическая техника. 2014. № 11. С. 11-18.
8. Texplore Co., Ltd. Продукция и услуги // Официальный сайт компании: <https://www.texplore.co.th>.

References

1. Dobrotvorskiy A.M. Coils of technological furnaces of oil refining industries // Chemical engineering. 2016. No. 1. pp. 2-7.
2. Green Ray LLC [Electronic resource] : Reference list on the introduction of Furnace Blackening Technology using High-radiation Ceramic (VIC) coatings / The company's official website: <https://www.greenrays.ru/references.html>.
3. Afanasyev S.V. New innovative developments in the field of reaction pipes for reforming furnaces // Chemical engineering. 2015. No. 8. pp. 3-9.

4. Reaction pipes for petrochemistry and oil refining. Official website: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/neftekhimya/536529-reaktsionnye-truby-dlya-neftekhimii-i-neftepererabotki/>
5. Karpov A.B. Improving the energy efficiency of the pyrolysis process by reducing coke formation // The territory of NEFTEGAZ. 2015. No. 11. pp. 100-104.
6. Khabibullin A.I. Method of obtaining a silicated layer of the inner surface of pipes of coils of reaction furnaces for protection against carburization // Scientific and educational magazine for students and teachers "StudNet". 2021. No. 11. pp. 3-8.
7. Gizatullin I.F. Improving the energy efficiency of tubular furnaces using high-emitting ceramic coatings // Chemical Engineering. 2014. No. 11. pp. 11-18.
8. Texlore Co., Ltd. Products and services [Electronic resource] / The official website of the company: <https://www.texlore.co.th> .