Научная статья
Original article
УДК 66.023

ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗМЕЕВИКА ПЕЧИ ПИРОЛИЗА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

MEASURING THE STRESS-STRAIN STATE OF THE PYROLYSIS FURNACE COIL DURING OPERATION

Закирничный Евгений Григорьевич, магистрант 2 курс, Институт нефтегазового инжиниринга и цифровых технологий (ИНИЦТ), кафедра Технологические машины и оборудование ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (450062 Российская Федерация г. Уфа,), тел 8(967) 747 23 93, https://orcid.org/0000-0002-2328-3950, zenyzakir@gmail.com

Zakirnny Evgeniy Grigorievich, 2nd year undergraduate, Institute of Oil and Gas Engineering and Digital Technologies (INICT), Department of Technological Machines and Equipment FSBEI HE "Ufa State Oil Technical University" (450062 Russian Federation, Ufa), tel. 8(967) 747 23 93, https://orcid.org/0000-0002-2328-3950, zenyzakir@gmail.com

Аннотация: Современные исследования показывают, что дефекты, возникающие в змеевиках в процессе пиролиза нефтяных углеводородов, характеризуются большим разнообразием и являются результатом различных механизмов повреждения металла. В данной работе получены значения механических характеристик металлических образцов, которые были эффективно

использованы для моделирования их напряженно-деформированного состояния при температуре эксплуатации.

Abstract: Modern studies show that the defects that occur in coils during the pyrolysis of petroleum hydrocarbons are characterized by a wide variety and are the result of various metal damage mechanisms. In this work, the values of the mechanical characteristics of metal samples were obtained, which were effectively used to simulate their stress-strain state at the operating temperature.

Ключевые слова: пиролиз, змеевик, напряженно-деформированное состояние, механические характеристики, статическое растяжение.

Keywords: pyrolysis, coiler, stress-strain state, mechanical characteristics, static tension.

В нефтехимической промышленности одним из важнейших технологических процессов является процесс пиролиза нефтяных углеводородов. Пиролиз – это наиболее жесткая форма термического разложение в отсутствие кислорода, в результате чего образуется углеводородный газ, обогащенный непредельными углеводородами [1-5]. Кроме того при пиролизе возможно выделение и ненасыщенных ароматических соединений. Процесс проводят при температуре от 700 до 9000℃ в основном в трубчатых реакторах (печах) пиролиза. На рисунке 1 представлены условные химические реакции, протекающие при пиролизе.

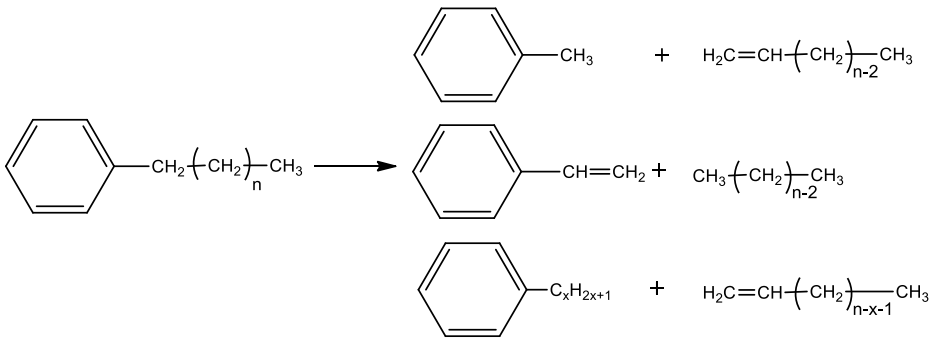


Рисунок 1. Условные химические реакции, протекающие при пиролизе нефтепродуктов

Большинство современных печей пиролиза состоят из радиантной и конвекционной секций. В данной статье будет рассмотрена только радиантная секция, в которой находятся змеевики (трубчатые реакторы пиролиза). Данный отсек обогревается от внутренней кладки печи, которую в свою очередь нагревают горелки топливного газа.

Хорошо известно, что для улучшения селективности процесса пиролиза можно уменьшать время реагирования исходных веществ, повышать температуру процесса или комбинировать эти два подхода. В связи с этим, большая часть нефтехимических компаний постоянно совершенствуют конструкцию используемых змеевиков. Таким образом, все большее влияние на эффективность работы печи пиролиза оказывает качество изготовления печных змеевиков.

Последние исследования показывают, что дефекты, возникающие в змеевиках, характеризуются большим разнообразием и, следовательно, являются результатом различных механизмов повреждения металла. Так, в работах Рубцова А.В. было изучено влияние различных факторов на возникновение различных дефектов в змеевиках и даны их характеристики [6, 7]. Также этой теме было посвящено немалое количество научных работ. Некоторые результаты исследований приведены в работах [8-11].

работах [1-11]. Основное внимание было уделено изучению напряженно-деформационного состояния (НДС) цельных металлических конструкций в процессе эксплуатации, а также наиболее уязвимых мест змеевиков – сварных швов, которые по понятным причинам характеризуются различной толщиной слоя металла.

Необходимо отметить, что на настоящий момент не выявлены особенности распределения напряженно-деформированного состояния в сварных стыках труб змеевиков печей пиролиза при эксплуатации с учетом влияния эксплуатационных нагрузок и изменения механических характеристик металла зон сварных соединений.

В связи с этим в рамках данной работы были изучены металлические

образцы на их статическое растяжение при температуре пиролиза. Для получения практически более значимых результатов исследования проводились на образцах с различными сроками эксплуатации.

В таблице 1 приведены результаты замера механических характеристик образцов, а именно параметры трубы в состоянии поставки и трубы № 18, которая подвергалась эксплуатации при температуре пиролиза (950°С) в течение 19500 ч. Данные образцы были выбраны в связи с тем, что при ремонте происходит сварка трубы с наработкой с фрагментом новой трубы. Для указанных труб исследовались предел прочности ($\sigma_В$), условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$), а также относительное удлинение и сужение (δ и ψ).

Таблица 1 – Замеренные значения механических характеристик образцов металла

Зона отбора проб	Среднее значение механических свойств			
	$\sigma_В$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	ψ, %
Фрагмент трубы в состоянии поставки (τ = 0 ч)				
Металл в состоянии поставки	68	35	87	83
Фрагмент трубы № 18 (τ = 19 500 ч), $t_{исп}$ = 950 °С				
Металл после эксплуатации	78	34	70	79

Для проведения расчетов задавались следующие физические свойства металла:

- теплопроводность = 21 (Вт/(м · град));
- теплоемкость = 511 (Дж/(кг · град));
- коэффициент линейного расширения $\alpha = 18 \cdot 10^{-6}$ (1/град).

Напряженно-деформационное состояние змеевика печи пиролиза оценивали путем моделирования сценария «прикипания» трубной подвески змеевика к верхней трубе в процессе эксплуатации. При этом использовали такую характеристику как максимальное напряжение по Мизесу. Согласно теории энергии формоизменения Мизез-Хенки (Mises-Hencky) материал начинает

повреждаться в местах, где достигается максимальное значение напряжения по Мизесу.

В результате проведения расчетов были получены следующие значения максимальных напряжений по Мизесу, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения максимальных напряжений по Мизесу в зависимости от варианта «прикипания» трубной подвески к верхней трубе змеевика

Номер «прикипевшей» подвески	Значения максимальных напряжений по Мизесу, МПа
без «прикипания»	17,41
1	35,71
2	45,82
3	49,80
4	51,00
5	52,26
6	49,92
7	67,86

Согласно полученным данным значения максимальных напряжений по Мизесу при «прикипании» подвески находятся в диапазоне 35,71–67,86 МПа, в то время какзначение напряжения без «прикипания» составляет всего 17,41 МПа.

Таким образом, были получены значения механических характеристик металлических образцов, которые были эффективно использованы для моделирования их напряженно-деформированного состояния при температуре эксплуатации. Полученные данные могут быть использованы при разработке методов оценки технического состояния змеевиков в реакторах пиролиза. При этом важно учитывать как исходные характеристики металла, так и срок и условия его эксплуатации.

Литература

1. Мухина Т.Н., Барабанов Н.Л, Бабаш С.Е. и др. Пиролиз углеводородного сырья. М.: Химия, – 1987. – С. 95–136.

2. Рю Х.В., Ли Х.В., Джэ Дж., Пак Ю.К. Каталитический пиролиз лигнина для производства ароматических углеводородов: действие оксидно-магниевого катализатора // Энергетика. – 2019. – Т. 179. – С. 669–675.
3. Баязитов М.И., Рубцов А.В., Кулаков П.А., Баязитов Р.М. Выявление зон повреждений теплообменника перекачивающей линии на основе моделирования // Журн. физ.: конф. сер. – 2019. – Т. 1399. – Ст.№ 055071.
4. Ентус Н.Р., Шарихин В.В. Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. – М.: Химия, –1987. – 304 с.
5. Закирничная М.М., Чиркова А.Г., Кузеев И.Р. Изменение структуры к свойств металла труб змеевика печей пиролиза в процессе эксплуатации // Нефть и газ. – 1998. – С. 87–92.
6. Чиркова А.Г., Рубцов А.В. Механические свойства сварных соединений с различным уровнем накопленных повреждений //Мировое сообщество, проблемы и пути решения: сб. науч. ст.- Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. – № 13. – С. 12–22.
7. Рубцов А.В. Разработка метода оценки технического состояния труб змеевиков реакционных печей: дис. … канд. техн. наук: 05.02.13 // А.В. Рубцов. – М., 2007. – 174 с.
8. 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.
9. 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.
10. 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.

11. 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.

References

1. Mukhina T.N., Barabanov N.L., Babash S.E. etc. Pyrolysis of hydrocarbon raw materials. M.: Chemistry, - 1987. - S. 95-136.
2. Ryu H.W., Lee H.W., Jae J., Park Y.K. Catalytic pyrolysis of lignin for the production of aromatic hydrocarbons: Effect of magnesium oxide catalyst // Energy. – 2019. – V. 179. – P. 669–675.
3. Bayazitov M.I., Rubtsov A.V., Kulakov P.A., Bayazitov R.M. Identification of damage zones of transfer line exchanger based on modeling // J. Phys.: Conf. Ser. - 2019. - V. 1399. - Art. No. 055071.
4. Entus N.R., Sharikhin V.V. Tube furnaces in the oil refining and petrochemical industries. - M .: Chemistry, -1987. – 304 p.
5. Zakirnichnaya M.M., Chirkova A.G., Kuzeev I.R. Changes in the structure and properties of the metal of pipes of the pyrolysis furnace coil during operation. Oil and Gas. - 1998. - S. 87–92.
6. Chirkova A.G., Rubtsov A.V. Mechanical properties of welded joints with different levels of accumulated damage // World community, problems and solutions: Sat. scientific Art. - Ufa: Publishing house of UGNTU, 2003. - No. 13. - P. 12–22.
7. Rubtsov A.V. Development of a method for assessing the technical condition of pipes of coils of reaction furnaces: dis. … cand. tech. Sciences: 05.02.13 / A.V. Rubtsov. - M., 2007. - 174 p.
8. Chirkova A.G., Naumkin E.A., Rubtsov A.V., Gaidukevich U.P. Limiting state of the pipe of the coil of the reaction furnace // Izvestia of higher educational institutions. Oil and gas. 2007. - No. 5. - P. 100-105.
9. Makhutov N.A., Chirkova A.G., Rubtsov A.V., Naumkin E.A., Gaidukevich U.P. Evaluation of the strength of the pipe material of the coil of the reaction furnace

from the action of internal pressure // Factory laboratory. material diagnostics. 2008. V. 74. - No. 1. - S. 58-62.

10. Rubtsov A.V., Zakirnichnaya M.M., Kovaleva E.M., Gimaletdinova G.A. Determination of the mechanical characteristics of the metal of the pipe fragment of the coil of the reaction furnace by hardness values. Collection of scientific articles. "Residual resource of oil and gas equipment" - Ufa: UGNTU, 2014. 30-33.
11. Chirkova A.G., Khaerlanamova E.A., Kuzeev I.R. Formation of quasi-multilayered shells during the operation of tubes of the hydrocarbon pyrolysis furnace coil. Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruktsii. 2004. V.10. - No. 2. - S. 153-165.

© Закирничный Е.Г. 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №5/2022.

Для цитирования: Закирничный Е.Г. ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗМЕЕВИКА ПЕЧИ ПИРОЛИЗА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №5/2022.