

теста. Установлено, что образец цемента с активированным микрокремнеземом, образец цемента с неактивированным микрокремнеземом и традиционный образец цемента SEM I/A-I 42,5N прочнее на 24,5-4%. Добавление 10% активированного микрокремнезема по отношению к массе цемента положительно влияет на расширение и время схватывания образца цемента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Х.Х. Тураев, А.С. Мукимов, П.Дж.Тожиев, М.У. Каримов Физико-химические свойства микрокремнеземного цементного композита. Узбекский химический журнал 2023 выпуск № 4.

2. M N Khan 1, S Singla, R Garg, and R Garg Effect of Microsilica on Strength and Microstructure of the GGBS-based Cement composites Materials Science and Engineering 961 (2020) 012007 doi:10.1088/1757-899X/961/1/012007.

3. Prakash, S., Kumar, S., Biswas, R. et al. Influence of silica fume and ground granulated blast furnace slag on the engineering properties of ultra-high-performance concrete. Innov. Infrastruct. Solut. 7, 117 (2022). <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00714-7>.

4. Rafat Siddique Utilization of silica fume in concrete: Review of hardened properties Resources, Conservation and Recycling Volume 55, Issue 11, September 2011, Pages 923-932 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.012>.

УДК 661.248:546.881- 44

Е.В. Габалов, ст. преп., канд. техн. наук;  
А.П. Васеха, ассист.; И.В. Ковальчук, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

#### **РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КАТАЛИЗАТОРОВ ОКИСЛЕНИЯ СЕРНИСТОГО АНГИДРИДА**

Использование катализаторов окисления сернистого ангидрида с низкой температурой зажигания, активных в широком диапазоне температур, позволяет повысить конечную степень превращения  $\text{SO}_2$ , уменьшить выбросы диоксида серы в окружающую среду, перерабатывать газы с повышенной концентрацией  $\text{SO}_2$  (до 15% об.) и избежать комбинированной загрузки реактора высокотемпературными и низкотемпературными катализаторами.

Ранее применявшиеся платиновые катализаторы окисления  $\text{SO}_2$  являются одними из наиболее активных. Температура зажигания платиновых катализаторов приближается к  $300\text{ }^\circ\text{C}$  [1].

По результатам термодинамического анализа процесса окисления диоксида серы в четырехслойном контактном аппарате однократного контактирования, проведенным в [2], показано, что при значении температуры газа, подаваемого в слой ванадиевого катализатора, не ниже  $420\text{ }^\circ\text{C}$ , в КА достигается общая степень конверсии  $98,5 - 98,9\%$ . Осуществление процесса с экипировкой первого и последнего слоя КА платинированным катализатором позволяет снизить температуру газа на входе в эти слои до  $350\text{ }^\circ\text{C}$ . В этом варианте общая степень конверсии возрастает до  $99,84\%$ , т.е. до уровня, характеризующего сернокислотные системы двойного контактирования.

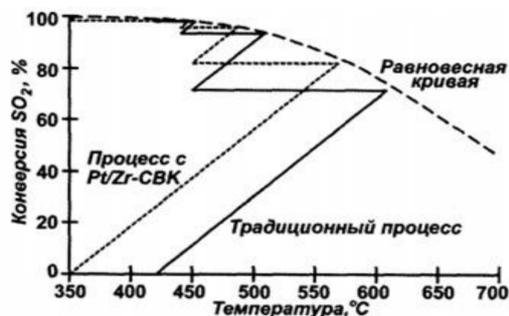


Рисунок – X-T диаграмма процесса окисления  $\text{SO}_2$  в 4-х ступенчатом адиабатическом контактном аппарате (исходная смесь  $9\% \text{SO}_2$ ,  $14\% \text{SO}_2$ )

Серьёзными недостатками платинированных катализаторов, являются высокие чувствительность к каталитическим ядам и стоимость. В связи с увеличением доли производства серной кислоты из «газовой» серы, которая практически не содержит примесей (каталитических ядов), характерных для природной серы или сернистого газа, получаемого при обжиге пиритных концентратов, интерес к платинированным катализаторам в настоящее время возрос. В Республике Беларусь для производства серной кислоты используется «газовая» сера.

Для уменьшения расхода платины ее применяли на различных носителях, в числе которых асбест, сульфат магния, силикагель. Применение носителей позволяло увеличить поверхность платины за счет ее распределения в виде мелких кристаллов (до  $4\text{ нм}$ ). Однако при длительной эксплуатации платинированного носителя при повышенных температурах протекают процессы укрупнения (рекристаллизации) платины, снижающие активность катализатора. Носители отчасти замедляют эти процессы за счет пространственного разнесения отдельных кристаллов и некоторого взаимодействия платины с носителем.

**Таблица 1 – Характеристика различных платиновых катализаторов окисления сернистого ангидрида**

Катализатор	Содержание платины, масс%.	Средний размер кристаллов Pt, нм	Поверхность платины, м <sup>2</sup> /г	Расход платины г / (т мнг сут)	Примечания
Изделия из платины: проволока, сетка, жесть	99,5	–	$1 \cdot 10^{-3} - 7 \cdot 10^{-4}$	–	–
Платинированный асбест	6–10	До 300 нм	–	500	–
Платинированный сульфат магния	0,1–0,3	–	–	300	$\rho - 750 \text{ кг/м}^3$
Платинированный силикагель	0,2 0,5	10 10	30 70	200 150	$\rho - 550 - 800 \text{ кг/м}^3$
Платинированное стекловолокно (Pt/Zr-СВК)	0,01–0,03	1) Кластеры Pt <sup>δ+</sup> менее 1 нм 2) Металлические частицы Pt 10 – 30 нм	1) активные 2) слабоактивные	– –	1) В объеме стекловолокна 2) На поверхности стекловолокна

Для подавления миграционной поверхностной подвижности кластеров платинового катализатора была предложена и испытана каталитическая система на основе кремнеземных стекловолоконистых тканых материалов путем имплантации ионов металла в стекловолоконистую аморфную матрицу носителя. Цирконий-силикатные стекловолокна с удельной поверхностью 1–3 м<sup>2</sup>/г характеризуются большой динамической емкостью по SO<sub>2</sub> (до 20% масс.), обусловленной его хемосорбцией в присутствии кислорода с образованием сульфатов в объеме стекломатрицы. Платину в стекломатрицу вводили пропиткой стеклоткани аммиаком Pt при повышенной температуре, затем образцы промывали деионизированной водой, сушили при 110 °С и прокачивали на воздухе при 300 °С [2, 3].

Отличительной особенностью Pt/Zr-СВК является встраивание активного компонента в структуру стекловолокна на глубину до 10 нм с формированием каталитически активных наноструктур размером до 1 нм, находящихся в метастабильной заряженной форме [3]. Более крупные металлические частицы размером 10-30 нм практически неактивны. В работе [4] отмечается, что кремнеземные стекловолоконистые катализаторы (КСВК) представляют собой эффективную альтернативу традиционным V-катализаторам. По данным лабораторных испытаний платинированные стеклотканые катализаторы в сравнении с известными каталитическими системами на основе оксида ванадия

позволят достичь снижения температур контакта на 40–60 °С (уменьшения остаточного содержания SO<sub>2</sub> в выхлопах), уменьшения загрузки каталитических масс в 10–30 раз, уменьшения высоты каталитического слоя на реакторной полке с 450 мм до 20–40 мм, упрощения операций загрузки-выгрузки каталитических масс (часы вместо недель). Несмотря на положительные предварительные результаты изучения и испытания стекловолнистых кремнеземных тканых катализаторов (КСВК), легированных платиной до содержания порядка 0,05% масс., в реакции окисления SO<sub>2</sub>, представленные в работах [2, 3] Института катализа СО РАН (Новосибирск) и [4] ИПХФ РАН (Черноголовка), нет сведений об их внедрении в промышленную практику. По истечении некоторого периода работы (до года) указанные катализаторы теряют свою активность. Потерю каталитической активности образцов Pt/Zr-СВК в результате длительной эксплуатации на опытной установке в промышленных условиях можно связать с изменениями структуры метастабильного носителя (кремнеземистого или цирконий-кремнеземистого стекловолнистого), сопровождающимися процессами рекристаллизации кластеров платины до каталитически малоактивного состояния.

Решение задачи получения Pt-содержащих катализаторов в виде и на носителях, исключающих процессы рекристаллизации наноразмерных кластеров платины в течение длительного времени, повысит возможности их практического использования. Учитывая условия эксплуатации катализаторов окисления сернистого ангидрида, носители каталитических компонентов должны быть весьма устойчивыми к действию кислотной среды и высоких температур.

Потенциально в качестве носителя кластеров платины можно рассматривать фосфаты бора, характеризующиеся высокой термической стойкостью (до 1500 °С), а также, при получении в определенных условиях [5], наличием пор размером ~ 0,4 нм и абсорбционной емкостью 0,16 – 0,24 см<sup>3</sup>/г. Получение платинированного фосфата бора и изучение его физико-химических и каталитических свойств в реакции окисления сернистого ангидрида, позволит определить перспективы указанного направления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Серная кислота: свойства, производство, применение: в 2 т. Т. II /Международная научно-информационная компания «Инфохим»; под ред. Левина Б.В. – Москва: Инфохим, 2014. – 623 с.
2. Ванаг С.В. Процессы окисления SO<sub>2</sub> в SO<sub>3</sub> с использованием стекловолнистых Pt-содержащих катализаторов и их аппаратное

оформление:/С.В. Ванаг; СО РАН, Институт катализа им. Г.К. Борескова. – Томск, 2012. – 19 с.

3. Загоруйко А.Н. Каталитические процессы на основе стекловолоконистых катализаторов/А.Н. Загоруйко, Б.С. Бальжинимаяв //Химическая промышленность сегодня. – 2011. – №2.– С.5-11.

4. От разветвлено-цепной теории гетерогенного катализа к новым каталитическим технологиям/В.В. Барелко//ИПХФ РАН, ООО «Химфист». <http://www.chemphys.com/article.doc>.

5. В.В. Печковский, А.В. Маргулец, А.Н. Пырх, Л.С. Ещенко / Способ получения кристаллического фосфата бора/ А.С.1161178 SU.

УДК 661.152.32

Г.Э. Меликулова; Х.Ч. Мирзакулов

(Ташкентский химико-технологический институт, Узбекистан);

Р.Р.Тожиев (Международный институт пищевых технологий и инженерии, г. Фергана, Узбекистан)

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛИЗАЦИИ МОНОКАЛИЙФОСФАТА**

Необходимость расширения масштабов производства фосфорнокислых солей определяется как увеличением спроса на минеральные удобрения со стороны традиционных потребителей, так и расширением областей их применения в народном хозяйстве.

Дигидрофосфат калия относится к ценным безбалластным, сложным удобрениям, содержащим два питательных для растений элемента - фосфора (52,16%  $P_2O_5$ ) и калия (34,60%  $K_2O$ ). Особенностью дигидрофосфата калия является его значительная растворимость в воде [1].

Дигидрофосфат калия применяется в основном в качестве минерального удобрения для различных сельскохозяйственных культур, но, кроме этого, он также находит применение в других областях, таких как, приготовление буферных систем, в производстве фармацевтических препаратов, дрожжей, жидких моющих средств, в фотографии, в гальванопластике и т. д. [2].

Современное производство фосфорных солей, как правило, базируется на многостадийных процессах, включающих получение фосфорной кислоты, ее нейтрализацию до соответствующих гидрофосфатов, их выделение и сушку. Обычно используются поташ или гидроксид калия и фосфорная кислота.

В научно-технической литературе имеются сведения о различных методах получения дигидрофосфата калия: нейтрализацией фос-