



## КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕСТРУКЦИИ И РАСТВОРЕНИЯ ПАЛЛАДИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ОТРАБОТАННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

**Турсунова Феруза Жамшидовна**

*Бухарский государственный технический университет, кафедра  
«Химическая технология», базовый докторант*

**Амонов Мухтар Рахматович**

*Бухарский государственный университет, кафедра «Химия и нефтегазовая  
технология», профессор, д.т.н., Узбекистан*

**Аннотация:** В работе исследованы коллоидно-химические аспекты деструкции и растворения палладия при переработке отработанных катализаторов системы  $Pd/\gamma-Al_2O_3$ . Рассмотрены межфазные взаимодействия на границе «металл–носитель–раствор» с позиций теории ДЛФО, включая электростатическое отталкивание, ван-дер-ваальсово притяжение и сольватационные силы. Установлено, что низкие значения  $\zeta$ -потенциала ( $< -10$  мВ) обусловливают высокую склонность наночастиц палладия к агрегации. Описан трёхстадийный механизм растворения палладия в хлоридно-гипохлоритной среде ( $HCl + NaClO$ ): активация металлической фазы, формирование сольватно-комплексной оболочки и стабилизация комплекса  $[PdCl_4]^{2-}$  в растворе. Показано, что управление  $\zeta$ -потенциалом и сольватационными эффектами позволяет достичь степени извлечения палладия до 99%.

**Ключевые слова:** Палладий, отработанные катализаторы, коллоидная химия, теория ДЛФО, дзета-потенциал, межфазные взаимодействия, сольватация, хлоридно-гипохлоритная система, тетрахлорпалладатный комплекс, агрегация,  $\gamma-Al_2O_3$ , катализатор G-58I.

## COLLOID-CHEMICAL ASPECTS OF PALLADIUM DESTRUCTION AND DISSOLUTION DURING THE PROCESSING OF SPENT CATALYSTS

**Tursunova Feruza Jamshidovna**

*Basic Doctoral Student, Department of Chemical Technology, Bukhara State  
Technical University*

**Amonov Mukhtar Rakhmatovich**

*Professor, Department of Chemistry and Oil-Gas Technology, Bukhara State  
University; Doctor of Technical Sciences, Uzbekistan*

**Abstract:** This study investigates the colloidal-chemical aspects of palladium destruction and dissolution during the processing of spent Pd/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts. Interfacial interactions at the metal–support–solution boundary were examined from the perspective of DLVO theory, including electrostatic repulsion, van der Waals attraction, and solvation forces. It was established that low zeta potential values (< -10 mV) result in a high tendency of palladium nanoparticles toward aggregation. A three-stage mechanism of palladium dissolution in chloride-hypochlorite media (HCl + NaClO) was described: activation of the metallic phase, formation of a solvation-complex shell, and stabilization of the [PdCl<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> complex in solution. It was demonstrated that controlling the zeta potential and solvation effects enables achieving palladium recovery rates of up to 99%.

**Keywords:** palladium, spent catalysts, colloid chemistry, DLVO theory, zeta potential, interfacial interactions, solvation, chloride-hypochlorite system, tetrachloropalladate complex, aggregation,  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, G-58I catalyst.

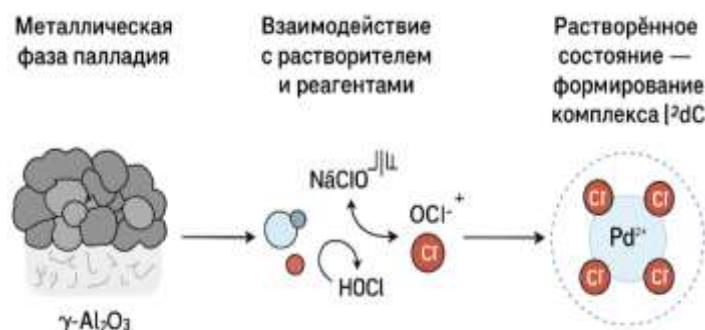
## Введение

Коллоидно-химические механизмы играют ключевую роль на начальных стадиях растворения благородных металлов, особенно в системах, где Pd присутствует в виде нанодисперсных частиц, фиксированных на  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Из-за агломерации, снижения удельной поверхности и блокировки активных центров каталитические частицы становятся менее реакционноспособными. Анализ поверхностных явлений является необходимым для разработки эффективных методик переработки катализаторов.

## Межфазные взаимодействия и уравнение ДЛФО

ДЛФО-потенциал определяется как сумма электростатического отталкивания и ван-дер-ваальсового притяжения. Для Pd-содержащих частиц характерны: низкие значения  $\zeta$ -потенциала (< -10 мВ), высокая склонность к агрегации, слабая электростатическая стабилизация.

Расчёт профиля потенциальной энергии показывает наличие первичного глубокого минимума (агрегация) и вторичного слабого минимума (флокуляция). Сольватационные силы оказывают существенное влияние на структуру двойного электрического слоя.



**Рисунок 1. Схематическое представление процессов сольватации и формирования устойчивого растворённого состояния палладия при выщелачивании катализатора G-58I в хлоридно-гипохлоритной системе ( $HCl + NaClO$ ).**

Представленный рисунок иллюстрирует три последовательных этапа, характеризующих механизм перехода металлического палладия из структуры катализатора в раствор с образованием устойчивых сольватированных хлоридных комплексов.

**1. Металлическая фаза палладия.** (Исходная часть представляет собой агрегированные или частично закоксовые частицы  $Pd^0$ , локализованные на поверхности и в порах  $\gamma-Al_2O_3$  носителя катализатора G-58I. Палладий находится в форме металлических кластеров, часто покрытых углеродистыми или оксидными слоями, что ограничивает доступ реагентов и снижает скорость растворения.

**2. Взаимодействие с растворителем и реагентами (центральная часть).** В присутствии кислоты ( $HCl$ ) и окислителя ( $NaClO \rightarrow HOCl/OCl^-$ ) вокруг частиц палладия формируется сольватная оболочка. На этом этапе происходит разрушение поверхностного оксидно-углеродистого слоя и освобождение активных центров металла, что обеспечивает его последующее растворение.

**3. Растворённое состояние - формирование комплекса  $[PdCl_4]^{2-}$  (справа).** Заключительная часть изображения демонстрирует распределение ионов палладия в растворе после полного формирования стабильной сольватированной фазой. При избытке хлорид-ионов палладий переходит в раствор в виде тетрахлорпальядат-аниона  $[PdCl_4]^{2-}$ , окружённого упорядоченными молекулами воды.

Таким образом, рисунок отражает **коллоидно-химический механизм растворения палладия в хлоридно-гипохлоритной среде**, включающий: активацию и окисление металлической фазы; формирование сольватно-комплексной оболочки; стабилизацию и распределение комплекса  $[PdCl_4]^{2-}$  в растворе. Этот процесс является определяющим для эффективного извлечения палладия из катализатора G-58I и последующей стадии его селективного осаждения.

## Заключение

Коллоидно-химический анализ позволил установить, что скорость растворения Pd лимитируется не только химическими стадиями, но и агрегативными свойствами частиц. Управление  $\zeta$ -потенциалом, сольватационными эффектами и структурой носителя обеспечивает повышение степени извлечения Pd до 99%.

## Список использованных литератур:

1. Huang, Y., et al. Oxidative dissolution of metallic palladium in chloride–hypochlorite media. *Hydrometallurgy*, 2022, 207, 105745.
2. Baláz, P. Mechanochemistry in hydrometallurgy: activation of noble metals. *Minerals Engineering*, 2019.
3. Zhang, Z., et al. Reaction mechanisms of NaClO in acidic media: HOCl formation and oxidative potential control. *Journal of Molecular Liquids*, 2021.
4. Коновалов, В. И. Хлоридно-окислительные системы в гидрометаллургии благородных металлов. *Журнал прикладной химии*, 2018.
5. Amonov M. R. et al. Thickening the polymer composition for printing on cotton fabric| //Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti Эта ссылка отключена. – 2023. – Т. 2. – С. 150-157.
6. Amonov M. et al. Physical and chemical properties of yarn sized with a composition based on starch, PVA and HYPAN //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 389. – С. 01018.
7. Axadovna I. R. N. et al. Sizing polymer compositions on the base of starch and polyvinyl alcohol //Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2019. – №. 11-12. – С. 41-44.
8. Amonov M. et al. Viscosity characteristics compositions based on PAA, PVS and NA-CMS //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 389. – С. 01021.
9. Амонов М. Р. Водорастворимые полимерные композиции на основе местного сырья для применения в производстве хлопчатобумажных тканей и технология их получения: Дисс... д-ра. техн. наук. – 2005.
10. Ниёзов Э. Д. и др. Физико-механические свойства шлихтованной пряжи на основе модифицированного крахмала //Sciences of Europe. – 2021. – №. 71-1. – С. 6-8.
11. Раззоков X., Назаров С., Ширинов Г. Влияние концентрации гидролизованного полиметилакрилата на растворимость и сорбционные свойства пленок крахмала //International Independent Scientific Journal. – 2021. – №. 26-1. – С. 12-14.
12. Шарипов М. С., Шадиева Ш. Ш., Яриев О. М. Изучение свойств загущающих композиций на основе окисленного крахмала и водорастворимых

полимеров для текстильной промышленности //Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2015. – №. 1-2. – С. 133-137.

13. Шарипов М. С. Разработка новых композиционных загустителей на основе окисленного крахмала и водорастворимых полимеров для набивки хлопчатобумажных тканей //Химия и химическая технология. – 2015. – №. 4. – С. 52-56.

14. Sharipov M.S., Shadieva S.S., Yariev O.M. Study of properties of composition basd on oxidized starch and water-soluble polymers for textile industry //Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2015. – №. 1-2. – С. 133-137.

15. Назаров С.И., Ширинов Г.К. Изучение физико-механических свойств крахмалофосфатных загусток //Ученый XXI века. – 2017. – №. 1-3. – С. 3-7.

16. Амонов М.Р. и др. Разработка нового состава шлихтующей композиции //Материалы международной научной конференции «Инновационные решения инженерно. – 2019.

17. Муталипова Д.Б., Амонов М.Р., Назаров С.И., Раззаков Х.К. - Эксплуатационные свойства хлопчатобумажных тканей, окрашенных загущенными модифицированными крахмалами. Вестник Бухарского государственного университета, 2022, №3 (140), с. 39–45.  
<https://doi.org/10.32523/2616-6771-2022-140-3-39-45>

18. Mutualipova Diloromkhon Bakhtiyorjon Kizi, Karamatov Sardor Aminovich- Development of a Polymer Composite Composition for the Process of Dyeing Silk Fibers with Acid Dyes. International Journal of Discoveries and Innovations in Applied Sciences (IJDIAS), 2021, Vol. 1, Issue 5. e-ISSN: 2792-3983.

19. Муталипова Д.Б. - Колористические и эксплуатационные свойства набивных смешанных тканей, загущенными полимерными композициями. Материалы Международного форума «Women in STEM». Ташкент, 10–14 февраля 2023 г., с. 340–341.