

титана марки BT1-0, сталей AISI 304 и 35ХГСА толщиной порядка 0,5–2 мм. Структурирование образцов производилось с применением импульсного наносекундного иттербиевого волоконного лазера с длиной волны 1064 нм.

Анализ влияния лазерного воздействия на изменение твердости структурируемого металла был изучен после проведения серии экспериментальных исследований. Запись структур на титане производилась непосредственно на предварительно сформированных методом лазерной маркировки лазерно-индуцированных оксидных пленках [1]. С целью удержания графита в зоне воздействия использовалось предметное стекло. Схема эксперимента представлена на рис. 1. Таким образом, на поверхности образцов были сформированы одномерные и двумерные массивы, обладающие структурами с различной степенью развитости поверхностного рельефа.

Проведенные исследования демонстрируют значительное увеличение показателя твердости поверхностного слоя титанового образца, а также двухкратное снижение абразивного износа за счет опосредованного нагрева и фазово-структурного преобразования поверхностного слоя с формированием твердого нанокристаллического слоя.

Разработанная методика адаптирована для применения также на стальных образцах марки (AISI 304 и 35ХГСА), с целью адаптации технологии к другим, часто используемым на про-

изводствах, металлам для вывода технологии на промышленный уровень. В качестве перспективных направлений исследований рассматривается зависимость твердости и износостойкости при увеличении площади обработки с целью адаптации технологии под условия больших конструкционных размеров режущих деталей, а также зависимость изменения параметров твердости при вариации толщины наносимого графитового слоя на образцы и термическая устойчивость сформированных твердых слоев.

Работы выполнены при финансовой поддержке научной подготовки бакалавров, магистрантов и аспирантов в рамках выполнения научно-исследовательских работ на базе Физико-технического мегафакультета Университета ИТМО (конкурс НИР МиА).



Рис. 1. Метод лазерной микрообработки под слоем графита

### Список литературы

1. Veiko V. P. et al. Laser paintbrush as a tool for modern art // *Optica*, 2021. – V. 8. – № 5. – P. 577–585.

## ГЛАУКОНИТ: АКТИВАЦИЯ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО НАНОКОМПОЗИТНОГО МИНЕРАЛА ПРИ МОДИФИКАЦИИ ФОСФАТНЫХ НУТРИЕНТОВ

М. А. Рудмин

Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, дом 30, rudminma@tpu.ru

В силу ограниченной сырьевой базы фосфатные удобрения используются меньше азотных [1]. Многие минеральные фосфатные удобрения имеют трудноусвояемую и нерастворимую форму, использование продуктов их обогащения может приводить к неэффективному использованию доступных фосфатов растениями. Для

улучшенного питания растений используются синтетические фосфатные вещества такие как аммонийный фосфат [2]. Пролонгированный эффект аммонийного фосфата достигается путем его инкапсулирования в мембраны различного состава [3, 4]. Одним из новых и современных типов удобрения являются удобрения пролон-

гированного или контролируемого действия [5]. Цель авторских исследований заключалась в создании глауконит-фосфатно-азотных нанокомпози́тов как эффективных и безопасных удобрений при помощи различных вариантов химической (Gko90P10 и GkNa90P10) и механохимической активации (Gka90P10rm Gka90P10pm) с оценкой механизмов взаимоотношения между минералом как полифункциональным ингибитором и нутриентными веществами. Активируемые нанокомпози́ты предполагается использовать в качестве удобрений контролируемого действия.

Проведенные эксперименты и наблюдения позволили получить следующие основные результаты. Наличие слабого смещения первого базального рефлекса смектитовых слоёв в глауконите нанокомпози́тов указывает на то, что одна часть нутриентов была интеркалирована в межслоевое пространство, и другая – абсорбирована на базальных поверхностях ультрамикрораггатов минерала.

Толщина кристаллического пакета глауконита в локальных участках до и после химической активации изменяется от 9,9–11,5 Å до 9,3–14,7 Å, что свидетельствует о незначительном расширении кристаллической решетки минерала, вероятно за счёт слабой интеркаляции нутриентов в межслоевое пространство. Это также отражается в увеличении толщины межслоевого пространства глауконита с диапазона 1,9–3,0 Å до 2,4–4,2 Å. Вероятней всего в расширяющиеся структуры пакетов глауконита (смектитовые фазы) интеркалировалась незначительная часть  $\text{NH}_4^+$  из моноаммонийфосфата. Деформационные колебания ионов фосфата проявляются в инфракрасных спектрах нанокомпози́тов при изготовленных как механохимическим, так и хи-

мическим путём. Пологие асимметричные колебания P–O–H при 906  $\text{cm}^{-1}$  и 1097  $\text{cm}^{-1}$  связаны с абсорбированной частью фосфата на краевых базальных поверхностях минерала. Наличие асимметричных деформационных вибраций  $\text{NH}_4^+$  свидетельствует об интеркаляции аммония в вакантное межслоевое пространство глауконита. Абсорбированные фосфатные вещества и интеркалированный аммоний будут высвобождаться с пролонгированным эффектом. Потери веса компози́тах при термогравиметрическом анализе составляют 5,6–8,7 % для различных нанокомпози́тов, что практически сопоставимо с исходной добавленной частью нутриентов. Адсорбированная часть нутриентов изменяется от 2,8 до 3,2 % для компози́тов Gko90P10 и Gka90P10rm, соответственно, что связано с разложением тонкой поверхностной плёнки на поверхности глауконитовых агрегированных частиц. Абсорбированные фосфаты в микропоровое пространство оцениваются в 0,4–0,9 масс. %. Потери молекул NO и  $\text{N}_2\text{O}$  из минерального межслоевого пространства при 302–590 °C и резкий эндотермический эффект при 572 °C характерны как для нанокомпози́тов, так и для исходного глауконита. Слабый эндотермический эффект при 648 °C и повышенная потеря массы нанокомпози́тов по сравнению с исходным в интервале 590–1000 °C свидетельствуют о высвобождении новых нутриентов из структуры минерала. Вероятно, это связано с инкапсулированием положительно заряженных ионов  $\text{NH}_4^+$  на краевые октаэдрические базальные плоскости глауконита.

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-77-10002.

### Список литературы

1. MacDonald G. K. et al. *Agronomic phosphorus imbalances across the world's croplands // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. National Academy of Sciences, 2011. – Vol. 108. – № 7. – P. 3086–3091.*
2. Shen J. et al. *Phosphorus dynamics: from soil to plant // Plant physiology. American Society of Plant Biologists, 2011. – Vol. 156. – № 3. – P. 997–1005.*
3. Moraes P. I. R. et al. *Investigation on sustainable phosphate release in agriculture: Structural and thermodynamic study of stability, dehydration and anionic exchange of Mg-Al-HPO4 layered double hydroxide by DFT calculations // Applied Clay Science. Elsevier, 2018. – Vol. 162. – P. 428–434.*
4. Basak B. B., Gajbhiye N. A. A. *Phosphorus enriched organic fertilizer, an effective P source for improving yield and bioactive principle of Senna (Cassia angustifolia Vhal.) // Industrial Crops and Products. Elsevier, 2018. – Vol. 115. – № February. – P. 208–213.*
5. Saraiva R. et al. *Phosphorous Nanofertilizers for Precise Application in Rice Cultivation as an Adaptation to Climate Change // Climate. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022. – Vol. 10. – № 11. – P. 183.*