

**В.А. Тихонов, С.В. Лановецкий,  
О.Е. Ермакова, В.З. Пойлов**

Березниковский филиал  
Пермского государственного технического университета

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ОКСИГИДРАТА ТИТАНА**

*Исследованы процессы сушки оксигидрата титана в условиях радиационной, конвективной, микроволновой сушки. Показано, что процесс удаления влаги в микроволновой печи протекает в кинетической области, а при радиационном и конвективном удалении воды скорость лимитируется диффузионным переносом жидкости из пор продукта к поверхности высушиваемого материала.*

Одной из стадий получения диоксида титана является дегидратация промежуточного продукта синтеза – оксигидрата титана, которая на начальном этапе достигается благодаря высушиванию продукта.

Сушка сочетает в себе процессы тепло- и массообмена [1]. С развитием науки и совершенствованием технологии на смену обычным методам сушки приходят инновационные и более перспективные. Одним из таких методов является сушка в условиях микроволнового (сверхвысокочастотного – СВЧ) излучения. Особенностью микроволновой сушки является то, что тепло проникает в продукт не с поверхности, а образуется внутри, за счет кинетической энергии движения (колебания и столкновения) молекул. В процессе испарения влаги поверхность охлаждается, в связи с чем температура внутри продукта остается значительно выше. Это и является движущей силой процесса, влага стремится выйти из внутренних областей ближе к поверхности [2].

Таким образом, можно выявить преимущества метода микроволновой сушки перед другими. Отсутствует такой процесс теплообмена, как передача теплоты от нагревателя к объекту, так как источником тепла является сам объект. Это повышает эффективность процесса сушки в несколько раз.

Для определения оптимальных условий сушки проведен комплекс исследований. За основу взят конвективный способ высушивания материалов, когда энергия, в данном случае тепло, передается к объекту через сушильный объект – воздух.

**Экспериментальная часть.** В процессе исследований использовался оксигидрат титана (IV) в количестве 1,5 г, полученный методом химического осаждения ионов титана из раствора титанил сульфата раствором гидроксида аммония.

Процесс радиационной сушки проводили на анализаторе влажности MS-70, принцип работы которого основан на использовании лучистой энергии инфракрасного излучения, выделяемой раскаленными твердыми телами (подложка). В качестве экспериментальных температур были выбраны следующие: 120, 150, 180, 200 °С.

Процесс микроволновой сушки осуществлялся в микроволновой печи MS2080MA с частотой 2450 МГц и максимальной выходной мощностью 700 Вт. При исследовании были использованы различные режимы сушки, мощность которых составляла: 252, 385, 539, 700 Вт.

Процесс конвективной сушки проводили в электропечи SNOL 58/350. В ходе работы исследованы температуры: 150, 180, 200, 220 °С. Отслеживание изменения массы высушиваемого продукта осуществляли гравиметрическим методом.

**Результаты и их обсуждение.** За основу экспериментов взят конвективный способ высушивания материалов, этот метод широко используется в технологии получения порошковых материалов. Кривые, построенные по результатам исследований, представлены на рис. 1, 2.

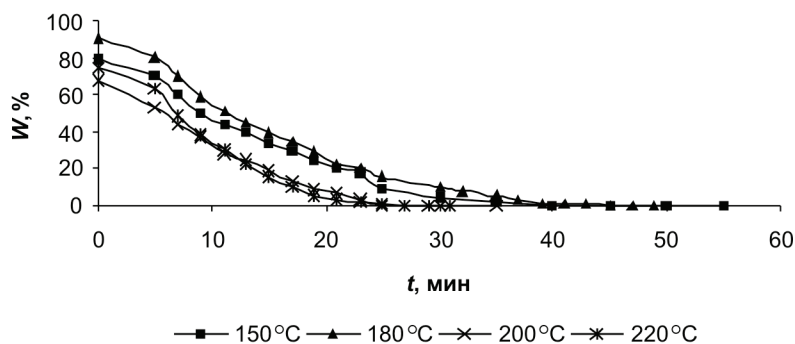


Рис. 1. Изменение влажности оксигидрата титана от времени при конвективном способе сушки

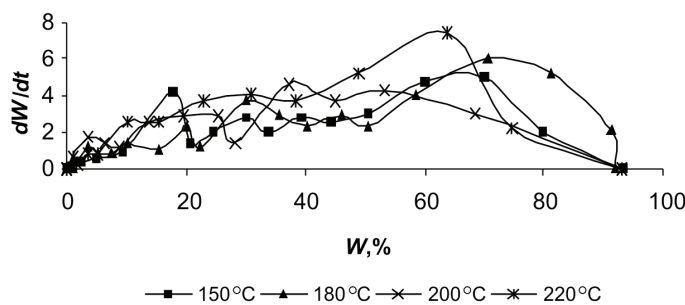


Рис. 2. Изменение скорости сушки оксигидрата титана при конвективном способе сушки

Полученные кривые свидетельствуют о том, что сушка в данном режиме протекает во внутридиффузионной области  $E_{\text{акт}} = 19,04$  кДж/моль. Общее время, за которое происходит полное удаление влаги, составляет в среднем 1 ч. Продукт, высушенный данным методом, имеет плотную структуру, не крошится.

Аналогичные кривые были получены для радиационного и микроволнового режима сушки.

Анализируя кривые, полученные при радиационной сушке материала (рис. 3, 4), можно сделать вывод, что процесс удаления влаги осуществляется также в диффузионной области, т.е. лимитируется стадией переноса жидкости из пор агломерата оксисоединения к поверхности раздела фаз. Это подтверждается и рассчитанным на основе экспериментальных данных значением энергии активации, которая при данном способе сушки составляет 22,88 кДж/моль. Общее время, при котором достигается полное удаление влаги, составляет в среднем 30 мин.

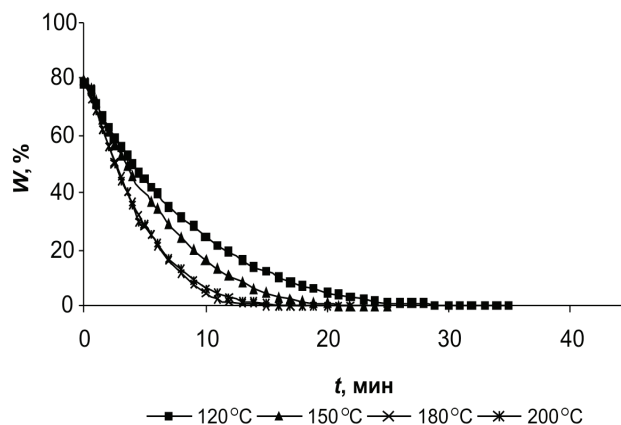


Рис. 3. Изменение влажности оксигидрата титана по времени при радиационном способе сушки

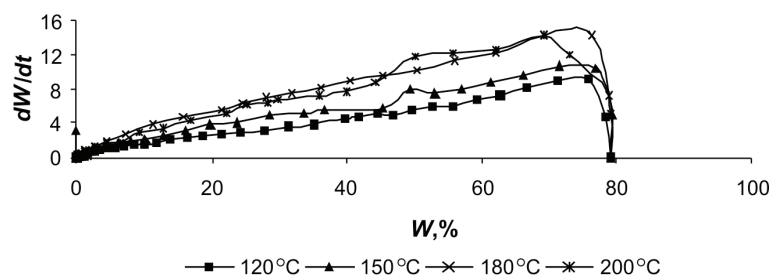


Рис. 4. Изменение скорости сушки оксигидрата титана при радиационном способе сушки

Анализ кривых сушки оксигидрата титана обезвоженного в микроволновой печи (рис. 5, 6) показал, что процесс удаления влаги в условиях микроволнового излучения намного эффективнее, чем при радиационном и конвективном способах. Даже в процессе радиационного излучения при температуре 200 °С скорость сушки оксигидрата титана меньше, чем при сушке в микроволновой печи. Судя по выраженным пикам кривых скорости удаления влаги, полученным при микроволновой сушке (см. рис. 6), можно сделать предположение, что процесс протекает в кинетической области. Под действием электрической составляющей переменного электромагнитного поля молекулы воды ориентируются так, чтобы векторы их дипольных моментов были антипараллельны силовым линиям поля [3]. В микроволновом диапазоне дипольные молекулы воды реагируют на приложенное поле и начинают вращение, но вследствие несоответствия по фазе между колебаниями поля и вращением диполей происходит превращение энергии микроволнового излучения в кинетическую энергию молекул и нагрев влажного продукта. Таким образом, нагрев происходит во всем объеме влажного продукта, а скорость процесса лимитируется стадией отвода пара с поверхности высушиваемого оксигидрата титана.

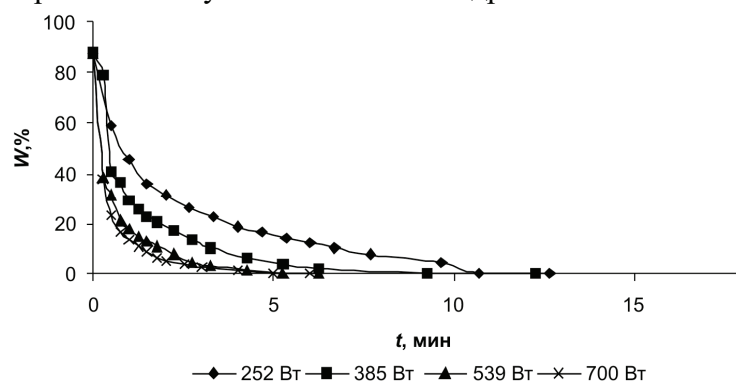


Рис. 5. Изменение влажности оксигидрата титана по времени при микроволновом способе сушки

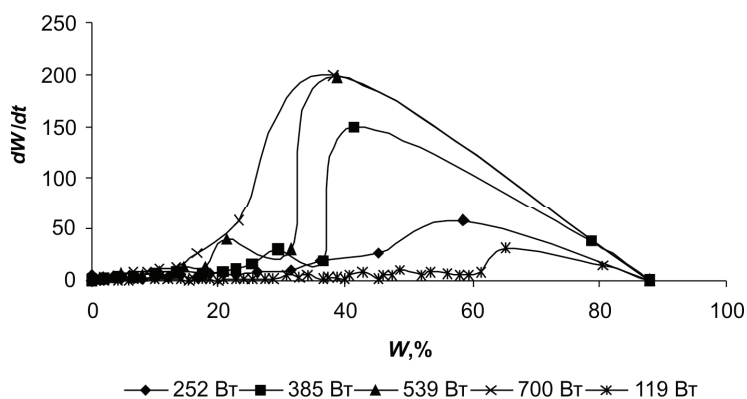


Рис. 6. Изменения скорости сушки оксигидрата титана при микроволновом способе сушки

На рис. 7 представлены фотографии оксигидрата титана высушенного с помощью различных способов сушки. На рисунках видно, что оксигидрат, высушенный с помощью инфракрасного излучения, имеет микроморфологию, отличную от оксигидрата титана, высушенного в микроволновой печи. При использовании радиационной сушки поверхность получается более ровная, а при использовании микроволнового излучения продукт вскипает изнутри, следствием чего на его поверхности отчетливо просматриваются образования круглых и овальных отверстий.



Рис. 7. Оксигидрат титана, высушенный в условиях радиационной сушки (а) и в условиях микроволнового излучения (б)

Таким образом, в ходе работы установлено, что наиболее эффективным методом обезвоживания оксигидрата титана является микроволновая сушка.

При воздействии на объект микроволнового излучения, которое проникает в глубь образца, нагревание происходит внутри самого объекта с высокой скоростью и распределяется наиболее равномерно по всему объему. Вследствие чего сушка происходит быстрее, чем при радиационном и конвективном способах, где теплота передается от источника тепла к объекту постепенно, за счет нагревания сначала внешних участков, а затем внутренних.

### Список литературы

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 11-е изд. – М.: Альянс, 2005. – 457 с.
2. Михеев А.Н. Общая химическая технология. Применение контролируемого микроволнового излучения в химии веществ и материалов. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2009. – 47 с.
3. Применение микроволнового излучения в синтезе органических соединений / Д.В. Кузнецов [и др.] // Журн. орг. химии. – 2005. – Т. 41, вып. 12. – С. 1757–1787.

Получено 6.12.2010