



# АЛМАЗЫ ИЗ БУТЫЛКИ

Пластиковые отходы в прямом смысле слова уже представляют угрозу для человечества. Удовлетворительной технологии их утилизации до сих пор нет. В Институте физики высоких давлений Российской академии наук разработан (пока лабораторный) метод получения микроалмазов из материала пластиковых бутылок. При более мягких условиях эксперимента на выходе — безопасный графитоподобный углерод.

Пластик в больших количествах начали производить примерно в середине прошлого века. Тогда открытие дешевого и доступного материала принесло много пользы, но сейчас на передний план вышли проблемы, связанные с его утилизацией. Из-за того, что эти проблемы не были решены вовремя, мы можем наблюдать обширные мусорные материк в Тихом океане и находить мельчайшие частицы пластика в почве. Итак, вопрос состоит в следующем — что же делать с использованным пластиком?

## Что с ним можно сделать

Понятно, что просто свалить его на полигон нельзя — испортится ландшафт и загрязнится почва. К тому же пластик может постепенно разлагаться с выделением метана, который является одним из самых опасных парниковых газов.

При сжигании пластика получаются сажа, углекислый и угарный газы, жидкие и газообразные углеводороды (метан, бутан и др.), соляная кислота. Некоторые виды пластика (например, полистирол) при сжигании дают также много токсичных газов.

При пиролизе полиэтилентерефталата PET (это самый распространенный вид пластика, в частности, материал пластиковых бутылок) — нагревании до 600–900 К в инертной среде, например, в атмосфере азота — происходит потеря массы до 90% с образованием различных летучих продуктов: диоксида и монооксида углерода, ацетальдегида, метана, бензола.

В принципе, можно изготовить из использованного пластика новые изделия. Такой цикл состоит из следующих стадий: сбор сырья, сортировка пластика по типу полимеров (полиэтилен, полиэтилентерефталат, полипропилен и другие). Разделение на различные полимеры очень важно для улучшения качества переработанного сырья. Затем сырье измельчается на хлопья и может быть использовано для получения каких-нибудь продуктов. Такой способ уже достаточно экологичен, однако и у него есть минусы — пластик нельзя перерабатывать бесконечно долго, так как волокна полимеров с каждым разом стареют, и качество полученного продукта постепенно ухудшается. В итоге пластик, несколько раз переработанный по такому циклу, все равно приходится утилизировать.

Частицы пластика, содержащиеся в почве, могут разлагаться бактерией *Ideonella sakaiensis* (sakai — от японского города Сакаи, где она была обнаружена в 2016 году). Она может разлагать полиэтилентерефталат до его мономеров — терефталевой кислоты и этиленгликоля. Бактерия питается углеро-

\_\_Использование высоких давлений позволяет получить из пластиковых отходов абсолютно безвредные соединения углерода, а при желании — даже алмазы

дом, содержащимся в PET, и в процессе вырабатывает два фермента, необходимых для его разложения. Эти ферменты можно выделить из бактерии и использовать в цикле переработки пластика. Однако реакция разложения идет очень медленно. Чтобы увеличить скорость реакции для переработки пластика в промышленных масштабах, может потребоваться генная модификация этой бактерии.

## Что с ним сделали в ИФВД

В Институте физики высоких давлений РАН разработан способ, позволяющий утилизировать пластик, получая из него алмазы или графитоподобный углерод. Способ прост: берем пластик и нагреваем его под давлением. Для этого требуется пресс и камера высокого давления типа «тороид-15», способная создавать давления до 9 ГПа и температуру до 1900 К (рис. 1). Итак, мелко нарезаем пластик с маркировкой PET, затем загружаем его в капсулу из титана (толщина стенок 0,3 мм, диаметр — 6 мм, высота — 3,7 мм), капсулу помещаем в контейнер из карбоната кальция CaCO<sub>3</sub>, графитовые тоководы отделим от поверхности твердосплавных частей камеры молибденовыми дисками толщиной 0,2 мм (иначе они превратятся в алмаз, что не очень желательно). Температуру в эксперименте можно определить хромель-алюмелевой термопарой, при этом перепад температур по высоте капсулы не будет превышать 100 К.

При этом в капсуле пройдет следующая реакция:  
 $C_{10}H_8O_4$  (solid) →  $H_2O$  (liquid) + C (diamond, graphite)  
 с образованием совершенно безопасных для нашей планеты углерода и воды.

На рисунке видно, что размер капсулы достаточно маленький, поэтому в ней нельзя переработать большое количество пластика. Такие камеры предназначены для лабораторных экспериментов, а в промышленности используются камеры большего размера или взрывные технологии создания высоких давлений и температур.

В зависимости от условий синтеза получившийся углерод может быть графитом (или графитоподобным углеродом) или алмазом. Чтобы понять, что именно получится, достаточно посмотреть на его фазовую диаграмму (рис. 2). Смотрим, какие температура и давление были в эксперименте, находим соответствующую им точку на картинке и определяем, какой области она принадлежит. Так, алмаз может получиться при 8 ГПа и 1300 К, графит — при 2 ГПа и 1000 К.