

шероховатость,  $Y_3 = \epsilon$  — относительная износостойкость,  $Y_4 = Q$  — производительность нанесения покрытия), а затем количество технологических факторов ( $X_1 = I$  — сила разрядного тока,  $X_2 = B$  — магнитная индукция в рабочей зоне,  $X_3 = S$  — скорость подачи инструмента,  $X_4 = V$  — скорость вращения детали,  $X_5 = P$  — усилие деформирования поверхности).

На втором этапе исследовано управление комбинированной упрочняюще-размерной обработкой наплавленных покрытий, для которой при различных технологиях предварительного нанесения различных материалов обрабатываемого покрытия (плазменная наплавка хромоникелевым порошком ПГ-СР4, вибродуговая наплавка стальной проволокой Нп-65Г, газопламенная наплавка хромоникелевым порошком ПГ-10Н-01) последовательность сокращалась.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. — М.: Колос, 1981. — 351 с.
2. Статистический анализ конструктивных элементов и технологических параметров деталей / М.Л. Хейфец, В.С. Точило, В.И. Семенов и др. — Новополоцк: ПГУ, 2001. — 112 с.
3. Обработка износостойких покрытий / Под ред. Ж.А. Мрочка. — Мн.: Дизайн ПРО, 1997. — 208 с.

УДК 621.7

**А.С. Шкинь, А.Ф. Присевок, Н.В. Шкинь**

### **ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Наука и техника начала третьего тысячелетия развивается в темпах геометрической прогрессии, не является исключением и промышленность как одна из самых масштабных сфер деятельности человека. В связи с не безупречностью технологических процессов на данном этапе неизбежно негативное воздействие промышленности на окружающую среду, промышленных отходов как компонента данного воздействия. Ежегодно во всем мире миллионы тонн твердых, пастообразных, жидких, газообразных отходов поступает в биосферу, нанося тем самым непоправимый урон как живой, так и неживой природе. Огромное

количество видов живых существ подвержены воздействию опасных веществ, в том числе на генетическом уровне, отсюда вытекают поражения целого ряда поколений организмов. Несмотря на давность и большое количество исследований в области экологически чистого производства, проблема утилизации и переработки промышленных отходов остается актуальной до сих пор.

В данной работе рассмотрены основные из ныне существующих и перспективных способов утилизации и переработки промышленных отходов.

В общем, отходами называются продукты деятельности человека в быту, на транспорте, в промышленности, не используемые непосредственно в местах своего образования и которые могут быть реально или потенциально использованы как сырье в других отраслях хозяйства или в ходе регенерации. Отходами производства являются остатки материалов, сырья, полуфабрикатов, образовавшихся в процессе изготовления продукции и утратившие полностью или частично свои полезные физические свойства. Отходами производства могут считаться продукты, образовавшиеся в результате физико-химической переработки сырья, добычи и обогащения полезных ископаемых, получение которых не является целью данного производства. Отходы потребления — непригодные для дальнейшего использования по прямому назначению и списанные в установленном порядке машины, инструменты, бытовые изделия.

По возможности использования различаются утилизируемые и не утилизируемые отходы. Для первых существует технология переработки и вовлечения в хозяйственный оборот, для вторых в настоящее время отсутствует.

При разработке новых ресурсосберегающих и экологических технологических процессов, необходимо обезвреживание отходов на стадии вывода из технологического процесса, но при современном развитии науки и техники невозможно исключить образование не утилизируемых отходов. В этом случае целесообразно захоронение отходов такого рода в специально создаваемых для этого хранилищах.

Для захоронения отходов промышленности целесообразно использовать резервуары в геологических формациях: гранит, вулканические породы, туфы, базальты, соляные толщи, гипс, ангидрит, доломит, глина, гнейсы. Такого рода хранилища могут существовать как самостоятельно, так и совместно с горнодобывающими предприятиями на его шахтном поле.

Наземные полигоны для хранения промышленных отходов являются и должны использоваться в качестве временных, промежуточных пунктов на пути в хранилища.

Для обезвреживания токсичных промышленных отходов используют следующие методы: жидкофазное окисление, гетерогенный катализ, пиролиз, огневая обработка, с применением плазмы.

Жидкофазное окисление токсичных отходов производства используется для обезвреживания жидких отходов и осадков сточных вод. Суть его заключается в окислении кислородом органических и элементоорганических примесей сточных вод при температуре 150–350° С и при давлении 2–28 МПа.

В зависимости от давления, температуры, количества примесей и кислорода, продолжительности процесса органические вещества окисляются с образованием органических кислот (в основном  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{HCOOH}$ ) или с образованием  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{N}_2$ .

Элементоорганические соединения в щелочной среде окисляются с образованием водных растворов хлоридов, бромидов, фосфатов, нитратов и оксидов металлов, а при окислении азотосодержащих веществ, помимо нитратов, образуется значительное количество аммонийного азота.

Применение метода целесообразно при первичной переработке отходов.

Гетерогенный катализ применим для обезвреживания газообразных и жидких отходов. Существуют три разновидности гетерогенного катализа промышленных отходов.

Термокаталитическое окисление можно использовать для обезвреживания газообразных отходов с низким содержанием горючих примесей. Процесс окисления на катализаторах осуществляется при температурах меньших, чем температура самовоспламенения горючих составляющих газа. В зависимости от природы примесей и активности катализаторов окисление происходит при температуре 250–400°С и в установках различных размеров.

В термокаталитических реакторах успешно окисляются  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ , углеводороды (УВ),  $\text{NH}_3$ , фенолы, альдегиды, кетоны, пары смол, канцерогенные и др. соединения с образованием  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ . Степень окисления вредных веществ 98–99,9 %. Для увеличения удельной поверхности катализации используется пористые керамические устройства из  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и оксидов других металлов, тоже обладающих каталитической активностью.

Современные промышленные катализаторы глубокого окисления при температуре до 600–800°С не следует применять при большом содержании пыли и водяных паров. Неприменим метод и для переработки отходов, содержащих высококипящие и высокомолекулярные соединения, вследствие неполноты окисления и забивания поверхности катализаторов. Нельзя применять термокаталитическое окисление при наличии в отходах даже в небольших количествах  $\text{P}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{S}$ , галогенов и их соединений, так как это приводит к дезактивации и разрушению катализаторов.

Термокаталитическое восстановление используется для обезвреживания газообразных отходов, включающих в себя нитрозные газы — содержащие  $\text{NO}_x$ .

Профазное каталитическое окисление применимо для перевода органических примесей сточных вод в парогазовую фазу с последующим окислением кислородом. При содержании в сточных водах неорганических и нелетучих веществ возможно дополнение данного процесса огневым методом или другими видами обезвреживания отходов.

В целом методы гетерогенного катализа нецелесообразно использовать в качестве самостоятельного способа обезвреживания токсичных отходов, а только как отдельную ступень в общем, технологическом цикле.

Существует два различных типа пиролиза токсичных промышленных отходов.

Окислительный пиролиз — процесс термического разложения промышленных отходов при их частичном сжигании или непосредственном контакте с продуктами сгорания топлива. Данный метод применим для обезвреживания многих отходов, в том числе «неудобных» для сжигания или газификации: вязких, пастообразных отходов, влажных осадков, пластмасс, шламов с большим содержанием золы, загрязненную мазутом, маслами и другими соединениями землю, сильно пылящих отходов. Кроме этого, окислительному пиролизу могут подвергаться отходы, содержащие металлы и их соли, которые плавятся и возгорают при нормальных температурах сжигания, отработанные шины, кабели в измельченном состоянии, автомобильный скрап и др.

Метод окислительного пиролиза является перспективным направлением ликвидации твердых промышленных отходов и сточных вод.

Сухой пиролиз обеспечивает их высокоэффективное обезвреживание и использование в качестве топлива и химического сырья, что способствует созданию малоотходных и безотходных технологий и рациональному использованию природных ресурсов.

Сухой пиролиз — процесс термического разложения без доступа кислорода. В результате образуется пиролизный газ с высокой теплотой сгорания, жидкий продукт и твердый углеродистый остаток.

В зависимости от температуры, при которой протекает пиролиз, различается:

1. Низкотемпературный пиролиз или полукоксование (450–550° С). Данному виду пиролиза характерны максимальный выход жидких и твердых (полукокс) остатков и минимальный выход пиролизного газа с максимальной теплотой сгорания. Метод подходит для получения первичной смолы — ценного жидкого топлива, и для переработки некондиционного каучука в мономеры, являющиеся сырьем для вторичного создания каучука. Полукокс можно использовать в качестве энергетического и бытового топлива.

2. Среднетемпературный пиролиз или среднетемпературное коксование (до  $800^{\circ}\text{C}$ ) дает выход большего количества газа с меньшей теплотой сгорания и меньшего количества жидкого остатка и кокса.

3. Высокотемпературный пиролиз или коксование ( $900\text{--}1050^{\circ}\text{C}$ ). Здесь наблюдается минимальный выход жидких и твердых продуктов и максимальная выработка газа с минимальной теплотой сгорания — высококачественного горючего, годного для далеких транспортировок. В результате уменьшается количество смолы и содержание в ней ценных легких фракций.

Метод сухого пиролиза получает все большее распространение и является одним из самых перспективных способов утилизации твердых органических отходов и выделения ценных компонентов из них на современном этапе развития науки и техники.

В основу огневого метода положен процесс высокотемпературного разложения и окисления токсичных компонентов отходов с образованием практически нетоксичных или малотоксичных дымовых газов и золы. С использованием данного метода возможно получение ценных продуктов: отбеливающей земли, активированного угля, извести, соды и др. материалов. В зависимости от химического состава отходов дымовые газы могут содержать  $\text{SO}_x$ , P,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , HCl, соли щелочных и щелочноземельных элементов, инертные газы.

Огневой метод переработки токсичных промышленных отходов классифицируется в зависимости от типа отходов и способов обезвреживания:

1. Сжигание отходов, способных гореть самостоятельно — наиболее простой способ; горение происходит при температурах не ниже  $1200\text{--}1300^{\circ}\text{C}$ . (следует отметить, что данный способ не является целесообразным ввиду некоторой (большей или меньшей) ценности горючих отходов и возможности их использования в данное время или в будущем).

2. Огневой окислительный метод обезвреживания негорючих отходов применим в большей степени по отношению к твердым и пастообразным отходам.

3. Огневой восстановительный метод используется для уничтожения токсичных отходов без получения каких-либо побочных продуктов, пригодных для дальнейшего использования в качестве сырья или товарных продуктов. В результате образуются безвредные дымовые газы и стерильный шлак, сбрасываемый в отвал. Так можно обезвреживать газообразные и твердые выбросы, бытовые отходы и некоторые другие.

4. Огневая регенерация предназначена для извлечения из отходов какого-либо производства реагентов, используемых в этом производстве, или восстановления свойств отработанных реагентов или материалов. Эта разновид-

ность огневого обезвреживания обеспечивает не только природоохранные, но и ресурсосберегающие цели.

Применение низкотемпературной плазмы — одно из перспективных направлений в области утилизации опасных отходов. Посредством плазмы достигается высокая степень обезвреживания отходов химической промышленности, в том числе галлойдосодержащих органических соединений, медицинских учреждений; ведется переработка твердых, пастообразных, жидких, газообразных; органических и неорганических; слаборадиоактивных; бытовых; канцерогенных веществ, на которые установлены жесткие нормы ПДК в воздухе, воде, почве и др.

Плазменный метод может использоваться для обезвреживания отходов двумя путями:

1. Плазмохимическая ликвидация особо опасных высокотоксичных отходов;
2. Плазмохимическая переработка отходов с целью получения товарной продукции.

Наиболее эффективен плазменный метод при деструкции углеводородов с образованием  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ . Безрасходный плазменный нагрев твердых и жидких углеводородов приводит к образованию ценного газового полуфабриката в основном водорода и оксида углерода — синтез-газ — и расплавов смеси шлаков, не представляющих вреда окружающей среде при захоронении в землю, а синтез-газ можно использовать в качестве источника пара на ТЭС или производстве метанола, искусственного жидкого топлива. Кроме этого, путем пиролиза отходов возможно получение хлористого и фтористого водорода, хлористых и фтористых УВ, этанола, ацетилен. Степень разложения в плазмотроне таких особо токсичных веществ как полихлорбифенилы, метилбромид, фенилртутьацетат, хлор- и фторсодержащие пестициды, полиароматические красители достигает 99.9998 % с образованием  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{P}_4\text{O}_{10}$ .

Существуют самые разнообразные модификации плазмотронных установок, принцип их конструкции и порядка работы заключается в следующем: основной технологический процесс происходит в камере, внутри которой находятся два электрода (катод и анод), обычно из меди, иногда полые. В камеру под определенным давлением, в заранее установленных количествах поступают отходы, кислород и топливо, может добавляться водяной пар. В камере поддерживается постоянное давление и температура. Возможно применение катализаторов. Существует анаэробный вариант работы установки. При переработке отходов плазменным методом в восстановительной среде возможно получение ценных товарных продуктов: например, из жидких хло-

органических отходов можно получать ацетилен, этилен, HCl и продуктов на их основе. В водородном плазмотроне, обрабатывая фторхлорорганические отходы, можно получить газы, содержащие 95–98 % по массе HCl и HF.

Острота проблемы утилизации и переработки отходов промышленности, несмотря на достаточное количество путей решения, определяется увеличением уровня образования и накопления промышленных отходов. Усилия в решении данной проблемы должны быть направлены, прежде всего, на предупреждение и минимизацию образования отходов, а затем на их рециркуляцию, вторичное использование и разработку эффективных методов окончательной переработки, обезвреживания и окончательного удаления, а хранения только отходов, не загрязняющих окружающую среду.

Многостороннее и глубокое решение проблемы утилизации и переработки промышленных отходов — длительный и кропотливый процесс, который предстоит заниматься ряду поколений ученых, инженеров, техников, экологов, экономистов, рабочих разного профиля и многих других специалистов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности: Учебник / Под ред. проф. Э.А. Арустамова. — 2-е издание, перераб. и доп. — М.: Издательский дом «Дашков и К<sup>о</sup>», 2000. — 678 с.
2. Вронский В.А. Прикладная экология: Учебное пособие. — Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 1996. — 512 с.
3. Данилов-Данильян В. И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие: Учебное пособие. — М.: Прогресс-Традиция, 2000. — 416 с.
4. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. — Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2001. — 576 с.
5. Одум Ю. Экология / Пер. с англ. Т. 1-2. — М.: Мир, 1986. — 740 с.
6. Красов О.И. Экологическое право: Учебник. — М.: Дело, 2001. — 768 с.
7. Новиков Ю.В. Экология : окружающая среда и человек: Учебное пособие — М.: Агентство «Файр», 1998. — 130 с.
8. Павлов С. Е. Экология: будет ли страшный суд? — Мн.: Ураджай, 1999. — 320 с.
9. USA Bureau of mines. Bureau of mines research programs on recycling and disposal of mineral, -metal and energy-based wastes. By С. В. Kennan and others. Washington, 1998 p. 54.