

УДК 621.45/.74

Регенерация и утилизация рабочей среды в процессе выщелачивания керамических стержней после литья по выплавляемым моделям

Пирумов Александр Юрьевич^{1,2}

pirumov_a@alfaall.ru

Круглов Павел Владимирович¹

kpv17@bmstu.ru

¹ МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, Россия² ООО «Альфа Альянс», Королёв, Московской обл., Россия

Аннотация. В работе представлены результаты обзора методов выщелачивания керамических стержней из полостей и отверстий заготовок деталей ракетно-космической техники, получаемых методом литья по выплавляемым моделям. Описаны основные особенности методов, их достоинства и недостатки. Показано, что в современном производстве недостаточно производственного оборудования для регенерации и утилизации щелочных растворов, в большом количестве образующихся при производстве деталей.

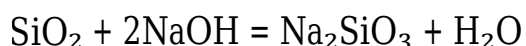
Ключевые слова: литье по выплавляемым моделям, керамические стержни, выщелачивание, утилизация и регенерация растворов солей

Доля деталей сложных геометрических форм в современном ракетостроении и авиастроении с каждым днем увеличивается. Технологические процессы, позволяющие получить изделия сложной формы должны учитывать, в том числе и постоянно растущие объемы производства в данных отраслях. Одним из методов, позволяющим получить тонкостенные изделия из жаропрочных сплавов со сложными глухими и сквозными каналами, является метод литья по выплавляемым моделям (ЛВМ). Каналы, необходимые и для облегчения веса изделия и для его охлаждения в ходе эксплуатации, в технологическом процессе ЛВМ получают путем установки керамических высокопрочных стержней в восковую модель. При последующей выплавке модельного состава, прокаливании и заливке керамической формы керамический стержень, формирующий внутренние полости, остается внутри отливки. Дальнейшее его разупрочнение и извлечение весьма трудоемкий процесс. В данной работе рассматриваются особенности применения щелочи для удаления керамических стержней из полученной заготовки.

Некоторые научные работы посвящены разработкам технологического процесса, позволяющего использовать особенности керамики, составляющей основу стержня, такие как полиморфные переходы в кристобалите и β - Ca_2SiO_4 [1]. Керамика из кристобалита имеет горячую прочность (при 1050 °C) при изгибе около 20 МПа, а β - Ca_2SiO_4 (при 1300 °C) — 18–24 МПа, что достаточно для использования в качестве материала стержней. Исследователям удалось добиться разупрочнения стержней при охлаждении за счет применения в качестве связующего смеси карбамидоформальдегидной смолы с

кремнеземом для порошков из тридимита, муллита и циркона. Дальнейшее удаление стержней осуществлялось при вибрации в воде с ПАВ.

Однако наиболее часто используются керамические стержни, подготовленные с использованием порошков электрокорунда, карбида кремния, негидролизованного этилсиликата-40 [2]. Удаление таких стержней осуществляется двумя способами: 1) разрушение основы стержня путем ее взаимодействия с химическим реагентом — фтористоводородной (плавиковой) кислотой или с бифторидом калия; 2) разрушение связки и последующее удаление продуктов в растворах щелочей. Наиболее распространен второй способ. Реакция в нем протекает по следующей схеме:



Активный реагент — щелочь — взаимодействует с оксидом кремния, который содержится в связке. При этом образуется раствор жидкого стекла в воде. Порошки электрокорунда не взаимодействуют со щелочами и в своем исходном виде удаляются из отливки.

Основные сложности данного способа удаления керамического стержня и связанные с ними ограничения были рассмотрены в работе [3]. Однако не менее важным так же остается вопрос регенерации и утилизации отходов, полученных в ходе этой технологической операции. В работе [4] рассматривается вопрос утилизации щелочных отходов нефтехимической отрасли промышленности. Наряду с выделением очищенной щелочи из сернисто-щелочного раствора, а также с переработкой серосодержащих примесей, рассматривается вопрос с вскрытием растворами щелочей кремнийсодержащих горных пород с получением высокомолекулярных полисиликатов, как основы для стекольной шихты. В этом смысле гидроксид натрия является источником Na_2O для введения его в состав различных силикатных стекол. Кроме того, стеклообразный материал, полученный при использовании щелочи в процессе выщелачивания высокопрочного керамического стержня, может потенциально найти применение в качестве сорбента вследствие высокой адгезии органических соединений к силикатным стеклам. Использование электромембранных модулей в схемах утилизации жидких щелочных отходов позволяет извлекать и повторно использовать некоторые компоненты щелочных растворов [5]. Исключение сброса стоков в окружающую среду, гарантированное применением данного метода, так же весьма актуально. В случае достижения значимого экономического эффекта, от повторного использования ценных компонентов отработанных щелочных отходов, включение данных модулей в технологический цикл современных литейных цехов становится острой необходимостью. На некоторых ТЭЦ России в ходе реализации замкнутого цикла водопотребления за счет комплексной переработки высокоминерализованных сточных вод образуется избыточное количество продувочной воды испарительной установки. Она представляет собой щелочной раствор, в котором в основном содержатся натриевые соли (сульфаты, хлори-

ды) и щелочь. В растворе так же высокое содержание органических веществ, силикатов [6]. Проведенные в работе эксперименты показали, что приемлемая степень разделения щелочи и соли достигается на мембранной паре из двух катионообменных мембран. Причем эффективность разделения была выше без наложения электрического поля. Нейтрализация отработанных растворов щелочи кислотами применяется на некоторых предприятиях, однако данный процесс сопряжен с существенными расходами в случаях, когда операция проводится в промышленных масштабах.

Вопрос утилизации и по возможности регенерации (восстановления) отработанных жидких рабочих сред остро стоит на каждом машиностроительном предприятии. В настоящее время на предприятиях ракетно-космической и авиационной отрасли, для регенерации и утилизации отработанных щелочных растворов требуется применение новых разработок и внедрение современного оборудования в действующем производственном цикле. Исследования, проводимые авторами в этом направлении, позволят выявить наиболее подходящие технологические методы и оборудование.

Список источников

- [1] Беляков А.В., Разумнова И.В., Демонис И.М., Фоломейкин Ю.И. Легкоудаляемые керамические стержни для литья лопаток ГТД по выплавляемым моделям. *Стекло и керамика*, 2012, № 4, с. 4–8.
- [2] Максютин Л.Г., Шилов А.В., Звездин В.Л., Коряковцев А.С. *Литье по выплавляемым моделям отливок авиационно-космического назначения*. Пермь, ОАО «Авиадвигатель», 2005, с. 52–62.
- [3] Пирумов А.Ю., Круглов П.В. Анализ возможностей совершенствования метода литья по выплавляемым моделям при изготовлении деталей ракетно-космической техники. *XLIX Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства: сб. тез.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, с. 293–294.
- [4] Кетов Ю.А. *Утилизация щелочных отходов сероочистки нефтехимических предприятий с получением экологически безопасных продуктов*. Дис. ... канд. техн. наук. Пермь, 2021, с. 19–22.
- [5] Вафин Т.Ф. *Разработка электромембранных методов утилизации высокоминерализованных жидких щелочных отходов ТЭС*. Дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2013, с. 15–20.
- [6] Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Ляпин А.И., Минибаев А.И., Силов И.Ю., Толмачев Л.И. Электромембранная утилизация высокоминерализованных щелочных продувочных вод испарительной водоподготовительной установки тепловых электрических станций. *Надежность и безопасность энергетики*, Казань, 2015, № 4 (31), с. 41–45.