

УДК543 572; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-2.06>

<https://orcid.org/0000-0003-2719-7045>

<https://orcid.org/0000-0002-9572-9712>

<https://orcid.org/0000-0003-1480-2592>

<https://orcid.org/0000-0002-7133-808X>

<https://orcid.org/0000-0001-9107-4547>

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ ОКИСЛЕНИЯ АКТИВИРОВАННОГО СПЛАВА АЛЮМИНИЯ RAU-85 В РАЗЛИЧНЫХ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ



Р.Г. САРМУРЗИНА¹,
доктор химических наук,
профессор, председатель
совета Ассоциации
производителей и потребителей
нефтегазохимической продукции,
sarmurzina_r@mail.ru



Г.И. БОЙКО²,
доктор химических наук,
профессор кафедры
«Химической и биохимической
инженерии»,
g.boiko@satbayev.university



У.С. КАРАБАЛИН³,
доктор технических наук,
профессор, заместитель
председателя правления
Ассоциации «KAZENERGY»,
reception@kazenergy.com



Д.А. ТИЕСОВ⁴,
председателя правления
по переработке и маркетингу
нефти, АО НК «КазМунайГаз»,
press@kmg.kz



Н.П. ЛЮБЧЕНКО²,
кандидат химических наук, в.н.с.
кафедры «Химической
и биохимической инженерии»,
amtek@bk.ru



Н.С. ДЕМЕУБАЕВА²,
докторант кафедры
«Химической и биохимической
инженерии»,
nurikamald@gmail.com

¹ОЮЛ «АССОЦИАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ»,
Республика Казахстан, 010000, г. Нур-Султан, ул. Е 10, 17/10

²НАО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. К.И.САТПАЕВА»,
Республика Казахстан, 050043, г. Алматы, ул. Сатпаева 22

³«KAZENERGY»,
Республика Казахстан, 010000, г. Нур-султан, пр. Кабанбай батыра 19, блок А

⁴ОЮЛ «КАЗАХСТАНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ НЕФТЕГАЗОВОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АО НК «КАЗМУНАЙГАЗ»,
Республика Казахстан, 010000, г. Нур-Султан, ул. Д. Кунаева, 8

Методами дифференциального термического и термогравиметрического анализа определен состав термически активной части исследуемых многокомпонентных проб продуктов взаимодействия активированного сплава алюминия с различными окислителями и выявлено термическое поведение их в условиях динамического подъема температуры. Термический анализ осуществлялся в воздушной среде, в диапазоне температур от 20 до 1000°C. Режим нагрева печи – линейный ($dT/dt = 10 \frac{\text{град}}{\text{мин}}$ эталонное вещество – прокаленный Al_2O_3).

В качестве окислителей использованы вода, 3%-ный водный раствор перекиси водорода, 5%-ный водный раствор серной кислоты.

Установление вещественного состава активной части порошковых проб проводилось по морфологиям термических кривых и численных значений интенсивностей эндо – и экзотермических эффектов с использованием сопряженных с ними термогравиметрических показаний TG – линий. Серия эндо- и экзотермических эффектов выявленных при разложении испытываемых образцов дали возможность проследить за очередностью этапа термических деструкций их и количественно определить состав летучих компонентов. Установлен ряд особенностей разложения образцов в зависимости от их состава и весовых соотношений термически активных компонентов пробы.

Полученные данные по термическому анализу продуктов окисления активированного сплава PAU-85 в различных окислительных средах, могут быть успешно применены для разработки технологии очистки призабойной зоны скважины от асфальтосмолопарафиновых отложений, основанные на термогазохимическом взаимодействии активированного сплава алюминия и пластовой водой в результате, которого образуется большое количество теплоты и парогазовой смеси.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: активированный сплав алюминия, оксиды, гидроксиды, гидросульфаты, термические превращения.

БЕЛСЕНДЕНГЕН PAU-85 АЛЮМИНИЯЛЫҚ ҚҰПЫРМАСЫНЫҢ ТҮРЛІ ТОТЫҚТАЙТЫН ОРТАЛАРДАҒЫ ТОТЫҚТЫРУ ӨНІМДЕРІНІҢ ЖЫЛДЫҚ ТАЛДАУ

Р.Г. САРМУРЗИНА¹, химия ғылымдарының докторы, профессор, Мұнай-химия өнімдерін өндірушілер мен тұтынушылар қауымдастығы кеңесінің төрағасы, sarmurzina_r@mail.ru
Г.И. БОЙКО², химия ғылымдарының докторы, «Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасының профессоры, g.boiko@satbayev.university

У.С. КАРАБАЛИН³, техника ғылымдарының докторы, профессор, «KAZENERGY» қауымдастығының басқарма төрағасының орынбасары», reception@kazenergy.com

Д.А. ТИЕСОВ⁴, ҰК«ҚазМұнайГаз» басқарма төрағасының мұнай өңдеу және маркетинг жөніндегі орынбасары, press@kmg.kz

Н.П. ЛЮБЧЕНКО², химия ғылымдарының кандидаты, «Химиялық және биохимиялық инженерия» кафедрасының жетекші ғылыми қызметкері, amtek@bk.ru

Н.С. ДЕМЕУБАЕВА², «Химия және биохимиялық инженерия» кафедрасының магистранты, nurikamald@gmail.com

¹ТБ «МҰНАЙ-ГАЗ-ХИМИЯ ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУШІЛЕР
МЕН ТҰТЫНУШЫЛАР ҚАУЫМДАСТЫҒЫ»,
Қазақстан Республикасы, 010000, Нұр-Сұлтан қ., Е 10 к-сі 17/10

²КЕАҚ «Қ.И. СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ
ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ»,
Қазақстан Республикасы, 050013, Алматы қ., Сәтпаев к-сі 22

³ЗТБ «KAZENERGY» ҚАЗАҚСТАН МҰНАЙ-ГАЗ ЖӘНЕ ЭНЕРГЕТИКА
КЕШЕНІ ҰЙЫМДАРЫНЫҢ АССОЦИАЦИЯСЫ»,
Қазақстан Республикасы, 010000, Нұр-Сұлтан қ., Қабанбай батыр д-лі 19,А блок

⁴АҚ «ҚАЗМҰНАЙГАЗ» ҰЛТТЫҚ КОМПАНИЯСЫ»
Қазақстан Республикасы, 010000, Нұр-Сұлтан қ., Д.Қонаев к-сі 8.

Дифференциалды термиялық және термогравиметриялық талдау әдістерін қолдана отырып, белсендірілген алюминий қорытпасының әртүрлі тотықтырғыштармен әрекеттесу өнімдерінің зерттелетін көпкомпонентті үлгілерінің термиялық белсенді бөлігінің құрамы анықталды және олардың жылулық әрекеті анықталған жағдайда анықталды. динамикалық температураның көтерілуі. Термиялық талдау ауада, 20-дан 1000°C-қа дейінгі температура диапазонында жүргізілді. Пешті қыздыру режимі сызықты ($dT/dt = 10$), анықтамалық зат күйдірілген Al_2O_3 . Тотықтырғыш ретінде су, сутегі асқын тотығының 3% сулы ерітіндісі және күкірт қышқылының 5% сулы ерітіндісі пайдаланылды. Ұнтақ үлгілерінің белсенді бөлігінің материалдық құрамын анықтау термиялық қисықтардың морфологиясына және олармен байланысты TG сызықтарының термогравиметриялық көрсеткіштерін пайдалана отырып, эндо- және экзотермиялық әсерлердің қарқындылығының сандық мәндеріне сәйкес жүзеге асырылды. Сынақ үлгілерінің ыдырауы кезінде анықталған бірқатар эндо- және экзотермиялық әсерлер олардың термиялық жойылу кезеңінің ретін сақтауға және ұшпа компоненттердің құрамын сандық анықтауға мүмкіндік берді. Үлгі ыдырауының бірқатар ерекшеліктері олардың құрамына және үлгінің термобелсенді компоненттерінің салмақтық қатынасына байланысты белгіленді.

PAU-85 активтендірілген қорытпасының тотығу өнімдерін әртүрлі тотықтырғыш орталарда термиялық талдаудан алынған мәліметтерді ұңғыма түбінің аймағын асфальттан, шайырлы және парафинді шөгінділерден тазарту технологиясын әзірлеу үшін сәтті қолдануға болады. активтендірілген алюминий қорытпасының және қабат суының газ-химиялық әрекеттесуі, нәтижесінде көп мөлшерде жылу пайда болады және бугаз қоспасы.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: активтендірілген алюминий қорытпасы, оксидтер, гидроксидтер, гидросульфаттар, термиялық өзгерістер.

THERMAL ANALYSIS OF OXIDATION PRODUCTS OF ACTIVATED RAU-85 ALUMINUM ALLOY IN VARIOUS OXIDIZING ENVIRONMENTS

R.G. SARMURZINA¹, doctor of chemical sciences, professor, Chairman of CLP, sarmurzina_r@mail.ru
G.I. BOIKO², doctor of chemical sciences, professor of "Chemical and biochemical engineering" department, g.boiko@satbayev.university

U.S. KARABALIN³, doctor of technical sciences, professor, deputy chairman «KAZENERGY» Association, reception@kazenergy.com

D.A. TIESOV⁴, deputy chairman of the board for oil refining and marketing of NC KazMunayGas, press@kmg.kz

N.P. LYUBCHENKO², candidate of chemical sciences, leading researcher of the department of "Chemical and biochemical engineering", amtek@bk.ru

N.S. DEMEUBAYEVA², master of "Chemical and biochemical engineering" department, assem.merekenova@gmail.com

¹ALE «ASSOCIATIONS OF PRODUCERS AND CONSUMERS OF PETROCHEMICAL PRODUCTS»,
17/10, E 10, st., Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan

²NJSC «K.I. SATPAEV KAZAKH NATIONAL RESEARCH TECHNICAL UNIVERSITY»,
22 Satpaev st., Almaty, 050043, Republic of Kazakhstan

³ALE «KAZAKHSTAN ASSOCIATION OF ORGANIZATIONS OF THE OIL AND GAS AND ENERGY COMPLEX «KAZENERGY»,
19, Kabanbai Batyr Ave., Block A., Nur-Sultan, 010000, Republic of Kazakhstan

⁴JSC NC "KAZMUNAYGAS"
8, KUNAEV, ST., NUR-SULTAN, 010000, Republic of Kazakhstan

By methods of differential thermal and thermogravimetric analysis, the composition of the thermally active part of the studied multicomponent samples of the products of the interaction of the activated aluminum alloy with various oxidizers was determined, and their thermal behavior was revealed under conditions of dynamic temperature rise. Thermal analysis was carried out in air environment, in the temperature range from 20 to 1000°C. The heating mode of the furnace was linear ($dT/dt = 10$ grad/min), the reference substance was calcined Al_2O_3 .

Water, 3% aqueous solution of hydrogen peroxide, 5% aqueous solution of sulfuric acid were used as oxidizing agents.

Establishment of the material composition of the active part of powder samples was carried out according to the morphologies of thermal curves and numerical values of the intensities of endo- and exothermic effects using the thermogravimetric readings of TG-lines associated with them. A series of endo- and exothermic effects revealed during the decomposition of the test samples made it possible to follow the order of the stage of their thermal destruction and quantitatively determine the composition of volatile components. A number of features of sample decomposition were established depending on their composition and weight ratios of thermally active sample components.

The obtained data on the thermal analysis of the oxidation products of the activated alloy RAU-85 in various oxidizing environments can be successfully applied to develop a technology for cleaning the bottomhole zone of the well from asphalt resin paraffin deposits, based on the thermal gas-chemical interaction of the activated aluminum alloy and formation water, which results in the formation of a large amount of heat and vapor-gas mixture.

KEY WORDS: *activated aluminum alloy, oxides, hydroxides, hydrosulfates, thermal transformations.*

ВВЕДЕНИЕ. Гидроксиды и оксиды алюминия, привлекают к себе внимание большого числа исследователей благодаря их широкому практическому использованию [1-4]. Существуют весьма противоречивые точки зрения относительно образования различных форм оксидов алюминия при дегидратации гидроксидов алюминия. Следует отметить, что система оксид алюминия – вода метастабильная система, свойства которой сильно зависят от условий получения и генеза образцов, а вопрос получения гидроксидов из сплавов на основе алюминия изучен слабо. В монографии Чукина Г.Д. [1] детально изложена возможность це-

ленаправленного управления синтезом оксидов алюминия и механизмы фазовых переходов в системе:



На основании проведенного обзора работ, Чукиным Г.Д. предложена концепция о существовании единой алюмоокислородной системы. Отмечается, что все модификации гидроксидов и оксидов алюминия генетически связаны друг с другом, что свойства оксидов алюминия определяются свойствами гидроксидов-предшественников, закономерно трансформированными под действием механизма фазовых переходов в алюмоокислородной системе.

Алюмоокислородная система имеет два стабильных состояния – кристаллические тригидроксиды алюминия и корунд, при этом существует непрерывный ряд промежуточных состояний, располагающихся между $\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и образующихся при переходе системы из одного стабильного состояния в другое [1,2].

Одним из таких промежуточных состояний является низкотемпературный оксид алюминия $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ («активный оксид алюминия») [2,3]. Показано, что процессы де- и регидроксилирования обратимы. При исследовании дегидратации гидроксидов алюминия необходимо принимать во внимание размеры частиц и степень кристалличности гидроксида, влияние многих факторов, в том числе температуры проведения реакции, природы металлов – активаторов, pH раствора, соотношения сплав: вода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Объектами исследования являлся сплав алюминия активированный галлием, индием и оловом в количестве 5% масс. Каждого (реагент Rau-85). В качестве окислителей использовали воду, 3%-ный раствор перекиси водорода, 5%-ный раствор серной кислоты.

Термический анализ продуктов взаимодействия активированного алюминия с различными окислителями осуществлен методами дифференциального термического и термогравиметрического анализа на дериватографе Q-1000/D системы F.Paulik, J.Paulik и L.Erdey фирмы «МOM», (Будапешт).

Используемый метод основан на регистрации прибором изменений термохимических и физических параметров вещества, которые могут быть вызваны при его нагревании [2,3]. Термохимическое состояние пробы описываются кривыми: Т (температурной), ДТА (дифференциальной термоаналитической), ТГ (термогравиметрической) и DTG (дифференциальной термогравиметрической), последняя кривая является производной от ТГ-функции.

Анализ осуществлялся в воздушной среде, в диапазоне температур от 20 до 1000°C. Режим нагрева печи – линейный ($dT/dt = 10 \frac{\text{град}}{\text{мин}}$), эталонное вещество – прокаленный Al_2O_3 . Для однозначности, условий съемки навеска образцов составляла строго – 100 мг, при чувствительности весов – 100 мг на шкалу измерения. Съемка анализа осуществлялась в следующих пределах измерительных систем прибора: ДТА = 250 μV , DTG = 500 μV , ТГ = 500 μV , Т = 500 μV .

Цель изучения многокомпонентных проб методом дифференциального термического и термогравиметрического анализа – контрольные определения состава

термически активной части исследуемых навесок выявление термического поведения их в условиях динамического подъема температуры.

Установление вещественного состава активной части порошковых проб проводилось по морфологиям термических кривых и численных значений интенсивностей эндо – и экзотермических эффектов с использованием сопряженных с ними термогравиметрических показаний ТГ – линий.

Результаты анализа сравнивались с данными приведенных в атласах термических кривых минералов и горных пород и сопоставлялись с описаниями термического поведения проб, изложенных в других справочных источниках и накопленных в банке данных лаборатории, проводившей эти исследования.

Исследуемые пробы при динамическом нагревании печи оставили на своих дифференциальных и термогравиметрических кривых информацию о вещественном наполнении их навесок. Серия эндо- и экзотермических эффектов выявленных при разложении испытываемых образцов дали возможность проследить за очередностью этапа термических деструкций и их количественно определить состав летучих компонентов. Также было установлено ряд особенностей разложения образцов в зависимости от их состава и весовых соотношений термически активных компонентов пробы.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Типичные кривые ДТА, ДТГ и ТГ полученные при динамическом нагревании порошка продукта реакции сплава Раи с 5%-ным раствором H_2SO_4 (соотношение 1:100) при температуре $60^\circ C$ в течение 2 ч представлены на *рисунке 1*. На кривых термической деструкции наблюдается два максимума потери воды, сопровождающиеся эндоэффектами. Первая стадия разложения испытываемой пробы протекает в пределах $20-200^\circ C$. Она обусловлена удалением физически сорбированной молекулярной воды, выход которой из системы образует на ТГ-кривой ступень потери веса (Δm_1), соответствующей 7,5% от первоначальной массы образца. С частичками пробы указанная вода удерживалась двумя формами связи, о чем свидетельствует наличие на ДТГ-кривой двух слабо, развитых углублений при 80 и $100^\circ C$.

Следующая стадия разложения вызвана выходом из исследуемого комплекса молекул H_2O и гидроксидов, имеющих промежуточные свойства относительно их электрических связей с элементами сульфата алюминия. В интервале $200-225^\circ C$ данная реакция оставляет на ДТА- и ДТГ- кривых по одному пику в области $110^\circ C$. При этом в указанных пределах температур, термогравиметрическая (ТГ) кривая отмечает снижение массы образца, еще на 3%. Указанный процесс, по окончании второго этапа дегидратации, плавно перетекает в очередную – главную фазу термического обезвоживания порошковой пробы. Эта реакция прослеживается в промежутке $225-330^\circ C$ с обильным выбросом из системы 12,5% гидроксидов и тепловой энергии, оставивших соответственно на ДТГ- и ДТА- кривых по одному четко выраженному глубокому пику в области $260^\circ C$. Дальнейшее обезвоживание пробы протекает в относительно большом интервале температур ($330-560^\circ C$). На этом этапе разложения теряется лишь 1,75% массы образца в виде выброса остатка гидроксидов (*рисунок 1*).

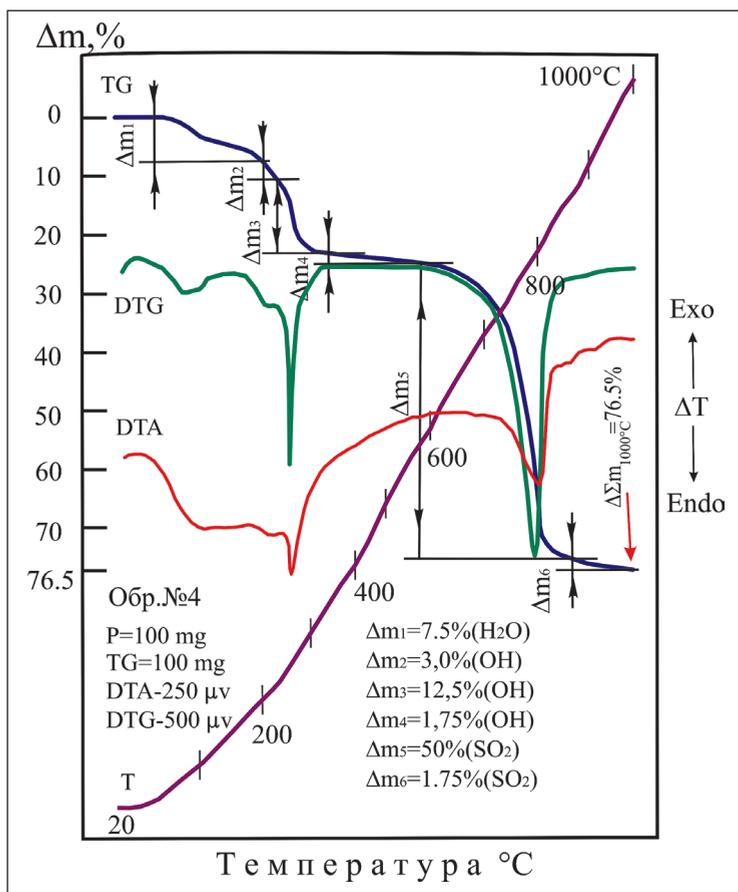


Рисунок 1 – Термический анализ, продукта взаимодействия сплава Rau-85 с 5%-ным раствором H_2SO_4 (соотношение 1:100) при температуре 60° в течение 2ч

Заключительная фаза разрушения структуры гидросульфата алюминия наблюдается в интервале температур $560-870^\circ C$. Она сопровождается интенсивным выносом из системы диоксида серы, образуя на дифференциальных DTG- и DTA-кривых эндопики соответственно при 800 и $810^\circ C$. Потеря веса при этой реакции составила 50% от массы образца. Завершает процесс деструкции термически активного компонента пробы слабое экзотермическое проявление, образовавшее на DTA-кривой незначительное поднятие линии в области $970^\circ C$. Такое проявление, по-видимому, связано с привнесением в систему трех молекул кислорода. С привнесением O_2 , одновременно TG-кривая фиксирует выброс из системы остаточное количество SO_2 в количестве 1,75% массы образца. При нагревании продукта реакции сплава Rau с 3%-ным раствором H_2O_2 на кривой DTA тринезначительные по величине эндотермические пики при $105, 380$ и $565^\circ C$ (рисунок 2). Первый из них обусловлен удалением из системы адсорбированной воды, количество которой, по данным термогравиметрической кривой в промежутке $20-200^\circ C$, соответствует 10% от массы не прогретого образца.

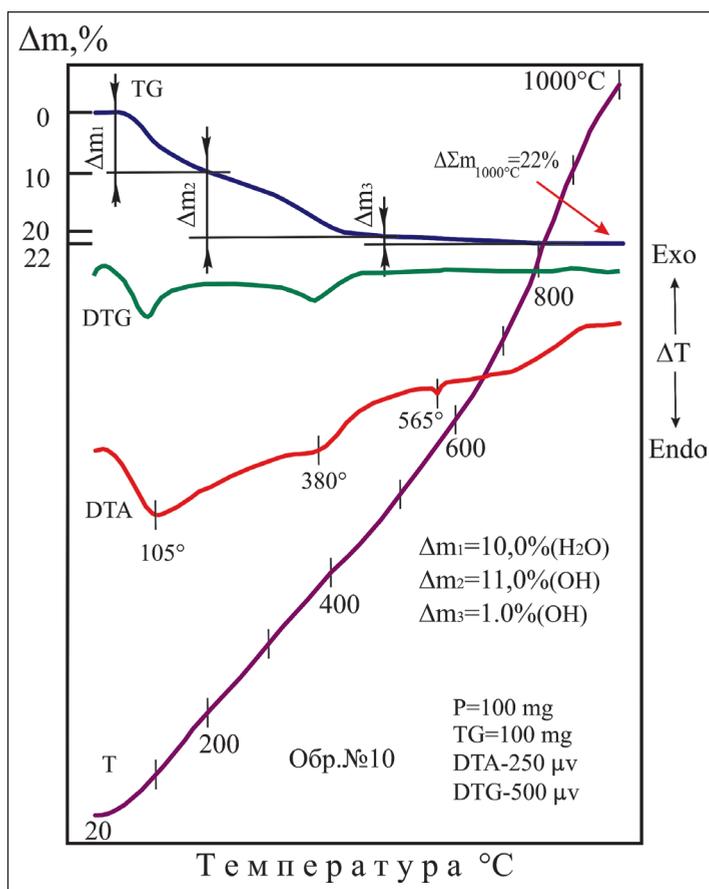


Рисунок 2 – Термический анализ продукта взаимодействия сплава Rau-85 с 3%-ным раствором H_2O_2 (соотношение 1:100) при температуре 60° в течение 2 ч

Второе проявление, протекающее в пределах $200\text{--}475^\circ\text{C}$, связано с выбросами в атмосферу гидроксидов, которые снизили вес пробы еще на величину $\Delta m_2 = 11\%$. Развитие третьего эффекта, при 565°C , не связано с разложением анализируемого вещества, поскольку развитие его в области указанной температуры не сопровождается потерей массы. Подобные реакции характерны для обратимых полиморфных превращений.

Процесс разложения изучаемого образца завершается в пределах $475\text{--}1000^\circ\text{C}$ медленным снижением веса образца, в результате выноса из системы остатка гидроксидов и от сублимации продукта обжига. Общая потеря веса образца в процессе прокаливания до 1000°C составила 22%.

В процессе нагревания продукта взаимодействия сплава Rau с 3%-ным раствором H_2O_2 от 20 до 1000°C не произвел явно выраженных термически активных проявлений.

Наличие на термогравиметрической кривой явно выраженных наклонов в интервалах $20\text{--}200$ и $200\text{--}470^\circ\text{C}$, слабо отразились на кривизне DTG-линии и практи-

чески никак не повлияли на морфологию базисной ДТА-кривой. Это свидетельство плавного снижения веса образца при удалении H_2O из системы ($\Delta m_1=14,5\%$) и выбросов OH из нее ($\Delta m_2=7,0\%$) (рисунок 3).

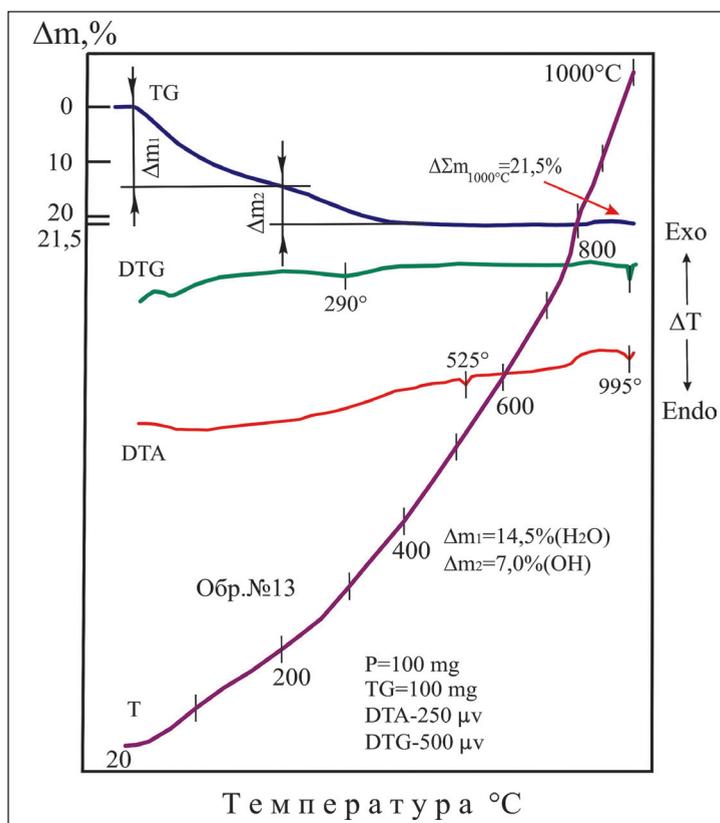


Рисунок 3 – Дериватограмма продукта реакции сплава Rau-85 с дистиллированной водой H_2O (соотношение 1:100) при температуре 25° в течение 2ч

ВЫВОДЫ. В отличие от пассивности (DTA- и DTG-проявлений) системы при термическом обезвоживании в диапазоне (20-470°C) некоторым исключением служат развитие реакции в областях 525 и 995°C. Одно из этих проявлений (при 525°C) протекало без изменения массы образца, что связано обратимым полиморфным превращением нагреваемой шихты. Другая эндотермическая реакция (при 995°C) обусловлена выбросом (<1%) из продукта обжига избыточного газа. Об этом свидетельствует наличие на TG-кривой в указанной области температур слабо выраженной ступени потери веса. Дифференциальное термогравиметрическое устройство прибора на данное мини-снижение массы отреагировало столь же малой информацией, которая отразилась на DTG-кривой в виде мини-пика в области 990°C. Отмеченное удаление можно отнести к реакции восстановления точечной доли обожженной шихты. Удаление кислорода следует связать с предшествующим процессом окисления части продукта обжига, который в интервале 790-940°C с привнесением в систему O_2 оформил на DTA-кривой некоторое экзотерическое поднятие линии.

Таким образом, реакция, протекающая при 525°C, относится к полиморфному превращению части обезвоженного продукта, а реакция при 995°C согласно поведению ДТА- и DTG-кривых в пределах 790-995°C, склоняется к частичному восстановлению.

Работа выполнена за счет средств грантового финансирования МОН РК ИРН АР09260008. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Чукин Г.Д. Строение оксида алюминия и катализаторов гидрообессеривания. Механизмы реакций. – М.: Типография Паладин, ООО «Принта», 2010. – 288 с. [Chukin G.D. Stroenie oksida alyuminiya i katalizatorov gidroobesserivaniya. Mekhanizmy reakcii. – М.: Tipografiya Paladin, ООО «Принта», 2010. – 288 с.]
- 2 Сармурзина Р.Г. Взаимодействие алюминия с водой как источник получения водорода и активного оксида алюминия. Автореферат на соискание ученой степени доктора химических наук. Москва 1988. – 36 с. [Sarmurzina R.G. Vzaimodejstvie alyuminiya s vodoi kak istochnik polucheniya vodoroda i aktivnogo-oksida alyuminiya. Avtoreferat na soiskanie uchenoi stepeni doktora khimicheskikh nauk. Moskva 1988. 36 s.]
- 3 Петрова Е.В., Дресвянников А.Ф., Цыганова М.А., Губайдуллина А.М., Власов В.В. Физико-химические свойства наночастиц гидроксидов и оксидов алюминия, полученных электрохимическим способом. // Журнал физической химии. – 2010. – Т. 84. – №4. – С. 302-310. [Petrova E.V., Dresvyannikov A.F., Cyganova M.A., Gubajdullina A.M., Vlasov V.V. Fizikokhimicheskie svojstva nanochastic-gidroksidov-i-oksidov-alyuminiya-poluchennykh ehlektrokhimicheskim sposobom // Zhurnal fizicheskoy khimii. – 2010. – Т. – 84. – №4. С. 302-310.]
- 4 Иванова А.С. Реальная структура метастабильных форм оксидов алюминия // Кинетика и катализ. – 2000. – Т. 41. – №1. – С. 155-160. [Ivanova A.S. Realnaya struktura metastabilnykh form oksidov alyuminiya // Kinetika i kataliz. – 2000. – Т. 41. – №1. – С. 155-160].