DOI 10.18454/PMI.2016.3.428

Металлургия и обогащение

УДК 615.035.4

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМИНИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

А.И.АЛЕКСЕЕВ
Санкт-Петербургский горный университет, Россия

Изменение сырьевой базы для получения алюминия и появление огромного количества вторичных глиноземсодержащих отходов (литейные шлаки, шламы, отработанные катализаторы, минеральная часть углей и др.), образующихся на различных промышленных предприятиях, потребовало создание научных и теоретических основ для их переработки. В работе в качестве алюминийсодержащего сырьевого компонента использованы алюминиевые сплавы, содержащие алюминиевый компонент, получаемый в качестве стружки на машиностроительных предприятиях. Алюминиевые отходы представляют собой целую гамму металлических сплавов алюминия с включением различных элементов: магния, меди, кремнезема, цинка, железа. Анализ алюминиевых отходов Al – Zn – Cu – Si – Fe показывает, что в зависимости от содержания того или иного металла, процесс растворения алюминиевого сплава следует рассматривать как результат химического взаимодействия металла, с щелочным раствором. Рассмотрено поведение основных компонентов сплавов в щелочном растворе применительно к системе $Na_2O – Al_2O_3 – SiO_2 – CO_2 – H_2O$. Поскольку конечное содержание компонентов в щелочном растворе определяется его растворимостью, выполнена экспериментальная оценка возможности растворения железа и других элементов алюминиевого сплава в щелочном растворе различных концентраций при температуре 80-90 °С. Для щелочных растворов, содержащих 100-300 г/л $Na_2O_{ку}$, растворимость гидроксида железа составляет 0,003-0,05 г/л.

Ключевые слова: алюминиевые отходы Al – Zn – Cu – Si – Fe, щелочной раствор, термодинамические расчеты.

Как цитировать эту статью: Алексеев А.И. Научные основы переработки алюминийсодержащих отходов // Записки Горного института. 2016. Т.219. С.428-434. DOI 10.18454/PMI.2016.3.428

Проблема утилизации отходов является весьма актуальной, однако методы переработки многих видов алюминиевых отходов пока не разработаны или проработаны недостаточно эффективно [1,2]. По данным Росприроднадзора, ежегодно в России образуется порядка 35-40 млн т твердых промышленных отходов и практически весь этот объем размещается на полигонах ТБО, санкционированных и несанкционированных свалках, и только 4-5 % вовлекается в переработку [8].

В работах [3, 10-12] изложены теоретические и термодинамические основы получения щелочно-алюминатных растворов с использованием системы $Na_2O – CaO – Al_2O_3 – SiO_2 – H_2O$, получаемых на промышленных предприятиях России, перерабатывающих Кольский нефелиновый концентрат и другие виды алюмосиликатного сырья. Процесс взаимодействия алюминия или его оксида α-, γ-$Al_2O_{3тв}$ и гидроксида: гидраргиллит γ-$Al(OH)_3$, байерит α-$Al(OH)_3$, бемит γ-AlO(OH), диаспор α-AlO(OH) с преобразованием группы OH^- щелочного раствора в комплексный ион $Al(OH)^-_{4aq}$ – осуществляется по следующим химическим реакциям [4, 5, 15]:

Алюминий	$Al_{тв} + OH^- + 3H_2O = Al(OH)^-_{4aq} + 1{,}5H_2$.	(1)
$Al(OH)_3$ аморфный	$Al(OH)_{3т,аморфный} + OH^-_{aq} = Al(OH)^-_{4aq}$.	(2)
Байерит $Al(OH)_3$	$Al(OH)_{3тв} + OH^-_{aq} = Al(OH)^-_{4aq}$.	(3)
Бемит AlO(OH)	$AlO(OH) + OH^-_{aq} + H_2O = 2Al(OH)^-_{4aq}$.	(4)
Диаспор AlO(OH)	$AlO(OH) + OH^-_{aq} + H_2O = 2Al(OH)^-_{4aq}$.	(5)
Оксид алюминия, корунд α-$Al_2O_{3тв}$	$\alpha - Al_2O_{3тв} + 3H_2O + 2OH^- = 2Al(OH)^-_{4aq}$.	(6)

На основании термодинамических расчетов по значению энергии Гиббса ΔG^0_T определен ряд активностей соединений металлический алюминий – гидроксиды алюминия по отношению к 1 М раствора NaOH:

Алюминий [Al] (– 435,13 кДж/моль) → гидраргиллит [$Al(OH)_3$] (–5,9 кДж/моль) → → байерит [α-$Al(OH)_3$](–2,75 кДж/моль) → бемит [AlO(OH)](0,54 кДж/моль) → → диаспор [AlO(OH)](2,28 кДж/моль) → корунд [α, γ-Al_2O_3](5,24 кДж/моль).

DOI 10.18454/PMI.2016.3.428

Полученные значения энергии Гиббса свидетельствуют о высокой вероятности взаимодействия алюминия, аморфного гидроксида, байерита с щелочным раствором при температуре 298 К. Химические реакции (3)-(6) также возможны, но с меньшей вероятностью, поскольку они могут протекать только с повышением температуры, о чем свидетельствуют расчетные значения теплового эффекта:

Номер реакции	1	2	3	4	5	6
Тепловой эффект, кДж/моль	–409,2	15,79	33,52	12,57	3,21	6,16

В настоящее время очень актуальна переработка вторичного алюминийсодержащего сырья (алюминиевые сплавы), так как в нем содержится значительное количество очень ценных элементов: Al – – Mg – Ca – Sc – Zn – Cu – Sc – Cr – Zr – Fe – Hf.

Производство вторичного алюминия требует меньших энергетических затрат и существенно меньших, чем при производстве первичного алюминия (выбросы токсичных веществ в окружающую природную среду). По прогнозам, доля вторичного алюминия в общем потреблении к 2030 г. может возрасти до 22-24 млн т в год [13].

Исследование проблемы утилизации алюминиевых отходов различных предприятий показывает, что алюминиевые отходы классифицируют по их свойствам: деформируемые и литейные [2, 9, 14].

Алюминиевые отходы представляют собой целую гамму металлических сплавов алюминия с включением значительного количества элементов периодической системы Д.И.Менделеева: кальция, магния, меди, марганца, кремнезема, цинка, железа (ГОСТ 1639-2009).

Изменение технологических свойств в сопоставлении с диаграммой состояния (рис.1) показывает, что сплавы с содержанием легирующего компонента меньше предела растворимости обладают наибольшей пластичностью и наименьшей прочностью при высокой температуре. Анализ химического состава алюминиевых отходов, содержащих Al – Zn – Cu – Si – Fe, показывает, что в зависимости от содержания того или иного металла процесс растворения алюминиевого сплава следует рассматривать как результат химического взаимодействия металла с щелочным раствором, содержащим ионы OH^-. Алюминиевые сплавы следует рассматривать как равномерное распределение элементов в кристаллической решетке алюминиевого сплава. С точки зрения химической активности алюминиевые сплавы представляют собой локальные гальванические элементы, которые возникают при их контакте с водой и щелочью [7].

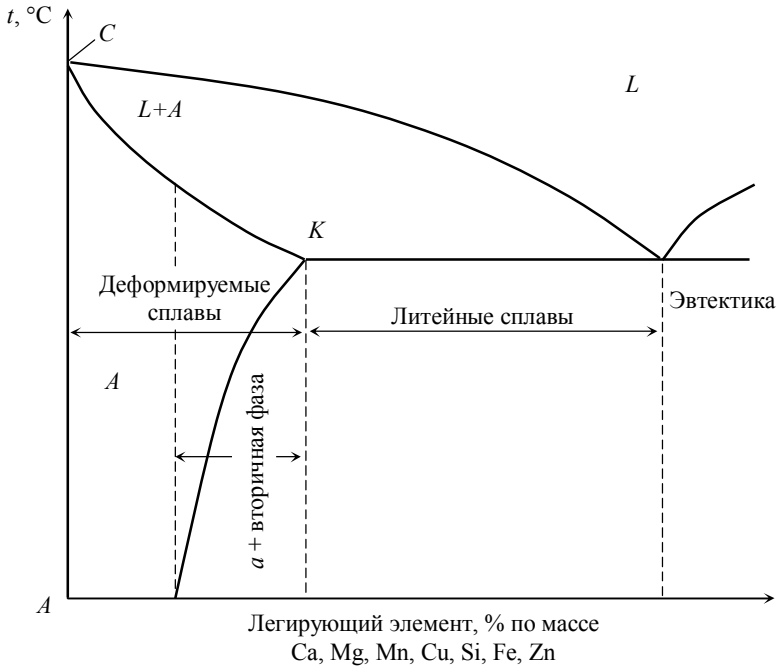


Рис.1. Типовая диаграмма алюминий – легирующий элемент

L – область жидкого алюминия; *L* + *A* – жидкий алюминий + кристаллы алюминия; *K* – точка предельной растворимости легирующего элемента в алюминии при эвтектической температуре; *C* – температура плавления Al; *A* – область кристалла с легирующим компонентом

В таблице приведены реакции взаимодействия компонентов алюминиевого сплава в воде и щелочным раствором молярной концентрации (NaOH), используемых для получения алюминатного раствора.

Для оценки растворения компонентов алюминиевых отходов в щелочном растворе в качестве критерия выбрана свободная энергия Гиббса ΔG^0_{298}, которая связана с электродвижущей силой элемента уравнением $\Delta G^0_{298} = nFE^0$, где n – зарядность ионов; F – постоянная Фарадея, равная 96485 Кл/моль; E^0 – ЭДС элемента, В.

DOI *10.18454/PMI.2016.3.428*

Энергия Гиббса и потенциалы реакций растворения компонентов алюминиевых отходов в щелочном растворе

Элемент сплава	Химическая реакция	ΔG^0_{298}, кДж/моль	Стандартные потенциалы металлов, В
Бериллий	$Be_{тв} + 2OH^- + 2H_2O = Be(OH)_4^{2-} + H_2$	–309,38	–1,847
Алюминий	$Al_{тв} + OH^- + 3H_2O = Al(OH)_4^- + 1{,}5H_2$	–337,77	–1,66
Марганец	$Mn_{тв} + OH^- + 2H_2O = Mn(OH)_3^- + H_2$	–97,32	–1,18
Хром	$Cr_{тв} + OH^- + 2H_2O = Cr(OH)_3^- + H_2$	49,27	–0,852
Цинк	$Zn_{тв} + 2OH^- + 2H_2O = Zn(OH)_4^{2-} + H_2$	–74,05	–0,763
Кадмий	$Cd_{тв} + 2OH^- + 2H_2O = Cd(OH)_4^{2-} + H_2$	46,76	–0,403
Железо	$Fe_{тв} + 2OH^- + 2H_2O = Fe(OH)_4^{2-} + H_2$	35,64	–0,037
Кремний	$Si_{тв} + 2OH^- + 2H_2O = H_2SiO_4^{2-} + 2H_2$	–398,63	–
Медь	$Cu_{тв} + 2OH^- + 2H_2O = Cu(OH)_4^{2-} + H_2$	152,09	+0,337

Расчетные значения ΔG^0_{298} показывают, что только пять элементов сплава (алюминий, кремнезем и др.) растворяются при химической щелочной обработке алюминиевого сплава. Стандартные потенциалы металлов служат для ориентировочных оценок электрохимической коррозии в щелочных растворах при обычных температурах, а также для выбора контактных пар разнородных металлов.

Таким образом, анализируя химическую активность элементов алюминиевого сплава, необходимо иметь в виду, что эти соединения в результате химической реакции выделяют водород из молекулы воды, а роль щелочи сводится к растворению соответствующего гидроксида. Например, для алюминия химизм процесса осуществляется следующим образом:

$$\text{1-я стадия: } Al + H_2O = Al(OH)_3 + 3/2\ H_2;$$

$$\text{2-я стадия: } Al(OH)_3 + OH^- = Al(OH)_4^-.$$

Поэтому с водой алюминий реагирует с образованием гидроксида, который, являясь амфотерным соединением, в дальнейшем проявляет кислотные свойства и достаточно легко нейтрализуется щелочью (NaOH) с образованием комплексного алюминатного аниона.

Аналогичными свойствами обладает кремнезем. Остальные элементы: Mg, Ti, Mn, Ni, Fe и Cu – проявляют основные свойства, и даже при их растворении будут представлены только гидроксидами. Оценить возможность их растворения в щелочном растворе можно с помощью данных по растворимости соответствующих гидроксильных соединений. Например, если в алюминиевом сплаве есть железо и медь, то возможно образование локального гальванического элемента медь –железо (раствор NaOH).

В этом случае элементы железа становятся ионами Fe^{2+}, а затем переходят в раствор, поскольку образование на поверхности $Fe(OH)_2$ отбирает у меди свободные электроны $2Fe \rightarrow 2Fe^{2+} + 4e$; $2H_2O + O_2 + 4e = 4OH^-$. Наличие кислорода способствует образованию различных модификаций, например FeO(OH).

Таким образом, многообразие различных элементов в алюминиевом сплаве приводит к необходимости термодинамического подхода к анализу поведения всех компонентов при их растворении в щелочном растворе.

Сущность термодинамического расчета применительно к процессу растворения алюминиевого сплава в щелочном растворе позволяет определить, в какой форме могут существовать те или иные частицы в растворе и каковы границы pH их существования.

Для экспериментальной оценки возможности использования алюминиевого сплава (приготовления алюминатного раствора) и балансового расчета применяли алюминиевые отходы следующего химического состава, % по массе: Al 93,35; Cu 3,8; Mg 1,2; Mn 0,3; Fe 0,5; Ti 0,5; Ni 0,1; прочие примеси 0,15; всего 100.

Скорость растворения алюминиевого отхода определяли используя образцы алюминиевого сплава 40×40 мм, которые помещались в щелочной раствор различной концентрации (10-160 г/л) и температур (60-90 °C) для достижения одинакового результата (съем 4 мкм на сторону поверхности).

На основании экспериментальных данных получено уравнение травления: $\alpha = kC_{NaOH}2^{T-40\,^\circ C}\tau$, где α – величина, по которой можно определить количество перешедшего в щелочной раствор металлического алюминия, г/л Al_2O_3; k – константа скорости, $1{,}5\cdot10^{-4}$ г/(л·с); C_{NaOH} – концентрация NaOH, моль; τ – время травления, с. Например, для температуры 70 °C, концентрации 120 г/л NaOH (3 моля) и времени 5 с, $\alpha = 1{,}5\cdot10^{-4}32^{40-70\,^\circ C}5$; концентрация $\alpha = 0{,}018$ г/л Al_2O_3.

DOI 10.18454/PMI.2016.3.428

Для разработки технологического процесса переработки алюминиевых сплавов необходимо определить, какое количество оксида алюминия можно перевести в щелочно-алюминатный раствор, поэтому растворение алюминиевого сплава следует рассматривать в гетерогенной системе $Na_2O – Al_2O_3 – SiO_2 – – CO_2 – H_2O$ (рис.2).

Процесс растворения алюминиевого сплава и его компонентов щелочным раствором по реакциям (1)-(6) может осуществляться только тогда, когда в растворе присутствует свободная каустическая щелочь.

В качестве примера можно рассмотреть взаимодействие алюминия $Al_{тв} + OH^- + 3H_2O = = Al(OH)_4^- + 1{,}5H_2$ и кремния $Si_{тв} + 2OH^- + 2H_2O = H_2SiO_4^{2-} + +2H_2$ с щелочным раствором и определить области щелочно-алюминатных растворов, которые влияют на его растворение.

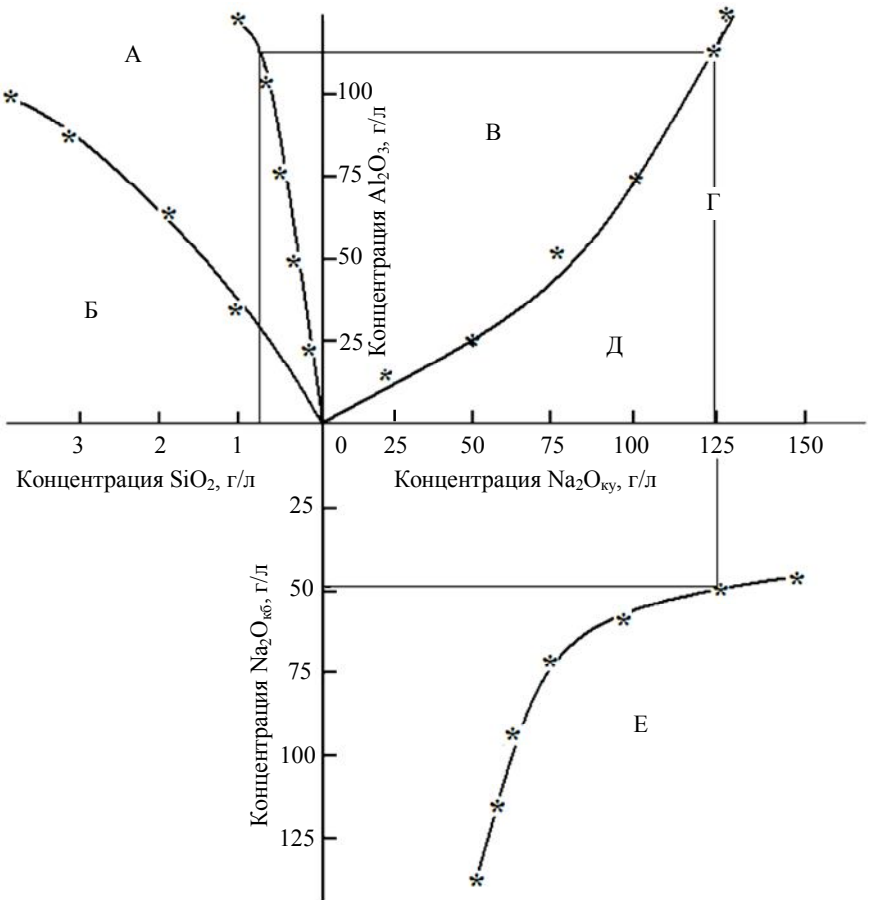


Рис.2. Равновесная диаграмма системы $Na_2O – Al_2O_3 – SiO_2 – CO_2 – H_2O$, температура 80-90 °С

А – метастабильная область кристаллизации алюмосиликата натрия $Na_2O – Al_2O_3 – 2SiO_2 – – 2H_2O$; Б – область кристаллизации алюмосиликата натрия $Na_2O – Al_2O_3 – 2SiO_2 – 2H_2O$; В – область пересыщенных алюминатных растворов; Г – область ненасыщенных алюминатных растворов; Д – область растворения алюминиевых сплавов; Е – область кристаллизации моногидрата карбоната натрия

Комплексная диаграмма разработана нами на основании литературных и экспериментальных данных [4, 5] с учетом частных разрезов $Na_2O – Al_2O_3 – SiO_2 – CO_2 – H_2O$: $Na_2O – Al_2O_3 – H_2O$ (кристаллизуется $Al(OH)_3$; $Na_2O – Al_2O_3 – SiO_2 – – H_2O$ (кристаллизуется $Na_2O{\cdot}Al_2O_3{\cdot}2SiO_2{\cdot}2H_2O$, гидроалюмосиликат натрия); $Na_2O – Al_2O_3 – CO_2 – – H_2O$ (накопление CO_2 в щелочных растворах, кристаллизуется водный карбонат натрия в виде $Na_2CO_3{\cdot}nH_2O$).

Из приведенных данных (рис.2) видно, что при концентрации 125 г/л $Na_2O_{ку}$ предельная концентрация Al_2O_3 составляет 110 г/л, а равновесная SiO_2 – 0,5 г/л.

Процесс растворения сплава осуществляется в реакторах с открытой поверхностью, поэтому каустическая щелочь способна поглощать CO_2 из воздуха. В этом случае протекает реакция нейтрализации $2NaOH + CO_2 = Na_2CO_3 + H_2O$ и, следовательно, происходит уменьшение свободной щелочи.

Из этих данных следует, что количество свободной щелочи для процесса следует рассчитывать по формуле

$$Na_2O_{ку} = Na_2O_{об} – Na_2O(NaOH) – Na_2O(Na_2CO_3) – Na_2O_{примесь},$$

где $Na_2O_{об}$ – общая каустическая щелочь; $Na_2O_{ку}$ – щелочь, связанная в NaOH; $Na_2O(Na_2CO_3)$ – щелочь, связанная в карбонат Na_2CO_3; $Na_2O_{примесь}$ – щелочь, связанная в другие неорганические соединения.

Поскольку конечное содержание компонентов в щелочном растворе определяется его растворимостью, нами выполнена экспериментальная оценка возможности растворения железа и других элементов алюминиевого сплава в щелочном растворе различных концентраций при температуре 80-90 °С.

Экспериментальные данные по растворимости гидроксида железа (рис.3) показывают, что для щелочных растворов, содержащих 100-300 г/л $Na_2O_{ку}$, растворимость гидроксида железа составляет 0,003-0,05 г/л. Следует учесть, что растворимость Fe_2O_3 в щелочном растворе при pH = 10 равна $2{,}5{\cdot}10^{-26}$ г/л.

DOI *10.18454/PMI.2016.3.428*

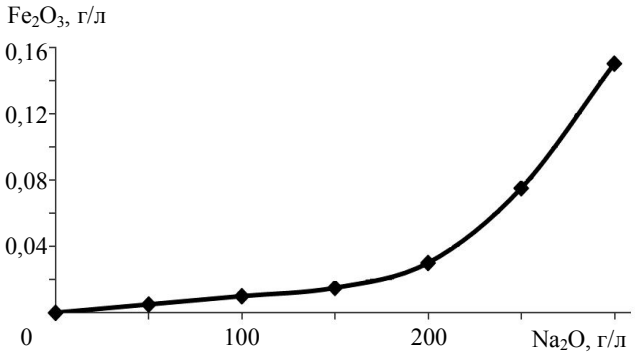


Рис.3. Растворимость гидроксида железа в щелочном растворе при различной концентрации, t = 80-90 °С

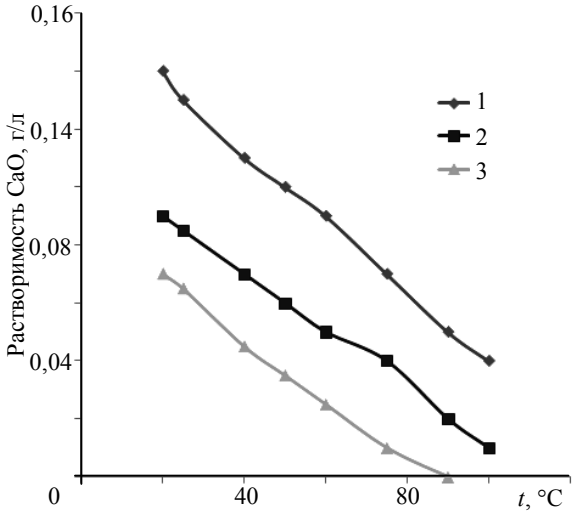


Рис.4. Влияние температуры и концентрации каустической щелочи на растворимость гидроксида кальция
Концентрация NaOH, г/л: 1 – 6,45; 2 – 12,91; 3 – 25,8

Кальций как легирующий элемент алюминия существенно изменяет свойства и придает ему новые специфические особенности – пластичность. При содержании кальция 5 % сплав обладает эффектом сверхпластичности [6, 12]. Известно, что растворимость гидроокисей щелочно-земельных металлов зависит от избыточного количества гидроксильных ионов в виде раствора NaOH, а также повышения температуры, которое вызывает снижение растворимости гидроокиси кальция.

На рис.4 приведены экспериментальные данные влияния температуры и концентрации щелочи на растворимость гидроксида кальция, которые подтверждают данное научное положение.

При обработке экспериментальных данных растворимости гидроксида кальция в щелочном растворе были получены следующие результаты:

Концентрация щелочного раствора, г/л	Коэффициенты уравнения растворимости (S) $Ca(OH)_2$, выраженные через CaO, г/л, $S = kx + b$		Величина достоверности аппроксимации
	k	b	R^2
6,45	–0,001x	0,161	0,997
12,9	–0,001x	0,109	0,996
25,8	–0,001x	0,088	0,99

При высоких температурах очень хорошая прочность характерна для алюминиевых сплавов, которые содержат медь, никель и магний, а иногда железо 0,5-5 %. Эти сплавы являются термически упрочняемыми и могут достигать довольно высокой прочности и пластичности [6, 7, 10, 12]. Исходя из термодинамических расчетов (см. таблицу) и анализа литературы по растворимости литейных сплавов меди щелочным раствором 100-130 г/л $Na_2O_{ку}$, комплексные анионы состава $Cu(OH)_4^{2-}$ в растворах не образуются и, следовательно, можно предположить образование каких-либо щелочных соединений ($Cu_{тв} + 2OH^- + 2H_2O = Cu(OH)_4^{2-} + H_2$, поскольку значение энергии Гиббса ΔG^0_{298} положительное: 152,09 кДж/моль).

Для подтверждения научных положений выполнены экспериментальные исследования, где использовали следующие компоненты: алюминиевый сплав, процент по массе; щелочной раствор: 120 г/л $Na_2O_{ку}$ (154,8 г/л NaOH); плотность 1,15 г/см^3.

Данные материального баланса:

Компонента	Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Ti	Ni	Прочие примеси	NaOH
Шлам	–	3,8	1,2	0,3	0,5	0,5	0,1	0,15	0,45
Раствор	93,50	–	–	–	–	–	–	0,05	204,7

В результате обработки алюминиевого сплава при температуре 80-90 °С получен раствор, содержащий 100 г/л Al_2O_3, 120 г/л $Na_2O_{ку}$ (154,8 г/л NaOH), плотность 1,2 г/см^3(см.рис.2).

Таким образом, приведенные экспериментальные данные подтверждают термодинамические и кинетические расчеты, а также разработанные научные положения.

DOI *10.18454/PMI.2016.3.428*

Выводы

1. На основании термодинамических расчетов по значению энергии Гиббса ΔG_T^0 определен ряд активностей соединений металлический алюминий – гидроксиды алюминия по отношению к 1 М раствора NaOH.

2. Расчетные значения ΔG_{298}^0 показывают, что только пять элементов сплава (алюминий, кремнезем и др.) растворяются при химической щелочной обработке алюминиевого сплава. Стандартные потенциалы металлов служат для ориентировочных оценок электрохимической коррозии в щелочных растворах при обычных температурах, а также для выбора контактных пар разнородных металлов.

3. Выполнены эксперименты с образцами алюминиевого сплава 40×40 мм, которые помещались в щелочной раствор различной концентрации (10-160 г/л) и температур (60-90 °С) для достижения одинакового результата.

4. На основании экспериментальных данных получено уравнение травления.

5. На основании литературных и экспериментальных данных с учетом частных разрезов $Na_2O – Al_2O_3 – SiO_2 – CO_2 – H_2O$ разработана комплексная диаграмма с частными разрезами $Na_2O – Al_2O_3 – H_2O$.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев А.И.* Комплексная переработка апатит-нефелиновых руд на основе создания замкнутых технологических схем // Записки Горного института. Т.215. С.75-83.

2. *Алексеев А.И.* Передовые химические технологии переработки алюминиевых отходов / А.И.Алексеев, Н.В.Николаева, О.О.Конончук // Высокие технологии: потенциал и перспективы: Сб. докладов круглого стола. СПб: Изд-во СПбГЭУ, 2014. С.20-23.

3. *Абрамов В.Я.* Комплексная переработка нефелин-апатитового сырья / В.Я.Абрамов, А.И.Алексеев, Х.А.Бадальянц. М.: Металлургия, 1990. 392 с.

4. *Алексеев А.И.* Гидроалюминаты и гидрогранаты кальция (синтез, свойства, применение). Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. 184 с.

5. *Бричкин В.Н.* Явление изотермического перехода метастабильных алюминатных растворов в лабильную область и перспективы его промышленного использования / В.Н.Бричкин, А.Краславский // Записки Горного института. 2016. Т.217. С.80-87.

6. *Белов Н.А.* Влияние кальция на структуру и упрочнение алюминиевых сплавов, легированных цинком и магнием / Н.А.Белов. В.И.Титов // Цветные металлы. 2008. № 12. С.64-67.

7. *Золоторевский С.В.* Металловедение литейных алюминиевых сплавов / В.С.Золоторевский, Н.А.Белов / МиСиС. М., 2005. 376 с.

8. *Кулинич О.В.* Физико-химические основы гидрохимической переработки отходов, содержащих алюминий: Автореф. дис… канд. техн. наук / Санкт-Петербургский технологический институт. СПб, 1998. 21 с.

9. *Луц А.Р.* Алюминий и его сплавы / А.Р.Луц, А.А.Суслина / Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2013. 81 с.

10. *Сизяков В.М.* Химико-технологические закономерности процессов спекания щелочных алюмосиликатов и гидрохимической переработки спеков // Записки Горного института. 2016. Т.217. С.102-112.

11. *Сизяков В.М.* Проблемы развития производства глинозема в России // I Международный конгресс «Цветные металлы Сибири-2009»: Сб. докладов. Красноярск, 2009. С.120-134.

12. *Сизяков В.М.* Модернизация технологии комплексной переработки нефелиновых концентратов на Пикалевском глиноземом комбинате // II Международный конгресс «Цветные металлы-2010»: Сб. докладов. Красноярск, 2010. С.219-230.

13. *Сизяков В.М.* Технологические и методологические основы получения алюминия на мощных электролизерах / В.М.Сизяков, В.Ю.Бажин / Санкт-Петербургский горный университет. 2011. 130 с.

14. *Фёдоров В.* Вторичный алюминий – важное сырье XXI века! // Вторичные ресурсы. 2001. № 4-5. С.58-59.

15. Экспериментальные данные по растворимости многокомпонентных водно-солевых систем: Справочник. В 2 т., 4 кн. СПб: Химиздат, 2003. Т.1, кн.2. С.609-1152.

Автор **А.И.Алексеев**, *д-р техн. наук, профессор, 4alexeev@mail.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет, Россия*).
Статья принята к публикации 23.12.2015.

SCIENTIFIC BASIS OF PROCESSING ALUMINUM-CONTAINING WASTE

A.I.ALEKSEEV
Saint-Petersburg Mining University, Russia

Changing raw material base for the production of aluminium and the emergence of a huge number of secondary glinozemservice waste (foundry slag, sludge, spent catalysts, mineral part of coals and other are formed in various industrial enterprises) demanded the creation of a scientific and theoretical basis for their processing. In this work, as aluminium-containing component used aluminum alloys (GOST 4784-97), aluminum containing

component is obtained as a chip on Mashinostroitel-governmental enterprises. Aluminum waste is a whole range of metal alloys of aluminium with cumtion of the elements: magnesium, copper, silica, zinc, iron. Analysis of waste aluminum Al – Zn – Cu – Si – Fe shows that, depending on the content of a particular metal and the dissolution process of aluminum alloy should be viewed as the result of chemical interaction of the metal with an alkaline solution. It is necessary to consider the behavior of the main components of the alloy in alkaline solution, with respect to the system $Na_2O – Al_2O_3 – SiO_2 – →CO_2 – H_2O$. Since the final contents of the components in an alkaline solution is determined by its soluble Pro-vide experimental evaluation of the possibility of dissolution of iron and other elements of aluminum alloy-VA in alkaline solution of different concentrations at temperature 80-90 °C., that show that for pH alkaltion of solutions containing 100-300 g/l $Na_2O_{ку}$ the solubility of ferric hydroxide is (0,003-0.05) g/l Fe_2O_3.

Key words: waste aluminum Al – Zn – Cu – Si – Fe, alkaline solution, thermodynamic calculations.

***How to cite this article*:** Alekseev A.I. Scientific basis of processing aluminum-containing waste. Zapiski Gornogo instituta. 2016. Vol.219, p.428-434. DOI 10.18454/PMI.2016.3.428

REFERENSEC

1. *Alekseev A.I.* Kompleksnaya pererabotka apatit-nefelinovykh rud na osnove sozdaniya zamknutykh tekhnologicheskikh skhem (*Complex processing of Apatite-nepheline ores based on the creation of closed technological schemes*). Zapiski Gornogo instituta. Vol.215, p.75-83.

2. *Alekseev A.I.*, *Nikolaeva N.V.*, *Kononchuk O.O.* Peredovye khimicheskie tekhnologii pererabotki alyuminievykh otkhodov (*Advanced chemical processing technology*, *aluminumevye of waste*). Vysokie tekhnologii: potentsial i perspektivy: Sb. dokladov kruglogo stola. St. Petersburg: Izd-vo SPbGEU, 2014, p.20-23.

3. *Abramov V.Ya.*, *Alekseev A.I.*, *Badal'yants Kh.A.* Kompleksnaya pererabotka nefelin-apatitovogo syr'ya (*Complex processing of nepheline-Apatite raw materials*). Moscow: Metallurgiya, 1990, p.392.

4. *Alekseev A.I.* Gidroalyuminaty i gidrogranaty kal'tsiya (sintez, svoistva, primenenie) (*Hydroaluminate and hydrogenate calcium* (*synthesis*, *properties*, *application*)). Leningrad: Izd-vo LGU, 1985, p.184.

5. *Brichkin V.N.*, *Kraslavskii A.* Yavlenie izotermicheskogo perekhoda metastabil'nykh alyuminatnykh rastvorov v labil'nuyu oblast' i perspektivy ego promyshlennogo ispol'zovaniya (*Phenomenon of isothermal transition of metastable aluminate racestworow in labile region and the prospects for its industrial use*). Zapiski Gornogo instituta. 2016. Vol.217, p.80-87.

6. *Belov N.A.*, *Titov V.I.* Vliyanie kal'tsiya na strukturu i uprochnenie alyuminievykh splavov, legirovannykh tsinkom i magniem (*The influence of calcium on the structure and hardening of aluminum alloys doped with zinc and magnesium*). Tsvetnye metally. 2008. N 12, p.64-67.

7. *Zolotorevskii S.V.*, *Belov N.A.* Metallovedenie liteinykh alyuminievykh cplavov (*Physical Metallurgy of cast aluminum alloys*). MiSiS. Moscow, 2005, p.376.

8. *Kulinich O.V.* Fiziko-khimicheskie osnovy gidrokhimicheskoi pererabotki otkhodov, soderzhashchikh alyuminii (*Physico-chemical fundamentals of hydro-chemical processing of waste containing aluminumtions*). Avtoref. dis… kand. tekhn. nauk. Sankt-Peterburgskii tekhnologicheskii institut. St. Petersburg, 1998, p.21.

9. *Luts A.R.*, *Suslina A.A.* Alyuminii i ego splavy (*Aluminium and its alloys*).Samar. gos. tekhn. un-t. Samara, 2013, p.81.

10. *Sizyakov V.M.* Khimiko-tekhnologicheskie zakonomernosti protsessov spekaniya shchelochnykh alyumosilikatov i gidrokhimicheskoi pererabotki spekov (*Chemical and technological regularities of the processes of sintering alkaline Alu-Basilicata and hydrochemical processing of cakes*). Zapiski Gornogo instituta. 2016. Vol.217, p.102-112.

11. *Sizyakov V.M.* Problemy razvitiya proizvodstva glinozema v Rossii (*Problems of development of alumina production in Russia*). I Mezhdunarodnyi kongress «Tsvetnye metally Sibiri-2009»: Sb. dokladov. Krasnoyarsk, 2009, p.120-134.

12. *Sizyakov V.M.* Modernizatsiya tekhnologii kompleksnoi pererabotki nefelinovykh kontsentratov na Pikalevskom glinozemom kombinate (*Modernization of technology of complex processing of nepheline concentrates on Peak-Levski alumina plant*). II Mezhdunarodnyi kongress «Tsvetnye metally-2010»: Sb. dokladov. Krasnoyarsk, 2010, p.219-230.

13. *Sizyakov V.M.*, *Bazhin V.Yu.* Tekhnologicheskie i metodologicheskie osnovy polucheniya alyuminiya na moshchnykh elektrolizerakh (*Technological and methodological basis for the production of aluminium and on the powerful electrolysis-RAH*). Sankt-Peterburgskii gornyi universitet. 2011, p.130.

14. *Fedorov V.* Vtorichnyi alyuminii – vazhnoe syr'e XXI veka! (*Recycled aluminium an important raw material of the XXI century!*). Vtorichnye resursy. 2001. N 4-5, p.58-59.

15. Eksperimental'nye dannye po rastvorimosti mnogokomponentnykh vodno-solevykh sistemchnik (*Experimental data on the solubility of multicomponent water-salt systems*). In 2 vols., 4 books. St. Petersburg: Khimizdat, 2003. Vol.1, book 2, p.609-1152.

***Author* A.I.Alekseev**, *Dr. of Engineering Sciences*, *Professor*, *4alexeev@mail.ru* (*Saint-Petersburg Mining University*, *Russia*).
Manuscript Accepted 23.12.2015.