

УДК 669.053.4
МРНТИ 53.03.01

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ШЛАКОВ МЕДНОЙ ПЛАВКИ

Р.Х. ШАРИПОВ, У.А. БАЛГИМБАЕВА, Б.Т. УТЕЛБАЕВ, Э.Н. СУЛЕЙМЕНОВ

Казахстанско-Британский технический университет

Аннотация: В статье приведены экспериментальные результаты по определению влияния нестационарных энергетических воздействий на транспорт электрического тока через расплавы металлургических шлаков (электролитов по современным понятиям). Показано, что транспортные свойства расплавов зависят не только от химического состава и температуры, но структурных особенностей жидкости. Сделан вывод, что аномалии в электропроводности расплавов можно пояснить только влиянием ориентационных эффектов в надмолекулярных (молекулярных) элементах структуры расплавов и физико-химическими взаимодействиями в расплавах при изменении температуры (молекулярное движение, межмолекулярные химические реакции и т.п.).

Сделан вывод об электронном типе проводимости расплавов металлургических шлаков и отсутствии самопроизвольной электролитической диссоциации (при расплавлении и растворении) при фазовом переходе первого рода.

Ключевые слова: расплавы оксидов, металлургические шлаки, электропроводность, нестационарные энергетические воздействия

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF AN ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF COPPER FOUR SLAGS

Abstract: The article presents experimental results on determining the influence of unsteady energy effects on the transport of electric current through melts of metallurgical slag (electrolytes according to modern concepts). It is shown that the transport properties of the melts depend not only on the chemical composition and temperature, but also on the structural features of the liquid. It is concluded that the anomalies in the electrical conductivity of the melts can only be explained by the influence of orientation effects in the supramolecular (molecular) elements of the structure of the melts and by physicochemical interactions in the melts when the temperature changes (molecular motion, intermolecular chemical reactions, etc.).

The conclusion is drawn about the electronic type of conductivity of metallurgical slag melts and the absence of spontaneous electrolytic dissociation (during melting and dissolution) during a first-order phase transition.

Keywords: oxide melts, metallurgical slag, electrical conductivity, non-stationary energy impacts

МЫС БАЛҚЫТУ ШЛАКТАРЫНЫҢ ЭЛЕКТР ӨТКІЗГІШТІГІНЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӨРІСТІҢ ӘСЕРІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК АНЫҚТАУ

Аңдатпа: Мақалада металлургиялық шлактардың балқымалары арқылы электр тогының тасымалына стационарлы емес энергетикалық әсерлердің тигізетін әсерін анықтау бойынша эксперименталды нәтижелер келтірілген (қазіргі түсініктер бойынша электролиттер). Балқытпалардың тасымалдау қасиеттері тек химиялық құрамы мен температурасына ғана емес, сұйықтықтың құрылымдық ерекшеліктеріне байланысты екені көрсетілген. Қорытпалардың электрөткізгіштігіндегі аномалияларды тек балқымалар құрылымының молекулалық элементтеріндегі бағдарлау әсерлерінің әсерімен және температураның өзгеруі кезінде (молекулалық қозғалыс, молекулааралық химиялық реакциялар және т.б.) балқымаларда физикалық-химиялық өзара әсерлердің әсерімен түсіндіруге болады деген тұжырым жасалды.

Металлургиялық қождар балқымаларының өткізгіштігінің электрондық түрі және бірінші текті фазалық өту кезінде өздігінен электролиттік диссоциацияның болмауы (балқу және еріту кезінде) туралы қорытынды жасалды.

Түйінді сөздер: оксидтердің балқымалары, металлургиялық илактар, электрөткізгіштігі, стационарлық емес энергетикалық әсер ету

Введение

В настоящее время уже не вызывает сомнений, что макроскопическое поведение расплавов (как, впрочем, и водных растворов) во многом определяется их внутренней структурой или, иными словами, микроструктурой. Необходимо отметить, что, несмотря на активные исследования последних лет, сохраняется положение, когда не существует единой (или хотя бы в чем-то сходящейся) точки зрения на механизм и принцип формирования структурных элементов как расплавов, так и водных растворов. Тем не менее можно утверждать, что сам факт влияния микроструктуры на макроскопическое поведение жидких систем находится в противоречии с существующей в настоящее время моделью транспорта электрического тока через растворы и расплавы. Действительно, теория электролитической диссоциации, призванная пояснить механизм транспорта электрического тока через жидкость и, согласно которой, в растворе и расплаве образуются свободные ионы, скорее наоборот говорит о деструктурировании составляющих раствора, нежели об образовании каких-либо более сложных агрегатов. Комплексом исследований нами было установлено, что стационарное энергетическое влияние в конечном итоге приводит к стабилизации системы с достижением статического или динамического равновесия в зависимости от характера энергетического воздействия и его природы. В таком случае анализировать механизм и отдельные ступени физико-химических процессов в реальных системах становится затруднительным. Так, при исследовании электропроводности конденсированных фаз, особенно жидкости, достаточно быстрое достижение псевдоравновесного состояния не дает возможности увидеть всю гамму межмолекулярных и межмолекулярных трансформаций в такой, на первый взгляд, простой системе, как пара электродов-электролит [1-5].

Поэтому нами проводились исследования по особенностям фазовых переходов в жидких расплавах – шлаках медной плавки - под влиянием переменных комбинированных электромагнитных полей.

Мы хотели показать возможность управления электропроводностью жидкости с помощью переменных электромагнитных полей, что дало бы основание сделать вывод об электронном типе проводимости расплавов (электролитов по современным представлениям).

Запланированные эксперименты по исследованию влияния переменных электромагнитных полей на электропроводность и, следовательно, на структурные преобразования [3] «естественных» металлургических оксидно-сульфидных расплавов проводились при температурах выше температуры плавления образцов шлаков. Ниже приводятся некоторые результаты систематических исследований этих расплавов.

Методика эксперимента приведена в [2]. Как ранее нами указывалось, недостатком методики, который пока преодолеть не удастся, является совмещение нагрева, и влияния переменных электромагнитных полей. Эти действия выполняются одним и тем же солеоидом из графита. Поэтому численные значения показаний электропроводности в последующих экспериментальных данных превышают таковые, полученные в условиях обычных экспериментов из-за немедленного смещения компонентов расплава относительно друг друга в начале расплавления металла.

Следует отметить, что пересчет показаний вольтметра измерительной схемы, которые демонстрируют изменение сопротивления расплава на значения электропроводности, приводит к значительному нивелированию показаний, особенно в случае их нестабильности. Поэтому в табличных дан-

ных приведены показания вольтметра наряду с вычисленными значениями электропроводности расплавов.

В таблице 1 приведены данные по электропроводности шлаков «медленного» пирометаллургического процесса – отражательной плавки необоженных медных концентратов Балхашского медьзавода. Как следует из данных таблицы 1, при медленном повышении температуры в интервале 1350-1450°C показания электропроводности отличались существенной нестабильностью и удерживались на уровне 0,21-0,3 Ом⁻¹см⁻¹. При отключении магнитного поля электропроводность увеличивалась скачком до значения 1,37-1,41 Ом⁻¹см⁻¹, т.е. увеличение происходило в 4,5-6,7 раза. Очевидно, что переменные электромагнитные поля вызывали изменения в ориентации надмолекулярных комплексов и уменьшение величины электропроводности расплава. Нестабильность показаний вызывается, очевидно, термическими влияниями на структуру и ориентацию надмолекулярных соединений.

При определении влияния электромагнитных полей на электропроводность рас-

плавов шлака «быстрого» процесса – плавки Ванюкова – балхашских необоженных медных концентратов в жидкой оксидной ванне установлено, что электропроводность шлака плавки Ванюкова значительно отличается по характеристикам от шлака отражательной плавки. Ориентационные эффекты проявляются здесь более ярко. При сравнительно стабильной температуре в интервале 1548-1563°C электропроводность постоянно уменьшалась от начального значения 0,5 Ом⁻¹см⁻¹ до 0,2 Ом⁻¹см⁻¹. При отключении тока на соленоид электропроводность скачком выросла в 23,75 раза. Нестабильность показаний при уменьшении электропроводности под влиянием электромагнитного поля (последовательное уменьшение-увеличение-уменьшение) также более выражена, чем у шлака «медленного» процесса. По данным наших предыдущих исследований (рентгеноструктурный и петрографический анализы) шлаки ПВ имеют более выраженную кристаллическую структуру, чем шлаки отражательной плавки. Что и поясняет большую способность к перемене ориентации под влиянием электромагнитных полей.

Таблица 1 – Влияние электромагнитного поля на электропроводность шлака отражательной плавки БГМК

τ, замера от реперной точки	T, °C	ε, мВ	ε, Ом ⁻¹ см ⁻¹	τ, замера от реперной точки	T, °C	ε, мВ	ε, Ом ⁻¹ см ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8
0	1405	ниже предела шкалы		30 сек	1237	1,22	1,40
1 мин	1416	-»-		45 сек	1218	1,30	1,32
2 мин	1416	6,95	0,25	9 мин	1195	1,40	1,22
15 сек	1426	5,60	0,31	15 сек	1178	1,50	1,14
30 сек	1426	5,75	0,30	30 сек	1162	1,76	0,97
45 сек	1427	6,24	0,27	45 сек	1125	1,90	0,90
3 мин	1429	5,74	0,3	10 мин	1106	2,08	0,82
15 сек	1430	5,86	0,29	15 сек	1093	2,26	0,76
30 сек	1430	5,18	0,33	30 сек	1082	2,47	0,69
35 сек	1433	6,00	0,29	45 сек	1065	2,96	0,58
45 сек	1438	5,76	0,30	11 мин	1052	3,27	0,52
4 мин	1438	6,28	0,27	15 сек	1040	3,43	0,50
15 сек	1436	6,00	0,29	30 сек	1013	4,0	0,43
30 сек	1438	6,15	0,28	45 сек	1001	4,45	0,38
45 сек	1439	6,55	0,26	12 мин	980	5,0	0,34
5 мин	1438	6,91	0,25	15 сек	970	6,11	0,28

1	2	3	4	5	6	7	8
15 сек	1444	6,07	0,28	30 сек	960	6,84	0,25
30 сек	1441	6,40	0,27	45 сек	950	8,55	0,20
45 сек	1442	6,38	0,27	13 мин	930	9,59	0,18
выключено э/м поле				включено э/м поле			
6 мин	1452	1,25	1,37	14 мин	900	ниже уровня шкалы	
15 сек	1453	1,25	1,37	15 мин	875	-»-	
30 сек	1445	1,24	1,38	16 мин	950	-»-	
45 сек	1430	1,25	1,37	17 мин	1091	-»-	
7 мин	1390	1,23	1,39	18 мин	1192	-»-	
15 сек	1369	1,23	1,39	19 мин	1255	-»-	
30 сек	1340	1,23	1,39	45 сек	1284	9,85	0,17
45 сек	1320	1,25	1,37	20 мин	1293	9,16	0,19
8 мин	1300	1,22	1,40	15 сек	1303	8,68	0,20
15 сек	1275	1,22	1,40	30 сек	1320	7,95	0,22
45 сек	1327	7,90	0,22	45 сек	1414	1,24	1,38
21 мин	1328	7,80	0,22	31 мин	1390	1,27	1,35
15 сек	1330	7,74	0,22	15 сек	1366	1,26	1,36
30 сек	1337	7,19	0,24	30 сек	1341	1,25	1,37
45 сек	1346	7,16	0,24	45 сек	1321	1,20	1,43
22 мин	1354	7,27	0,24	32 мин	1303	1,20	1,43
15 сек	1362	7,18	0,24	15 сек	1278	1,22	1,40
30 сек	1362	6,84	0,25	30 сек	1237	1,32	1,30
45 сек	1369	6,80	0,25	45 сек	1221	1,55	1,10
23 мин	1372	6,75	0,25	33 мин	1203	1,69	1,01
15 сек	1380	6,60	0,26	15 сек	1182	1,58	1,10
30 сек	1384	6,72	0,25	30 сек	1147	2,07	0,83
45 сек	1387	6,90	0,25	45 сек	1129	2,26	0,76
24 мин	1390	7,23	0,24	34 мин	1100	2,49	0,69
15 сек	1397	7,10	0,24	15 сек	1090	2,76	0,62
30 сек	1399	7,38	0,23	30 сек	1080	3,40	0,50
45 сек	1404	7,24	0,24	45 сек	1055	3,80	0,45
25 мин	1406	7,80	0,22	35 мин	1050	4,25	0,40
15 сек	1409	7,10	0,24	15 сек	1040	4,75	0,36
30 сек	1413	7,70	0,22	30 сек	1020	5,31	0,32
45 сек	1416	7,14	0,24	45 сек	1010	6,70	0,26
26 мин	1416	7,45	0,24	36 мин	1000	7,57	0,23
15 сек	1416	7,57	0,23	15 сек	980	8,60	0,20
30 сек	1422	7,08	0,24	30 сек	970	9,72	0,18
45 сек	1423	7,60	0,23	45 сек	950	ниже предела шкалы	
27 мин	1426	7,05	0,24	37 мин	940		
15 сек	1429	7,28	0,23	включено э/м поле			
30 сек	1429	6,89	0,25	15 сек	925	ниже предела шкалы	
45 сек	1430	7,23	0,24	38 мин	900		
28 мин	1433	6,92	0,25	39 мин	970		
15 сек	1433	7,15	0,24	40 мин	1090		
30 сек	1435	7,10	0,24	41 мин	1189		
45 сек	1435	6,76	0,25	42 мин	1255		

1	2	3	4	5	6	7	8
29 мин	1436	7,18	0,24	45 сек	1292	9,96	0,17
15 сек	1438	7,00	0,24	43 мин	1300	9,67	0,18
30 сек	1439	6,28	0,27	15 сек	1307	9,20	0,19
45 сек	1445	7,30	0,23	30 сек	1314	8,95	0,19
выключено э/м поле				45 сек	1329	8,75	0,20
30 мин	1452	1,18	1,45	44 мин	1333	8,47	0,20
15 сек	1452	1,21	1,41	15 сек	1337	8,32	0,21
30 сек	1445	1,2	1,43	30 сек	1346	8,12	0,21
45 сек	1348	8,00	0,21	47 мин	1393	7,85	0,22
45 мин	1357	6,90	0,25	15 сек	1401	8,00	0,21
15 сек	1359	8,00	0,21	30 сек	1405	8,05	0,21
30 сек	1371	7,35	0,23	45 сек	1405	8,00	0,21
45 сек	1375	7,80	0,22	выключено э/м поле			
46 мин	1375	7,89	0,22	48 мин	1414	1,29	1,33
15 сек	1383	7,85	0,22	15 сек	1416	1,24	1,38
30 сек	1386	7,38	0,23	30 сек	1413	1,24	1,38
45 сек	1390	7,65	0,22	45 сек	1405	1,26	1,36
				49 мин	1386	1,27	1,35

При исследовании электропроводности шлака шахтной плавки Карсакпайского медно-цинкового завода установлено, что показания электропроводности при 1420°C и несколько более, оказались ниже предела чувствительности шкалы прибора. При отключении тока на соленоид на 10 секунд электропроводность скачком выросла до 0,27 ом¹см⁻¹ и после подачи тока вернулась на прежнюю позицию также скачком. После достижения 1430°C был выключен ток на соленоид, однако электропроводность скачком выросла только до 0,23 ом¹см⁻¹ и затем со значительной скоростью (порядка 0,003 ом¹см⁻¹ в секунду) увеличилась до 0,45 ом¹см⁻¹. После этого электропроводность спонтанно уменьшалась по мере охлаждения расплава. После повторения процедуры нагрева до 1450°C электропроводность также была ниже предела шкалы. После отключения тока на соленоид характер изменения электропроводности отличался от первого измерения. Электропроводность скачком выросла до 0,41 ом¹см⁻¹ и сразу же начала спонтанно снижаться до нулевого значения. Очевидно, что в данном случае наблюдается выраженное структурное преобразование системы под влиянием переменных электромагнитных полей.

Влиянию электромагнитных полей на проводимость шлака шахтной плавки Иртышского медного завода резко отличается от предыдущих данных. Электропроводность также нестабильна, но ее значение при 1472°C очень велико. Характер изменения электропроводности говорит о высокой концентрации проводящих элементов в межэлектродном пространстве измерительной ячейки. Установлено, что концентрация высокопроводящих компонент расплава между электродами может вызвать своеобразное «короткое замыкание» с неоправданно высоким значением электропроводности по сравнению литературными данными.

Выводы

Исследовалось влияние переменных электромагнитных полей на «естественные» оксидно-сульфидные расплавы – шлаки различных медных плавов.

Показано, что аномалии в зависимости электропроводности от температуры для промышленных расплавов аналогичны аномалиям в поведении синтетических оксидных систем. Экспериментально установлено, что наличие ориентационных эффектов может оказывать значительное влияние на измене-

ния электропроводности при изменении температуры. Обнаружен эффект «запирания» электропроводности переменными электромагнитными полями. Показано, что изменения электропроводности по схеме уменьшение-увеличение-уменьшение при сравнительно стабильных температурах характерны и для оксидно-сульфидных расплавов, также как и для синтетических оксидных жидкостей. Показано, что молекулярное движение может вызвать своеобразное «короткое замыкание» электродов измерительной ячейки с неоправданно (по литературным данным) высоким значением проводимости. Как и для синтетических оксидных расплавов для шлаков может быть характерно повышение электропроводности при охлаждении расплава и наличие электропроводности при температурах ниже температуры плавления.

Указанные аномалии можно пояснить только влиянием ориентационных эффектов в надмолекулярных (молекулярных) элементах структуры расплавов и физико-химическими взаимодействиями в расплавах при измене-

нии температуры (молекулярное движение, межмолекулярные химические реакции и т.п.).

Сделан вывод об электронном типе проводимости расплавов металлургических шлаков и отсутствии самопроизвольной электролитической диссоциации (при расплавлении и растворении) при фазовом переходе первого рода.

Аномалии в поведении электропроводности шлаковых расплавов под влиянием переменных электромагнитных полей подтверждают вывод об анизотропии, а, следовательно, о молекулярной структуре проводящих компонент оксидно-сульфидных расплавов, который сделан на основе физико-математического анализа.

Такой вывод имеет далеко идущие практические и научные последствия. Он может служить теоретической базой для расширения арсенала средств практического влияния на механизм и скорость химических реакций, т.е. базой для создания новых технических решений в металлургии и химической технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Утелбаев Б.Т., Сулейменов Э.Н., Утелбаева А.Т. Взаимосвязь энергетических воздействий и формирования структуры веществ. ПУТЬ НАУКИ (ISSN 2311 – 2158). – № 4(4). – 2014. – С. 27 -32.
2. Suleimenov E.N. Microstructure of Electrolytes, Electrolytic Dissociation: Key Issues of Modern Natural Science. Program Book IUPAC – 2015 Busan, 45-th World Chemistry Congress, August 9-14, 2015, Bexco, Busan, Korea. PosterPC 10, P. 53.
3. Утелбаев Б.Т., Маркаев Е.К., Мырзаханов М.М., Сулейменов Э.Н. Изменение структуры жидких систем под влиянием физических воздействий. Scienceandworld. – 2015. – № 8 (24). Vol.I, P. 40 – 45.
4. Красиков С.А., Утелбаев Б.Т., Сулейменов Э.Н. Влияние нестационарного электрического тока на систему оксидный расплав–газовая фаза. Сборник докладов «Первой международной конференции по интеллектоемким технологиями в энергетике (физическая химия и электрохимия расплавленных и твердых электролитов). – Екатеринбург, 2017 г. – С. 377-379.
5. R. Sharipov, M. Myrzakhanov, B. Utelbayev, E. Suleimenov. Organizations of unusual chemical reactions under the influence of unsteady impacts. 6th International Conference on Environment (ICENV 2018) 11-13th December 2018, Malaysia. – P. 122. Cite as: AIP Conference Proceedings 2124, 030015 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5117137>. Published Online: 24 July 2019