

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Кармоковой Риты Юрьевны на тему: «Исследование поверхностных явлений в кавитационных пузырьках в расплаве алюминия», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Проблема получения особо чистых материалов является важной для создания новых микро- и нанотехнологий. Особый практический интерес представляет получение особо чистого алюминия, широко применяемого в современных технологиях создания приборов для микро- и нанoeлектроники. В связи с этим диссертационная работа Кармоковой Р.Ю., посвященная изучению поверхностных явлений в кавитационных пузырьках и процессам сегрегации примеси кавитационными пузырьками в расплаве алюминия при акустическом воздействии на расплав является актуальной. Полученные автором результаты могут быть использованы на практике для повышения эффективности технологических процессов очистки алюминия.

Для ее выполнения Р.Ю. Кармокова выполнила трудоемкое экспериментальное исследование, которое потребовало создание новой экспериментальной установки, тщательной подготовки исследуемых образцов, их исследованию с использованием атомно-силовой микроскопии, растровой электронной микроскопии, рентгеноспектрального анализа и проведен обширный комплекс измерений. Кроме большого объема экспериментальных исследований, построены теоретические модели описывающие термодинамические свойства границ раздела фаз. Судя по согласию полученных ей результатов с данными ранее выполненных исследований, эти результаты вполне достоверны не вызывают сомнений.

Среди наиболее существенных результатов работы считаю нужным выделить:

- проведенный термодинамический расчет зависимости энергии Гиббса от радиуса пузырька, показывает, что при размерах меньших 0,27-0,35 мкм энергия Гиббса имеет отрицательное значение для всех примесей алюминия;
- экспериментально установлено, что на поверхность кавитационных пузырьков сегрегируют примеси содержащиеся в алюминии, также они адсорбируются флюсом, вводимым в расплав;
- построенная теоретическая модель позволяет оценить размер частиц флюса в расплаве в зависимости от температуры и давления.

В качестве замечания хотелось бы отметить типичные для молодых ученых недостатки в формулировании научной новизны: путают процесс (использованные методы исследования, методы оценки и т.п.) и результат исследования, полученный впервые. На основании автореферата я бы сформулировала научную новизну следующим образом:

1. Впервые показано, что акустическое воздействие на расплав алюминия звуковыми волнами с частотами от 1 до 22 кГц и мощностью 400 Вт при температурах от комнатной и до 1300 К способствует перемешиванию солевого флюса с расплавом и возникновению кавитационных пузырьков с радиусом 0,3–3 мкм в тонком пограничном акустическом слое, являющихся эффективными центрами адсорбции примеси (Si, Mg и Zn). Эти поверхностно-активные примеси могут быть удалены из расплава путем введения в расплав адсорбентов или газов.

2. Установлены зависимости радиуса кавитационного пузырька от частоты акустического воздействия и температуры, оценено увеличение температуры внутри кавитационного пузырька с изменением его радиуса в расплаве алюминия.

3. Показано, что с увеличением периода звуковых колебаний и индекса кавитации эквивалентный (усредненный) коэффициент диффузии водорода и магния в расплаве алюминия возрастает в 2,9 раз и 1,43 раз соответственно при значении индекса кавитации 0,3 и частоте 20 кГц.

4. Разработана новая теоретическая модель адсорбции примеси сферическими частицами и кавитационными пузырьками, основанная на применении парного межатомного потенциала Леннарда-Джонса. Построенные согласно этой модели зависимости свободной энергии Гиббса от радиуса кавитационных пузырьков для всех примесей, содержащихся в расплаве алюминия, дают ее положительные значения при радиусах пузырьков 0,27–0,35 мкм.

5. В рамках термодинамического подхода и модели Дебая на основании размерной зависимости поверхностного натяжения кавитационных пузырьков показано, что поверхностное натяжение увеличивается по сравнению с плоской межфазной поверхностью. Это может приводить к усилению процесса адсорбции примеси при малых радиусах кавитационных пузырьков.

Подводя итог, могу заключить, что к защите представлены результаты очень объемного экспериментального исследования, которое было выполнено на высоком методическом уровне и в ходе которого получены результаты, важные как для развития теории межфазных явлений с участием жидких металлов, так и для практики их использования в технологических процессах. Полагаю, что по совокупности диссертационных признаков работа Р.Ю.



Кармоковой полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением №842 Правительства РФ от 24.09.2013, которые предъявляются к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния, а сама Рита Юрьевна Кармокова заслуживает присуждения искомой степени.

Согласна на обработку персональных данных.

Заведующий кафедрой электроники и нанoeлектроники ФГБОУ ВО НИУ МЭИ,  
доктор технических наук

профессор,



Мирошникова И.Н.

Контактная информация

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет МЭИ»

Министерство науки и образования РФ

Адрес: 111250, РФ, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14

Телефон: +7 495 362 71 68

Адрес электронной почты: MiroshnikovaIN@mpei.ru

Подпись Ирины Николаевны Мирошниковой заверяю:

Подпись \_\_\_\_\_  
удостоверяю  
начальник управления по  
работе с персоналом

