

ОТЗЫВ

Официального оппонента о диссертации
Кармоковой Риты Юрьевны
«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

Введение в расплавленный алюминий мощных ультразвуковых колебаний в кристаллизаторе давно используется в аэрокосмической металлургии. Однако по сей день не ясен механизм влияния ультразвуковой обработки (УЗО) в каждом из ее режимов. Исследователи признают, что в первую очередь это влияние сводится к измельчению растущих кристаллов, т.е. к модифицированию сплава, которое происходит в режиме развитой кавитации. При этом «за кадром» остается возможность существенного изменения состояния самого расплава под действием ультразвука. В частности, мало изученными остаются физические процессы и явления, которые происходят в пузырьках, возникающих в кавитационном режиме, под действием акустических колебаний. Это касается термодинамических свойств межфазной границы раздела жидкого алюминиевого расплава с парогазовой фазой внутри кавитационного пузырька, размерной зависимости поверхностного натяжения, процессов взаимодействия имеющихся в расплаве примесей с атомами алюминия и введенными адсорбентами. Целью диссертационного исследования Р.Ю.Кармоковой и является исследование термодинамических свойств кавитационных пузырьков и процесса адсорбции ими примесей. *Актуальность такой работы представляется мне бесспорной.*

Несмотря на то, что в рецензируемой диссертации существенное место занимают расчеты различных физико-химических характеристик, главное ее содержание – это экспериментальные исследования. При участии Р.Ю. Кармоковой создана простая, но весьма производительная установка для введения в алюминиевые расплавы мощных ультразвуковых колебаний

изменяемой частоты и регулируемой амплитуды. Единственным ее недостатком, по мнению оппонента, является контакт рабочего объема с атмосферой, что позволяет расплаву в процессе УЗО поглощать значительное количество газовых примесей. Думается, при продолжении исследований целесообразно предусмотреть возможность вакуумирования рабочего объема и создания в нем различной газовой среды.

Непрозрачность металлических расплавов в оптическом диапазоне не позволила диссертанту осуществить непосредственный контроль за поведением в них газовых пузырьков, включая размеры, концентрации, состав и прочие характеристики. Пытаясь преодолеть эти трудности, Р.Ю.Кармокова использовала ряд современных методов анализа структуры кристаллического металла, в том числе атомно-силовую микроскопию (АСМ), сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) и микрорентгеноспектральный анализ (МРСА). Исследование образцов методом электронной микроскопии осуществлялось на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-570. Элементный анализ выделенных участков образца производился с помощью системы микрозондового анализа Bruker Quantax 200, позволяющей определять содержание практически всех элементов Периодической системы от бора до урана. Освоение методик соответствующих исследований потребовало от диссертанта существенного расширения своей экспериментаторской подготовки. Эта задача Р.Ю.Кармоковой была решена весьма успешно.

Для получения интересующей информации она использовала образцы, вырезанные из затвердевших образцов. При их изучении выяснилось, что на микрорельефе, полученном при обработке СЭМ-микрофотографий, удастся идентифицировать участки, появившиеся на месте кавитационных пузырьков и имеющие близкие к ним размеры и состав. Эта несомненная экспериментаторская удача предопределила успех диссертационного исследования. Таким образом были экспериментально определены перечисленные параметры как в поверхностном слое расплава, прилегающем

к волноводу, так и на произвольном расстоянии от него. Кроме того, применение вышеуказанного комплекса приборов позволило определить локальный состав сплава в различных его точках, что значительно расширило круг решаемых задач. *В итоге получены результаты, достоверность которых у оппонента не вызывает сомнений.*

В числе наиболее ценных из них я бы выделил следующие:

- экспериментальное доказательство того, что с увеличением частоты акустических воздействий уменьшаются средний размер кавитационных пузырьков и расстояние между соседними пузырьками, при этом плотность распределения пузырьков на единицу площади возрастает.
- Зависимости эквивалентного (усредненного) коэффициента диффузии примесей в алюминии и состава межфазной границы «расплав-парогазовая фаза» в кавитационном пузырьке от индекса кавитации и частоты ультразвука, которые могут оказаться полезными при разработке технологических режимов очистки алюминия от примесей.
- Объективное подтверждение интенсификации процессов перемешивания адсорбента с исходным расплавом и сегрегации в нем примесей под влиянием акустических волн.

Наряду с этими достижениями считаю нужным обратить внимание и на некоторые недостатки диссертационной работы Р.Ю.Кармоковой. В том числе:

- Внимание диссертанта сосредоточено на кавитационных пузырьках, возникающих в расплаве в результате его ультразвуковой обработки. Однако известно, что основная часть наиболее популярной и опасной примеси водорода находится в жидком алюминии в виде пузырьков, которые захвачены (окклюдированы) в процессе его производства. В диссертации же на с.35 утверждается буквально следующее: «Процесс адсорбции усложняется и тем, что в жидком металле нет свободных пузырьков газа, а для их появления необходимо приложить дополнительную энергию извне». Между тем эти окклюдированные пузырьки газа являются основным

источником газовой пористости металла после кристаллизации. Хотелось бы пожелать диссертанту в ходе последующей работы рассмотреть взаимодействие таких пузырьков с акустическим полем.

- Из текста диссертации не ясно, в результате чего первоначально очень чистый реактив марки 4N6, содержащий 99.996 ат.% алюминия превращается в набор кристаллических структур с содержанием основного компонента не более 93 ат.% (см. табл.3.2-3.5)? Не означает ли это, что в процессе эксперимента происходит интенсивное загрязнение алюминиевого расплава примесями из атмосферы и деталей установки? Неплохо было бы сравнить химсостав алюминия до и после озвучки, раз она предполагает, что посторонние частицы появляются именно из-за УЗО! (раздел 3.4)

- В разделе 2.5 вначале речь идет о зависимости максимального радиуса пузырька от резонансной частоты. А потом, на рис.2.11 вдруг появляется рассчитанная по вышеприведенным формулам зависимость радиуса пузырька просто от частоты УЗ.? Причем здесь резонанс?

- По рис.3.18 видно, что в результате УЗО размер зерен алюминия многократно возрастает. Выходит, УЗО ухудшает структуру алюминия? Как это согласуется с модифицирующим влиянием УЗО, используемой в промышленном производстве?

Перечисленные недостатки не снижают общего положительного впечатления от диссертации Р.Ю.Кармоковой. Тема диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертационной работы. Ее основные результаты своевременно опубликованы в 17 печатных работах, из которых 4 – в изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук. Получено 1 авторское свидетельство на изобретение. Результаты диссертации прошли достаточную апробацию и были доложены

