

УТВЕРЖДАЮ

врио Директора ИТ СО РАН

чл.-корр. РАН Д.М. Маркович



2017 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе

Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)

Диссертация на соискание степени кандидата физико-математических наук «Кинетика кристаллизации и кавитации расплавов при больших отклонениях от равновесия» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте Теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Пильник Андрей Александрович работал в лаборатории процессов переноса ИТ СО РАН в должности инженера-исследователя. В 2013 г. окончил магистратуру Новосибирского государственного университета по направлению «физика», по специальности «физика кинетических явлений».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника выдана в 2017 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом Теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН).

Научный руководитель – д.ф.-м.н., проф. РАН Чернов Андрей Александрович, ведущий научный сотрудник лаборатории процессов переноса в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Цель работы

Целью работы является теоретическое исследование кинетики кристаллизации и кавитации расплавов при больших отклонениях от равновесия.

Актуальность темы

Известно, что подавляющая часть современных материалов получается кристаллизацией из расплавов. Если не останавливаться на порошковой металлургии и некоторых других технологиях, плавление шихты, ее гомогенизация и последующий переход в твердое состояние - это основной путь. Особое место здесь занимают технологии, в основе которых лежит метод сверхбыстрой закалки из жидкого состояния (это технологии газоплазменного напыления, спиннингование и т. п.). Отличительной особенностью данного метода является быстрый перевод вещества в глубокое метастабильное состояние с последующим интенсивным фазовым переходом. Этот способ позволяет получать перспективные материалы с уникальными физико-химическими свойствами, широко используемые в современной энергетике, технике, микроэлектронике, медицине и т. д., такие как аморфные, нанокристаллические, биоактивные и другие. Так как качество этих материалов напрямую зависит от их морфологии, умение управлять ею служит ключом к созданию материалов с заданными функциональными характеристиками. Поэтому создание последовательной и наиболее строгой теории, в основе которой лежит кинетика фазовых превращений, которая позволила бы все это описать, причем в сильно неравновесных условиях, представляется актуальным.

Помимо исследования процессов кристаллизации работа призвана заполнить некоторые существующие пробелы в теории кавитации расплавов в процессе кристаллизации. Кавитация расплава в процессе кристаллизации ведет к образованию пор и трещин в закристаллизовавшемся материале. Таким образом исследование этого вопроса является чрезвычайно актуальным в задачах создания конструкций и механизмов.

Кроме того, несмотря на значительные усилия, предпринимаемые при исследовании кинетики дегазации пересыщенной жидкости, до сих пор не существует корректной модели, которая позволила бы рассчитать конечное число образующихся в процессе пузырьков, их функцию распределения по размерам, характерное время нуклеации, зависимость объемной концентрации газовой фазы от времени и т. д. Поэтому в большинстве работ нуклеацию пузырьков считают мгновенной, а их число определяют

либо из эксперимента, либо на основе достаточно грубых оценок. Тем самым, исключают из рассмотрения непосредственно стадию зарождения кавитации, ограничиваясь лишь рассмотрением динамики роста пузырьков. В работе предпринята попытка заполнения данного пробела построением теории кавитации пересыщенной жидкости в широком диапазоне режимных параметров процесса как для случая мгновенной декомпрессии, так и для случая декомпрессии с конечной скоростью.

Личный вклад автора

Вклад автора в исследования состоял в получении как точных, так и приближенных решений поставленных задач, проведении численных расчетов, участии в постановке решаемых задач, а также подготовке к печати статей и докладов на конференциях и для публикации в рецензируемых журналах.

Поставлены и решены следующие задачи

Поставлена задача о кристаллизации переохлажденных расплавов. Исследован неравновесный механизм роста кристаллического зародыша в переохлажденном расплаве. Исследована кинетика объемной кристаллизации переохлажденного расплава. Поставлена задача кавитации расплавов в процессе кристаллизации. Исследован механизм кавитации, обусловленный усадкой вещества в процессе затвердевания. Исследована сегрегация растворенного в расплаве газа в процессе кристаллизации. Поставлена задача кавитации высоковязких газонасыщенных расплавов при их быстрой декомпрессии. Исследована динамика роста газовых пузырьков в высоковязких расплавах. Исследована кинетика суммарного превращения в газонасыщенном расплаве, вызванная декомпрессией.

Достоверность полученных результатов

Достоверность полученных результатов была подтверждена сравнением с экспериментальными результатами, наблюдаемыми другими авторами. Также достоверность аналитических результатов подтверждается совпадением полученных решений с решениями других авторов в предельных случаях. Помимо этого достоверность решений подтверждается результатами численного моделирования.

Научная новизна

Найдено новое аналитическое решение задачи роста сферического кристалла при больших отклонениях от равновесия. Исследовано влияние усадки вещества на скорость роста кристалла. Построена замкнутая система интегро-дифференциальных уравнений,

полностью описывающая кинетику объемной кристаллизации переохлажденного расплава. Получено новое аналитическое решение задачи объемной кристаллизации. Впервые построена кинетическая модель кавитации расплава при его объемной кристаллизации, обусловленной усадкой вещества в процессе затвердевания. Впервые получено аналитическое решение задачи о сегрегации растворенного в расплаве газа при его кристаллизации справедливое для больших скоростей роста кристалла и учитывающее усадку вещества. Получено новое интегро-дифференциальное уравнение, описывающее рост пузырька в высоковязкой газонасыщенной жидкости. Получено новое аналитическое решение задачи о нуклеации и росте зародышей кавитации в газонасыщенном магматическом расплаве.

Научная и практическая ценность

Полученные результаты могут быть использованы для предсказания характеристик материалов, получаемых путем кристаллизации сильно переохлажденных расплавов и газонасыщенных расплавов. Это может оказаться полезно специалистам для получения новых материалов. Также, полученные теоретические результаты могут быть использованы как составная часть при решении задач кристаллизации и кавитации произвольных объемов жидкости при произвольных условиях охлаждения или декомпрессии.

Основные публикации автора по материалам диссертации

1. A.A. Chernov, A.A. Pil'nik Melt cavitation at its volumetric crystallization // Int. J. Heat Mass Transfer. 2012. V. 55, № 1-3. (Из перечня ВАК)
2. A.A. Chernov, V.K. Kedrinsky, A.A. Pil'nik Kinetics of gas bubble nucleation and growth in magmatic melt at its rapid decompression // Phys. Fluids. 2014. V. 26, № 11. (Из перечня ВАК)
3. А.А. Чернов, А.А. Пильник Механизм роста кристаллического зародыша в переохлажденном расплаве при больших отклонениях от равновесия // Письма в ЖЭТФ. 2015. Т. 102, № 8. (Из перечня ВАК)
4. A.A. Chernov, A.A. Pil'nik, D.R. Islamov Initial stage of nucleation-mediated crystallization of a supercooled melt // J. Cryst. Growth. 2016. V. 450. (Из перечня ВАК)
5. А.А. Чернов, В.К. Кедринский, М.Н. Давыдов, А.А. Пильник Раскрытие системы трещин – к механизму цикличности бокового извержения вулкана Св. Елены в 1980 г. // ПМТФ. 2016. Т. 57, № 4. (Из перечня ВАК)

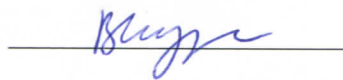
6. А.А. Чернов, А.А. Пильник Процессы кристаллизации и кавитации расплавов при сверхбыстрой закалке из жидкого состояния // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2011. № 2(7).
7. А.А. Чернов, А.А. Пильник Кавитация высоковязкого газонасыщенного расплава // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2012. № 2(10).
8. А.А. Чернов, А.А. Пильник Особенности роста газовых пузырьков в высоковязком магматическом расплаве // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2013. № 1(12).
9. A.A. Chernov, A.A. Pil'nik Kinetics of bulk crystallisation of supercooled melt // J. Phys. Conf. Ser. 2016. V. 754.
10. A.A. Chernov, A.A. Pil'nik, D.R. Islamov Bulk crystallization of supercooled metal films // ECS Transactions. 2017. V. 75, № 30.

Решение о рекомендации работы к защите

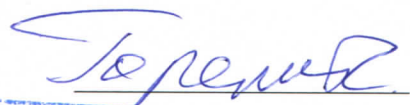
Диссертация «Кинетика кристаллизации и кавитации расплавов при больших отклонениях от равновесия» Пильника Андрея Александровича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заключение принято на заседании семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук под руководством д. ф.-м. н. Кузнецова В.В.

Присутствовало на заседании 45 чел., в том числе 2 члена-корреспондента РАН, 7 докторов и 25 кандидатов наук. Результаты голосования «за» - 45 человек, «против» - нет, «воздерж.» - нет, протокол № 2 от «23» июня 2017 г.



Председатель семинара
Кузнецов В.В., д. ф.-м. н., профессор,
заведующий отделом теплофизики многофазных
систем ИТ СО РАН



Секретарь семинара
Горелик Р. С., к.т.н, с.н.с., лаборатории физико-
химической гидромеханики ИТ СО РАН

