

В квазилинейном приближении (5) дополняется уравнением теории для неравновесного потенциала

$$\frac{\partial}{\partial t} |\Phi_k^{(0)}|^2 = -2\gamma_k |\Phi_k^{(0)}|^2. \quad (6)$$

Уравнения (5), (6) образуют полную систему, решение которой представляет значительные трудности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркеев Б.М. Спектры колебаний слабоионизованной столкновительной плазмы. Вестник МГОУ. Сер. «Физика-Математика», 2013. №3, с. 78-81
2. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы.- Издательский Дом «Интеллект», 2008.- 280 с.

УДК 669.0176: 621.74

Ю.А. Балакин¹, С.Л. Захаров², Х.Б. Юнусов³

¹ФГБОУ, Московский государственный университет технологий и управления (МГУТУ) им. К.Г. Разумовского

²РХТУ им. Д.И. Менделеева.

³Московский государственный областной университет.

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕОРИИ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРОЦЕССЫ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Аннотация: Рассмотрено краткое описание основных положений новой теории внешних воздействий на процессы в конденсированных средах. Основное внимание уделено процессам на границе раздела фаз и сопровождающихся фазовыми переходами в металлах и сплавах. Разработаны новые методы, учитывающие внешние воздействия на эти процессы в жидких и затвердевающих средах. Методом неравновесной термодинамики исследованы малоизученные процессы релаксации и диссипации внешней энергии в расплавах. Впервые выявлена взаимосвязь количества внешней энергии, необходимого для устойчивой кристаллизации единицы объема расплава и структурой металла в твердом состоянии.

Ключевые слова: теория, метод, внешнее воздействие, процесс, термодинамика, кристаллизация, металл.

Yu. Balakin¹, S. Zaharov², Kh. Yunusov³

¹*Moscow State University of Technologies and Management
named after K.G. Razumovskiy.*

²*D.Mendeleev University of Chemical Technology of Russia*

³*Moscow State Regional University*

**THE DEVELOPMENT OF A NEW THEORY
OF EXTERNAL INFLUENCES
ON THE PROCESSES IN CONDENSED MATTER**

Abstract: Brief description of the main provisions of the new theory of external influences on the processes in condensed matter. The main attention is paid to the processes at the phase boundary and associated phase transitions in metals and alloys. Developed new methods that take into account external influences on these processes in liquid and solidified environments. Method of non-equilibrium thermodynamics is investigated insufficiently known processes of relaxation and dissipation of energy in the melt. For the first time revealed the relationship of the amount of external energy required for continuous crystallization of a unit volume of the melt and the metal structure in the solid state.

Keywords: theory, method, external impact, process, thermodynamics, crystallization, metal.

Развитие прогрессивных технологий в металлургии и литейном производстве все более опирается на достижения фундаментальных и прикладных наук, а также применение в производстве методов внешних воздействий (ВнВ) на жидкие и затвердевающие металлы.

Накопленные по этой проблеме массивы теоретических и опытных знаний требуют анализа и синтеза на новом качественном уровне общей концепции ВнВ на различные процессы передела шихты в отливку. Создание наукоемких и энергосберегающих технологий на основе новой теории ВнВ на литейные процессы позволит получить качественную металлопродукцию и успешно конкурировать на рынках сбыта [1].

Целью данной работы является краткое изложение новой теории ВнВ на процессы кристаллизации, диспергирования, рафинирования и высокотемпературной обработки расплавов, а также отражение принципа структурной наследственности в рассматриваемой теоретической концепции.

Авторами творчески развита методическая база описания ВнВ на процессы подготовки расплава и формирования кристаллической структуры литых заготовок. Предложена гамма новых методов на основе синтеза понятий и закономерностей различных фундаментальных наук: термодинамики, статистической физики, механики сплошных сред, физики металлов, металловедения и др. [1, 2, 3].

Разработаны фундаментальные и прикладные представления о влиянии внешней энергии (ВЭ) различных физических полей: акустического,

электрического, магнитного и т.п. на все стадии процесса кристаллизации металлов. Выражаясь языком Л.Д.Ландау, классическая теория кристаллизации металлов «передумана» и модернизирована с учетом ВнВ на процессы в жидких и затвердевающих средах [13].

Таким образом, были получены ответы на основные вопросы теории кристаллизации: как зарождаются и растут кристаллы, каков объем твердой фазы выделяется из расплава и с какой скоростью это происходит при введении в расплав дополнительной ВЭ.

Впервые выявлена взаимосвязь количества ВЭ, необходимого для устойчивой кристаллизации единицы объема расплава и структурой металла в твердом состоянии. В этой закономерности находит отражение явление структурной наследственности в системе «твердое-жидкое-твердое», если рассматривать наследственность в неорганической природе как высший комплекс свойств материи, приобретенный за счет воздействия на нее внешних факторов [6].

На основе синтеза методов квазиравновесной термодинамики и кинетостатики Даламбера авторами впервые получена обобщенная формулировка второго закона Лапласа, учитывающая влияние угла наклона вектора силы ВнВ на поверхностные процессы при гомогенной и гетерогенной кристаллизации металлов [4].

Разработаны оригинальные математические модели (ММ) процесса диспергирования металлов и сплавов под влиянием ВнВ. Расчеты по моделям, на примере вибрационной обработки расплавов показали, что упругие колебания существенно влияют на явление смачивания включений в расплаве, значительно улучшая его, активируя частицы неизоморфные расплаву, интенсифицируя процесс затвердевания и приводя к получению мелко- и супермелкозернистой структуры литых металлов и сплавов [11].

Таким образом, в рамках новой теории нашли подтверждение фундаментальный принцип структурного соответствия Данкова-Конобеевского, известные экспериментальные результаты Добаткина В.Н. и Эскина Г.И., свидетельствуя о достоверности рассматриваемой концепции ВВ [10].

Методом неравновесной термодинамики исследованы малоизученные процессы релаксации и диссипации ВЭ в расплавах. Получены оригинальные фундаментальные соотношения Онсагера и диссипативной функции, характеризующие взаимосвязь релаксации и диссипации ВЭ от единого комплекса физико-химических процессов на границе расплав-зародыш твердой фазы. Это – адсорбция, температура и концентрация жидкого металла на межфазной границе и по мере удаления от нее в расплаве [7].

Теоретические разработки позволили объяснить экспериментально обнаруженное авторами явление влияния вектора вибровозмущающей силы на структуру разных по свойствам металлов и рассчитать парамет-

ры устройства для виброобработки расплавов, защищенное патентом РФ [4, 14].

На основе метода кинестатики Даламбера разработана оригинальная ММ виброрафинирования расплавов. ММ позволяет оценить влияние поверхностных сил на границе раздела газ-расплав-включение, высоты литейной формы и направления в пространстве вектора силы вибрации на процесс всплывания пузырьков газа, флотирующих твердые включения в расплаве. Предложены технологические рекомендации, повышающие технико-экономические показатели вибрационного рафинирования расплавов [1].

Феноменологический метод термодинамики необратимых процессов модернизирован для моделирования параметров высокотемпературной обработки (ВТО) расплавов: температуры перегрева и времени выдержки расплава в перегретом состоянии до его гомогенизации [8, 9].

Проведены расчеты данных параметров для металлов с плотноупакованными структурами кристаллических решеток типа ОЦК, ГЦК и ГПУ в твердом состоянии. Они незначительно отличаются друг от друга, что указывает на вероятно одинаковый механизм данного процесса. Определены технологические рекомендации по ВТО расплавов распространенных в производстве металлов [8].

Выявлена практически полная аналогия выражения критического размера зародыша твердой фазы при кристаллизации расплава и величины твердой частицы при ВТО жидкого металла. Это свидетельствует об отражении известного принципа структурной наследственности в формализме новой теории ВнВ при описании фазовых переходов в металлах и сплавах и, следовательно, о достоверности разработанной теоретической концепции ВнВ на литейные и металлургические процессы [9].

Разработанная теория ВнВ на процессы в конденсированных средах успешно применена для описания процесса модифицирования жаропрочных сплавов на основе никеля, в частности, такими прогрессивными модификаторами как ультрадисперсные порошки карбидов (УДПК), а также комбинированной обработки расплавов сталей вибрацией и модифицированием. Эти факты являются прямым подтверждением истинности положений разработанной теории, т.к. на основе формализма теории и из него непосредственно вытекают практические положения технологии модифицирования и комбинированной обработки расплавов [5].

Основы теории доложены на пятом съезде РАЛ РФ и ряде международных и российских конференций, а также опубликованы в монографии, сборнике статей и в рецензируемых журналах [1, 5].

Таким образом, разработанные теоретические основы ВнВ на процессы в конденсированных средах можно рассматривать как вклад в развитие физической теории конденсированного состояния, в частности жидкости, а также как новое направление в области прикладных наук: теории внепечной обработки металлов и теории литейных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балакин Ю.А. Теоретические основы внешних воздействий на процесс кристаллизации металлов. – М.: Изд-во «Буки Веди», 2014, 148 С.
2. Балакин Ю.А., Гладков М.И., Савченко Е.Г. Теоретические основы внешних воздействий на жидкие и затвердевающие металлы //Труды пятого съезда литейщиков России. - М.: Радуница, 2001, С. 9-12.
3. Балакин Ю.А., Гладков М.И., Чалый Р.М. Кинетика зародышеобразования при внешнем воздействии на кристаллизующийся металл//Труды пятого съезда литейщиков России. - М.: Радуница, 2001, С. 12-14.
4. Балакин Ю.А., Гладков М.И. Влияние направления вибрации на межфазные процессы при кристаллизации металлов// Электromеталлургия стали, №11, 2004, С.17-23.
5. Балакин Ю.А., Гладков М.И. Выбор модификаторов при внешнем воздействии на затвердевающий металл: Сборник статей. - Изд-во: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014, 58 с.
6. Балакин Ю.А., Гладков М.И. О взаимосвязи расхода энергии внешнего воздействия и структуры затвердевающего металла//Металлы РАН, 2001, №3.С.20-25.
7. Балакин Ю.А., Гладков М.И. Термодинамический анализ процессов релаксации и диссипации энергии внешнего воздействия в кристаллизующемся металле //Электromеталлургия, 2012,№1, С. 18-23.
8. Балакин Ю.А., Гладков М.И. Термодинамический анализ высокотемпературной обработки расплавов металлов (часть 1)// Электromеталлургия, №12, 2007.С.27-31.
9. Балакин Ю.А., Гладков М.И. Термодинамический анализ высокотемпературной обработки расплавов металлов (часть 2)// Электromеталлургия, №3,2008, С.28-32.
10. Воздействие мощного ультразвука на межфазную поверхность металлов / О.В. Абрамов, В.Ф. Казанцев, Г.И. Эскин и др.; под ред. В.И. Добаткина. - М.: Наука, 1986. 280 С.
11. Гладков М.И., Балакин Ю.А., Никифоровский В.А. Математическое моделирование процесса диспергирования структуры кристаллизующихся металлов // Литейное производство. – 1990. - № 10. – С. 9.
12. Ландау Л.Ф., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Механика, – М.: Наука, 1965, т.1, с.35.
13. Патент № 2087251 РФ. Способ вибрационной обработки кристаллизующегося металла и устройство для его осуществления / М.И. Гладков, Л.И. Гофеншефер, Ю.А. Балакин и др. Оpubл. в В И № 23. 20.08.97.