

УДК 669.13

Ю. Н. ТАРАН И РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ЭВТЕКТИЧЕСКОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

МАЗУР В. И., *д. т. н., проф.*

Кафедра высокотемпературных материалов и порошковой металлургии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского», пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина, тел. +38(067)108-07-47, e-mail: vmaz@live.ru

Аннотация. Приводятся воспоминания аспиранта профессора К. П. Бунина о совместной работе с Ю. Н. Тараном по исследованию 3D строения эвтектической колонии. Показано развитие представлений от модели «механической смеси» до модели дендритного бикристаллита эвтектических фаз.

Ключевые слова: 3D модель; эвтектическая колония; механическая смесь; дендритный бикристаллит; кристаллизация

Ю. М. ТАРАН І РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ЕВТЕКТИЧНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

МАЗУР В. І., *д. т. н., проф.*

Кафедра високотемпературних матеріалів і порошкової металургії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна, тел. +38(067)108-07-47, e-mail: vmaz@live.ru

Анотация. Наведено спогади аспіранта професора К. П. Бунина про спільну роботу з Ю. М.Тараном із дослідження 3D будови евтектичної колонії. Показано розвиток уявлень від моделі «механічної суміші» до моделі дендритного бікристаліту евтектичних фаз.

Ключові слова: 3D модель; евтектична колонія; механічна суміш; дендритний бікристаліт; кристалізація

Yu.N. TARAN AND DEVELOPMENT OF THE THEORY OF EUTECTIC SOLIDIFICATION

MAZUR V.I., *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

Department of The High Temperature Materials and Powder Metallurgy, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Peremogy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine, tel. +38(067) 108-07-47, e-mail: vmaz@live.ru

Abstract. The memoirs of the graduate student of professor K.P. Bunin about the joint work with Ju.N. Taran on the study of the 3D structure of the eutectic colony are given. The development of the view from model eutectic as the mechanical mixture to the model of the dendritic bicrystallite of the eutectic phase is presented.

Keywords: 3D model; eutectic colony; mechanical mixture; dendritic bicrystallite; cristallization

Ю. Н. Таран принадлежит к той генерации ученых, которой суждено побуждать коллег пересматривать свои устоявшиеся представления. Это относится, прежде всего, к представлению об эвтектиках как о механических смесях. В годы начала серьезной научной деятельности Ю. Н. Тарана (1950–1960) эвтектика описывалась как чередование частичек различных кристаллов. При этом подчеркивалась уникальная мелкозернистость эвтектических сплавов. В связи с установлением изотермического характера процесса эвтектической кристаллизации (а так кристаллизуются и чистые компоненты, и химические соединения, плавящиеся конгруэнтно) встал вопрос о физической природе

эвтектики. Именно к этому периоду развития металлографии «на основе очевидного» сформировалось суждение об эвтектике как о «механической смеси мельчайших кристалликов двух фаз».

Профессор Н. М. Витторф в учебнике «Теория сплавов» (1907) так описал обоснование этой модели: «Ponsot показал при помощи микроскопа, что криогидраты $KMnO_4$ и $K_2Cr_2O_7$ содержат кристаллы этих солей, а Offer нашел, что теплоты растворения в воде криогидратов и механических смесей того же состава одинаковы, т. е. и те и другие в энергетическом отношении тождественны. После того как явления замерзания солевых растворов были

поняты, Гутри в 1884 г. установил *верное отношение* и к эвтектическим сплавам металлов; *с тех пор взгляд на эвтектику как на очень тонкую механическую смесь постепенно завоевывал себе права гражданства и в настоящее время (1907 г.) может считаться общепризнанным*» (курсив – авт.).

Однако сегодня этот взгляд не выдерживает критики, прежде всего, по термодинамическим соображениям.

Действительно, поскольку Offer изготавливал тонкодисперсную смесь кристалликов эвтектических фаз путем дробления в ступке сравнительно больших кусков этих же фаз и последующим смешиванием полученных двух различных однофазных порошков, в результате он получил развитую двухфазную поверхность раздела, на которой физико-химические явления происходили точно так же, как и на поверхности раздела этих же фаз в эвтектическом криогидрате, полученном замерзанием водного раствора. Отсюда понятна энергетическая тождественность этих двух объектов исследования. Но поскольку в этом изящном опыте были взяты в качестве компонентов не взаимодействующие фазы, которые составили бы истинную механическую смесь, а фазы с эвтектическим типом взаимодействия, суждение экспериментатора, которому в то время не было известно явление контактного плавления, об эвтектике как о механической смеси было ошибочным.

В дальнейшем Гевелингом было высказано предположение об эвтектике как об особом химсоединении (1932–1936), но оно не получило поддержки и в настоящее время всеми забыто.

В первых исследованиях К. П. Бунина отбеленных и белых чугунов высказано сомнение в справедливости подхода к эвтектике как к механической смеси. Благодаря тщательному разработанному методикам химического и теплового травления К. П. Бунин с учениками показал монокристалльность цементитной матрицы ледебурита в пределах одной колонии. Модель механической смеси явно не годилась для эвтектики белых чугунов.

В диссертационных работах первых аспирантов К. П. Бунина – Я. В. Гречного и Я. Н. Малиночки – обосновывалось представление об эвтектике белых чугунов как о монокристалльной (в пределах колонии) цементитной матрице с распределенными в ней изолированными включениями аустенитной фазы. По мнению авторов, эти включения зарождались, росли и выклинивались на фронте двухфазного парного, кооперативного роста обеих фаз. Появилось представление о мультиплицированном (множественном) зарождении аустенита...

По сравнению с моделью механической смеси эта модель являлась серьезным шагом вперед в теории эвтектической кристаллизации, поскольку давала возможность применить известные закономерности **зарождения** кристаллов к расчету и регулированию

технологических параметров в производственных условиях литья прокатных валов.

Вместе с тем в довоенных (1932–1935) работах А. А. Бочвара в результате изучения органических (т. е. прозрачных для светового микроскопа) эвтектик была обоснована еще одна структурная модель эвтектики. По данным автора, собственно эвтектический рост начинается после столкновения двух довольно крупных кристаллов обеих эвтектических фаз. При этом образовывались перемежающиеся отростки пластинок или стержней этих двух фаз, причем линейная скорость их роста увеличивалась на порядок. Налицо был эффект кооперативного, парного роста.

Эта модель была известна, но на протяжении 25 лет не использовалась. Отдельные участки ледебурита, демонстрировавшие бесспорную непрерывность аустенитной фазы от зарождения до конца кристаллизации, рассматривались как локальное нарушение установившегося двухфазного роста с мультиплицированным зарождением и во внимание не принимались.

Кризис жанра разразился после того, как кто-то из днепропетровских ученых привез из заграникомандировки довольно толстую пачку экземпляров статьи М. Хиллerta и Х. Штангайзер, «заимствованных» из солидного научного журнала «Jerncontorets Annaler» (1960). Статья изобиловала схемами пространственного роста отдельных участков ледебурита. Как потом стало ясно, эти схемы были во многом наивными, но все они демонстрировали непрерывность эвтектических фаз в ледебурите на протяжении всего периода эвтектической кристаллизации.

Для К. П. Бунина это стало бесспорным сигналом для организации широких исследований эвтектической кристаллизации. По времени это совпало с окончанием его работы в Институте черной металлургии в должности завотделом металловедения и назначением по его рекомендации на эту должность Ю. Н. Тарана.

Для организации исследований К. П. Бунин выделил Ю. Н. Тарану выпускников, поступивших в 1963–1964 годах в аспирантуру, как в Днепропетровском металлургическом институте, так и в Институте черной металлургии. В их число попал и автор этих строк.

Основным методом исследования стал стереометрический микроанализ, заключающийся в изготовлении десятков, а иногда и сотен последовательных переполровок одного и того же места шлифа с контролируемой толщиной удаляемого слоя. По результатам сопоставления последовательных сечений строились пространственные модели эвтектической колонии. Этот метод стереомикроанализа, разработанный в бунинском коллективе, гарантировал адекватность любой структурной модели. Вкладом Ю. Н. Тарана в эту методику стала привязка плоскостей разреза к кристаллографическим осям базовой фазы –

цементита. Эта методика позволила, в частности, обосновать призматическую модель кристаллической решетки цементита и отказаться от ее конкурента – октаэдрической модели.

Первоначально К. П. Бунин поручил мне разобраться со всеми, включая тонкие, структурными изменениями в белом чугуна при его модифицировании. Первые же опыты, проведенные мной под руководством Ю. Н. Тарана, показали безнадежность этой работы: мы не знали пространственного строения отдельных характерных зон колонии в норме, т. е. в не модифицированном сплаве. Пришлось по совету К. П. Бунина разбираться с нормой. Для начала изготовили объект исследования. В литейном цехе Южного горно-обогатительного комбината (ЮГОК) в дуговой электропечи выплавили из долота ударно-канатного бурения скважин и графита опытный сплав, который был залит в литейную земляную форму в полу цеха. Масса плавки составляла около 600 кг. После заливки расплава в жидкую ванну погрузил связку кварцевых трубок диаметром 80...100 мм. Затем все засыпали земляной смесью. Через два дня откопали. Сплав был еще горячим. После охлаждения ударами кувалды выбили содержимое кварцевых трубок. В усадочных раковинах образовались огромные восхитительные серебристые кристаллы цементита, частично или полностью обросшие слоем эвтектики. Литейный люд двинул за сувенирами: «детям покажем», но основная часть бесценного сплава была спасена для науки.

Большие кристаллы цементита с декантированной поверхностью имели ясно видимые и без микроскопа структурные признаки кристаллографических направлений, обусловленные анизотропией скорости роста и дислокационной субструктурой. Лауэ-анализ, проведенный В. И. Новиком, подтвердил это. Поскольку колонии имели размер в несколько сантиметров, их было удобно разрезать вдоль главных кристаллографических направлений и на взаимно перпендикулярных сечениях делать последовательные сошлифовки. Это обеспечивало исключительную надежность идентификации структурных картин.

В ходе исследований оказалось, что участки эвтектики, сформировавшиеся на гранях кристалла с различными кристаллографическими индексами, имеют существенно отличную микро- и макроморфологию. Это побудило меня предложить ввести понятие о секториальном росте колонии. Ю. Н. Таран привлек к этому представлению о пирамидах роста Бекке, и в результате получился чрезвычайно интересный и новый продукт – стереометрическая (или, по-новому, – 3D) модель колонии ледебурита. Эта модель попала в монографию К. П. Бунина, Я. Н. Малиночки и Ю. Н. Тарана «Основы металлографии чугуна» (1969), а оттуда – в учебник «Металлография»

Б. Г. Лифшица на то место, где в предыдущем издании размещалась модель ледебурита Я. Н. Малиночки.

По прошествии 40 лет мы с А. В. Мазуром, продолжая работать над термодинамикой ледебурита по данным дифференциальной сканирующей калориметрии, послали в журнал «Acta Scandinavica» статью, в которой приводилась уже модернизированная версия 3D модели ледебурита. Как водится, получили отзыв рецензента, в котором, в частности, было замечание, что авторы недостаточно осветили историю вопроса. Стиль отзыва показался мне знакомым и я в ответе указал, что фундаментальные работы в этом направлении были сделаны Хиллертом и Штангайзер. Статья была опубликована в следующем номере.

Примерно в это же время Ю. Н. Таран передал мне памятную медаль им. А. Ледебура (Technische Universitat Bergakademie, Freiberg, Germany) – за исследования ледебурита. Так замкнулось пространственно-временное кольцо признания нового метода исследования стереометрии эвтектической колонии и новой структурной модели эвтектики. По такой методике были исследованы десятки систем с эвтектическим равновесием. Было установлено, что основным методом управления структурообразованием является контроль не процесса мультиплицированного зарождения, а процесса кооперативного роста фаз. Результатом были защиты кандидатских и докторских диссертаций, сотни научных статей.

Можно с уверенностью сказать, что дерзкий план К. П. Бунина образца 1962–1964 годов по организации работ по фундаментальным исследованиям закономерностей структурообразования в эвтектических системах с целью выяснения общих закономерностей многофазной кристаллизации в эвтектической части выполнен. Львиная доля заслуги в успехе этой титанической работы коллектива бунинской школы несомненно принадлежит Ю. Н. Тарану.

Вывод: эвтектика в общем случае есть двухфазный дендритный кристаллит (для бинарной системы) с взаимно проросшими ветвями. Конкретная микро- и макроструктура определяется кристаллохимией фаз (формы роста) и кинетикой кристаллизации (геометрические размеры и возможные метастабильные фазы).

В заключение приведу пару цитат:

1. Из выступления одного из молодых руководителей академической науки на защите студенческих дипломов в КПИ: «эвтектика – это механическая смесь. Газоэвтектика? Не слышал».

2. Большой энциклопедический политехнический словарь (интернет-ресурс): «Эвтектика – тонкая смесь кристаллов...».

Информационный разрыв между поколениями. Кто, как и когда его восполнит?