



Т р у д ы
Одесского политехнического
университета

**Научный
и производственно-практический сборник
по техническим и естественным наукам**

Вып.2 (26). 2006

Одесса

Министерство образования и науки Украины
Одесский государственный политехнический университет

Труды

ОДЕССКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный и производственно-практический
сборник

Вып. 2(26)

2006

Одесса

Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. — Одесса, 2006. — Вып. 2(26). — 282 с. — Яз. рус., укр.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Малахов В.П. — гл. редактор, *Кострова Г.В.* — зам. гл. редактора, *Плескач Л.О.* — отв. секретарь, *Баранов П.Е.*, *Дащенко А.Ф.*, *Дубковский В.А.*, *Куценко А.Н.*, *Пуйло Г.В.*, *Алексеева Л.А.*, *Ефрюшина Н.П.*, *Кожухарь В.Я.*, *Кругляк Ю.А.*, *Куншенко Б.В.*, *Новохатский И.А.*, *Бельтюков Е.А.*, *Продюс И.П.*, *Соколенко В.Н.*, *Харичков С.К.*, *Гончарук Г.И.*

Сборник основан в 1996 году, зарегистрирован в Министерстве Украины по делам печати и информации 5 декабря 1996 года, свидетельство серии КВ № 2380

Печатается по решению Ученого совета Одесского государственного политехнического университета, протокол № 2 от 24.10.2006 г.

Компьютерную версию опубликованных материалов можно получить по адресу:
<http://www.ospu.odessa.ua>

<i>М.В. Полякова, В.Н. Крылов.</i> Иерархическое сигнально-семантическое преобразование в пространстве обобщенных функций для задачи сегментации изображений.....	161
<i>Ю.Д. Иванов, О.С. Захарова.</i> Алгоритм синтеза инфимумных дизъюнктивных нормальных форм логических функций	167
<i>В.М. Николаенко, О.В. Николаенко, А.Ю. Венедиктов.</i> Представление экспериментальных характеристик преобразователей параметров плазмы методом ломаной кривой.....	173
<i>А.А. Левченко, И.В. Шарипова.</i> Алгоритм интегральной коррекции погрешности измерительных каналов автоматизированных измерительных комплексов.....	178
<i>О.Б. Папковская, А.Б. Козин, Диого Камара.</i> Построение и исследование решения задачи антисимметричного изгиба ортотропной полосовой пластины, подкрепленной жесткой опорой.....	181
<i>А.В. Королев.</i> Исследование температурного напора и кривой кипения с помощью индикатора.....	186
<i>А.Г. Бутенко, А. В. Силин.</i> Исследование гидродинамики газового потока в U-образном канале с искусственной циркуляцией.....	189
<i>Л.В. Прокопович.</i> Дендриты: полемика продолжается.....	193

ХИМИЯ. ХИМТЕХНОЛОГИЯ

<i>Е.А. Стрельцова, О.Г. Травкова, В.А. Егорцева.</i> Пенообразующие свойства растворов индивидуальных и бинарных смесей анионных и неионогенных поверхностно-активных веществ.....	199
<i>С.В. Бельтюкова, Е.О. Витюкова, А.В. Егорова.</i> Люминесцентное определение пероксида водорода в водах фармацевтических предприятий.....	203
<i>В.Г. Михайленко, О.В. Антонов.</i> Застосування двоокисносвинцевого покриття для отримання біполярних електродів	208

ЭКОНОМИКА

<i>К.І. Ткач.</i> Методологічні засади аналізу економічного змісту державної власності в інфраструктурних галузях.....	214
<i>О.В. Нікішина.</i> Вплив цінових чинників на розвиток зернового ринку України	220
<i>И.А. Усова, Е.Н. Гончаренко.</i> Организационно-экономический механизм реализации инвестиционных проектов на предприятиях, занимающихся внешнеэкономической деятельностью	226
<i>А.А. Дубинов.</i> Государственное финансирование инновационной деятельности в Украине	231
<i>С.Г. Ажнакін.</i> Економічні чинники покращення стану безпеки України в енергетичній галузі	234
<i>А.Г. Гончарук.</i> Методичний підхід щодо аналізу ефективності у промисловості.....	239
<i>О.І. Продіус.</i> Пріоритетні напрямки формування високотехнологічної структури промислового виробництва в Україні.....	245
<i>С.В. Філіппова, С.О. Черкасова.</i> Багаторівнева система забезпечення конкурентоспроможності промислових підприємств	250

УДК 521.312.1

Л.В. Прокопович, канд. техн. наук, доц., Одес.
нац. политехн. ун-т

ДЕНДРИТЫ: ПОЛЕМИКА ПРОДОЛЖАЕТСЯ

*Л.В. Прокопович. Дендрити: полеміка три-
вас.* Аналізуються проблеми, пов'язані з дослі-
дженням причин і умов зародження й росту денд-
ритних кристалів у мінералах і металах. Ставиться
питання про необхідність уточнення термінології.

*L. V. Prokopovich. Dendrites: The Polemics go
on.* The problems linked with causes and conditions of
crystals nucleation and growth in minerals and metals
are analyzed. The question of necessity in terminology
accurate definition is raised.

В металловедении и кристаллографии трудно найти проблемы более спорные, чем вопро-
сы о дендритах. Наиболее полемичными считаются причины дендритной кристаллизации ста-
ли, самородных металлов и различных соединений. Мнения ученых — кристаллографов, мине-
ралогов, химиков и металлургов — настолько расходятся, что в 30-х годах XX столетия даже
была составлена специальная международная “Анкета о дендритах”, на вопросы которой уче-
ным предлагалось ответить [1].

Не вызывает разночтений лишь этимология слова “дендрит” от греч. *dendron* — дерево. Но
единого мнения об условиях и причинах роста дендритов до сих пор нет. Более того, нет даже
единого их определения.

Вот только некоторые определения дендритов.

1. *Дендриты* — минеральные агрегаты (иногда кристаллы) древовидной формы. образу-
ются в результате быстрой кристаллизации по тонким трещинам или в вязкой среде. Характе-
рны для самородных элементов (Au, Ag, Cu), окислов марганца, льда и др. [2].

2. Основной единицей структуры первичной кристаллизации металла является зерно, ха-
рактеризуемое единой системой ориентации атомно-кристаллической решетки и определенны-
ми границами, отделяющими его от соседних зерен. В простейших случаях такое зерно не име-
ет внутренней структуры и обладает округлыми границами. Однако часто в зерне при травле-
нии выявляются системы осей, располагающиеся под определенными углами друг к другу. Та-
кое зерно называется *дендритом*. В нем выделяются главные оси первого порядка, перекрещи-
вающиеся с ними оси второго порядка и оси третьего порядка. Оси более высоких порядков не
выявляются [3].

3. *Дендриты* — это двумерные кристаллы типа тонких ледяных узоров на стекле, которые
отлагались в тончайших порах и трещинах камня в условиях “голодного питания” из медленно
просачивающихся растворов [1].

4. *Дендрит* — скелетный кристалл или агрегат сросшихся
скелетных кристаллов древовидной формы [4, 5].

Вероятно, причина столь разных определений кроется в том,
что в них описываются явления, разные по сути и своей природе.

Об этом свидетельствует уже сама внешняя форма денд-
ритов. Ведь дендриты, встречающиеся в минералах и самород-
ках, очень не похожи на дендриты литых металлов. Именно
потому непохожи, что образуются по-разному.

Так, растекаясь по трещинам в кварце или халцедоне,
водные окислы железа или марганца кристаллизуются в при-
чудливые “веточки” или “кораллы”, а раствор зеленого хлори-
та — в “заросли мха”, образуя удивительный минерал — мо-
ховый агат (рис. 1). Подобные дендриты встречаются не толь-
ко в агатах, но и в родоните, яшмах, сланцах (рис. 2). Денд-
ритные формы самородных металлов, очевидно, образуются
также в результате растекания расплава по трещинам в земле
или породе (рис. 3).



Рис. 1. Моховой агат (из личной
коллекции автора)

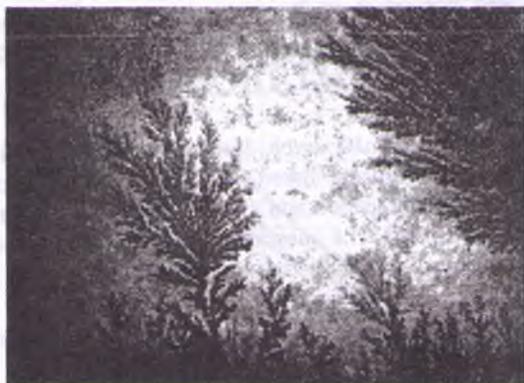


Рис. 2. Забайкальский сланец с прожилками мanganита. Московский геологический музей им. В.И.Вернадского



Рис. 3. Самородок золота

Другими словами, форма дендритов минералов и самородных металлов обусловлена формой трещин, которые они заполняют. А поскольку образование трещин (или других подобных каналов) имеет случайный, вероятностный характер, то и “ветвистость” данных дендритов имеет форму произвольную, если не сказать “фантазийную”.

Совсем иная картина наблюдается в строении дендритов литых металлов. Они имеют строго определенную форму (рис. 4). Из чего следует, что образуются они по строгим законам, которые, к тому же, гораздо сложнее, чем простое заполнение заранее заданного пространства трещин, газовых пор и других естественных каналов. Именно ввиду своей сложности эти законы остаются не до конца установленными и изученными.

Поэтому металловеды, в отличие от минералогов, более осторожны в определениях. В литературе (справочной, научной, учебной) по металловедению, металлургии, литейному производству трудно найти точное определение дендрита. Авторы, как правило, ограничиваются сведением о том, что это — древовидный кристалл [6]. Иногда, опуская подробные описания, приводят схематическое изображение дендрита, предложенное еще Д.К.Черновым (рис. 5) [7]. Рассуждения же об условиях, причинах и механизме роста дендритов выносятся за рамки определения и часто сопровождаются оговорками “по-видимому”, “вероятно” и т.д.

Например, есть предположение, что “если на боковой поверхности растущего кристалла возникает бугорок, то кристалл приобретает способность расти и в боковом направлении. В результате образуется древовидный кристалл, так называемый дендрит... Дендриты состоят из многих тысяч или миллионов зерен... В объеме одного дендрита эти зерна имеют, по-видимому, близкую ориентировку” [7].

По другой версии, дендриты зарождаются благодаря примесям, содержащимся в металле. Но и здесь мнения ученых расходятся. Одни считают, что роль зародышей играют нерастворимые примеси [8]. Другие столь же убедительно доказывают, что причиной роста дендритов являются



Рис. 4. Дендриты на поверхности алюминия (из личной коллекции автора)

растворимые примеси, снижающие термическое переохлаждение в результате ликвации их на межфазной границе [9]. Третьи осторожно замечают, что “дендритные оси, сравнительно чистые от растворенных элементов, нередко содержат окисные включения. Силикаты и алюмосиликаты находятся либо в дендритах, либо в непосредственной близости от них. Однако неизвестно, служили ли эти включения зародышами при кристаллизации или были задержаны дендритными разветвлениями. В случае области столбчатых кристаллов приемлемой кажется последняя гипотеза” [10].

Некоторые ученые рассматривают дендриты как искаженную форму кубических и других кристаллов, характерных для металлов, и объясняют их образование высокой скоростью отвода теплоты от отливки и большого переохлаждения сплава [8]. Правда, образование дендритов в усадочных раковинах описывают так: “Особенность процесса формирования... последнего кристалла состоит в том, что он протекает в разреженной атмосфере усадочной раковины, газовое давление в которой определяется лишь количеством газа, выделившегося в раковину из металла. Последний кристалл растет, практически не испытывая сопротивления соседних с ним кристаллов. Впервые за весь период затвердевания отливки создаются условия для образования макрокристаллов, у которых наружные очертания дендритов — макрозерен имеют весьма развитую внешнюю поверхность” [8].

Здесь видится явное противоречие, требующее уточнений: если дендрит растет в столь благоприятных условиях, почему он вырастает искаженным? Или, все-таки, это не искаженный кристалл? И можно ли в таком случае дендриты в монолите металла называть искаженными кристаллами?

Эти вопросы, казалось бы, исчезают, если дендриты рассматривать как переходную форму, т.е. когда при малых скоростях охлаждения наблюдаются глобулярные или округлые кристаллы; с увеличением скорости форма кристаллов становится неправильной, крестообразной; при дальнейшем ускорении охлаждения возникают более четкие дендритные формы с более тонкими осями и меньшими расстояниями между ними; и, наконец, при самых больших скоростях оси второго и третьего порядка не образуются, а кристаллизуются игольчатые формы [3, 10, 11, 12].

Но в этом случае возникают другие вопросы. Например, почему, чем больше размеры отливок, тем больше и разветвленней в их усадочных раковинах вырастают дендриты? Ведь, по идее, чем больше отливка, тем медленнее она остывает, и тем меньше причин для роста таких “переходных” кристаллов. Только ли в лучшей подпитке здесь дело?

Кроме того, что считать моментом перехода от ячеистой структуры к дендритной? Судя по литературе, это зависит лишь от принятой терминологии, причем единого мнения и здесь не наблюдается. Одни авторы относят структуру к дендритной, когда рост происходит в определенном кристаллографическом направлении или близком к нему, другие считают структуру дендритной только в том случае, когда в ней можно различить вторичные ветви [11].

Как бы там ни было, но гораздо важнее понять, почему и как образуются вторичные ветви. Есть гипотеза, что они образуются потому, что близкая к параболической форма поверхности раздела у вершины ячейки становится неустойчивой из-за концентрационного переохлаждения. Эта ситуация может выражаться зависимостью от $G/R^{1/2}$, где G — градиент температуры вблизи вершины ячейки; R — скорость перемещения поверхности раздела [13]. В количественные оценки роста дендритов включались также капиллярный эффект, различные кинетические коэффициенты и даже предположение о том, что дендритный рост вообще не нуждается в стационарном режиме [11, 14]. Но весь этот математический аппарат плохо согласуется с экспериментальными данными, и поэтому любая теория рассматривается как приближенная.

Нет единого мнения и о причинах укрупнения дендритов. Существует, как минимум, три модели, описывающие это явление, каждая из которых время от времени то подтверждается, то опровергается [11].

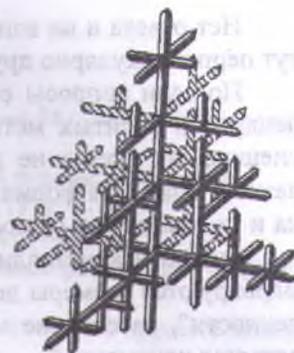


Рис. 5. Схема дендрита
Д.К. Чернова

Нет ответа и на вопрос, почему оси дендрита растут перпендикулярно друг другу.

Но если вопросы о причинах и механизме роста дендритов в литых металлах остаются спорными, то внешняя их форма не дает оснований для споров и разночтений. Эта форма известна, она всегда постоянна и не зависит ни от состава сплава, ни от температуры заливки и кристаллизации, ни от других условий. Варьируются размеры дендритов, степень их “разветвленности”, расстояние между осями, но общая схема остается неизменной.

Другое дело, что сомнение вызывает само слово “дендрит” по отношению к этим кристаллам. Ведь, как уже отмечалось, их форма мало похожа на древовидную. Разве что на форму ели, как в немецком варианте этого термина — Tannenbaumkristalle — елочные кристаллы [15]. И уж конечно, они мало похожи на те кристаллы, которые называются дендритами в минералогии (см. рисунки 1, 2, 3, 6 и 4).

Так или иначе, но ситуация, когда одним термином обозначены разные явления, процессы или объекты, вряд ли идет на пользу науке. Говоря о дендритах, надо заметить, что этот термин существует и в медицине, где обозначает ветвящийся отросток нервной клетки. Но и в рамках одной только кристаллографии такая ситуация нередко приводит к путанице и ошибкам. Например, в довольно авторитетном издании толкование слова “дендрит” сопровождается фотографией, на которой изображен древовидный самородок золота, с подписью “Дендрит золота” [16]. Неточность этой подписи очевидна. А сколько еще таких неточностей (замеченных и незамеченных) “проскакивает” в научной литературе?

Кроме того, недостаточная проработка терминологии порождает целый ряд псевдотерминов, сопровождающихся оговоркой “так называемые”: так называемые небоскребные кристаллы [9], мальтийский крест [11] и т.д. Можно даже встретить такие словосочетания, как “столбчатые дендриты” и “древовидные дендриты” [12].

Приметой последнего времени стало широкое использование термина “кластер”. И первичные кристаллы, образующиеся в затвердевающем металле, все чаще именуются кластерами [17], а не зародышами, флуктуациями, первичными дендритами и пр.

Вероятно, для решения этой проблемы необходимо терминологически отделить древовидные кристаллы в минералах от дендритов в литых металлах. Может быть, следует подыскать другие, более точные термины или более прочно закрепить уже используемые.

Возможно, что с более строгим разделением терминологии произойдет и более объективное разделение явлений, наблюдаемых в минералах, самородных металлах, кристаллах льда и литых металлах. А это, в свою очередь, позволит по-другому взглянуть и на механизмы их образования, исключить попытки объяснить эти процессы в литых металлах процессами, характерными для минералов в природе. А если и проводить какие-то аналогии (что довольно часто встречается в природе), то не смешивать их и не упрощать (как, например, пресловутая планетарная модель атома Резерфорда).

Итак, несмотря на то, что многие вопросы относительно механизмов зарождения и роста дендритов остаются открытыми, появляются новые. Например, нужно ли пересматривать “дендритную” терминологию и, следовательно, уточнять определение этого явления в металловедении? Если да, то как именно? Можно ли предположить, что разветвленные кристаллы в литых металлах — это не искаженные или недоразвитые, а, наоборот, совершенные (учитывая их свойства) кристаллы?

Вопросов, по-прежнему, больше, чем ответов. Poleмика продолжается.

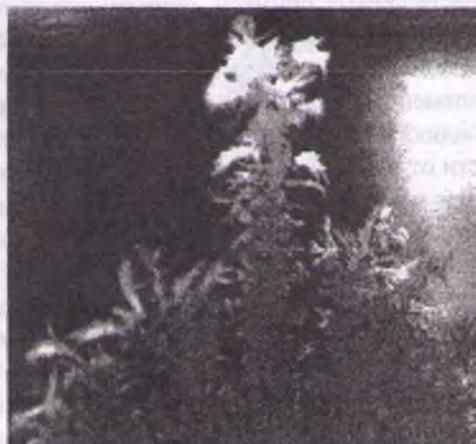


Рис. 6. Кристаллы льда в виде морозных узоров на стекле

Литература

1. Супрычев В.А. Самоцветы. — К.: Наук. думка, 1980. — 215 с.
2. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. — М.: Сов. энциклопедия, 1984. — 1600 с.
3. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1976. — 216 с.
4. Здорик Т.Б. Приоткрой малахитовую шкатулку. — М.: Просвещение, 1979. — 255 с.
5. Соболевский В.И. Замечательные минералы. — М.: Просвещение, 1983. — 191 с.
6. Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству. — М.: Машиностроение, 1990. — 384 с.
7. Гуляев А.П. Металловедение. — М.: Металлургия, 1978. — 647 с.
8. Куманин И.Б. Вопросы теории литейных процессов. Формирование отливок в процессе затвердевания и охлаждения сплава. — М.: Машиностроение, 1976. — 216 с.
9. Оно А. Затвердевание металлов: Пер. с англ. — М.: Металлургия, 1980. — 152 с.
10. Металлография железа: Справ. изд. В 3-х тт. Т. 3. Кристаллизация и деформация сталей (с атласом микрофотографий): Пер. с англ. — М.: Металлургия, 1972. — 236 с.
11. Флемингс М. Процессы затвердевания: Пер. с англ. — М.: Мир, 1977. — 423 с.
12. Теоретические основы литейной технологии / Руков. авт. кол. А. Ветишка. Пер. с чешск. — К.: Вища шк., 1981. — 320 с.
13. Langford G. Diffusion Solidification / Langford G., Apelian D. // Journal of metals. — 1980. — Vol. 9/ — P. 28 — 33.
14. Chalmers V. Principles of Solidification // J.Wiley. — New York, 1964. — P. 75 — 84/
15. Беккерт М. Мир металла: Пер. с нем. — М.: Мир, 1980. — 152 с.
16. Политехнический словарь / Редкол.: А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. — М.: Большая Рос. энцикл., 1998. — 656 с.
17. Скребцов А.М. Затвердевание и свойства литейных сплавов: Учеб. пособие. — Мариуполь: ПГТУ, 2004. — 204 с.

Поступила в редакцию 1 сентября 2006 г.

Труды
ОДЕССКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный и производственно-практический
сборник

Вып. 2(26). 2006

Машиностроение. Технология металлов.
Материаловедение

Энергетика. Теплотехника. Электротехника

Компьютерные и информационные сети и системы.
Автоматизация производства

Электроника. Радиотехника. Средства телекоммуникаций

Проблемы фундаментальных и прикладных наук

Химия. Химтехнология

Экономика

Высшее образование

Редакторы

Кострова Г.В.

Мозель Л.Н.

Плескач Л.О.

Компьютерная верстка

Прокопович И.В.

Адрес редакции: Украина,
65044, Одесса-44,
просп. Шевченко, 1,
ОГПУ, комн. 313

Сдано в набор 30.10.2006. Подписано в печать 14.11.2006. Ризографическое издание. Бумага
КУМ СОРУ. Формат 60×88/8. Тираж 300 экз. Цена договорная. Усл.-печ. л. 35,3

Издательство и типография "ТЭС" (Свидетельство ДК № 771)
Одесса, ул. Канатная, 81/2. Тел. 429098