

УДК 532.78:539.186.3

КВАЗИ-КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСПЛАВОВ

© 2019 г. В. В. Павлов^{а,*}, А. М. Амдур^а, С. А. Федоров^б^аФГБОУ ВО “Уральский Государственный Горный Университет”, Екатеринбург, Россия^бИнститут металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*e-mail: pavlov405@rambler.ru

Поступила в редакцию 25.04.2019 г.

После доработки 14.05.2019 г.

Принята к публикации 27.05.2019 г.

В металлургии давно применяют перегрев жидкого металла выше определенной “температуры гомогенизации” T_0 , чтобы получить затем более мелкокристаллический слиток и улучшенные механические свойства металла. В интервале между температурой плавления $T_{пл}$ и T_0 эвтектические расплавы в ряде случаев рассеивают излучение (рентгеновское, электронное, γ -лучи) как смесь областей почти чистых компонентов, выше T_0 – как гомогенная однородная жидкость. Ниже T_0 ряд расплавов поддаются частичному расслоению при центрифугировании и отстаивании. Так, в расплаве Pb–Sn тяжелый свинец (с более высокой удельной массой) тонет, а олово всплывает со скоростью порядка 3 см/ч. По формуле Стокса с такой скоростью движутся включения размером порядка нескольких микрон. Высказано предположение, что при плавлении могут сохраняться зерна поликристаллического сплава, которые разрушаются лишь при температуре гомогенизации T_0 .

Ключевые слова: зернистая структура, сохранение зерен в расплаве, структурное взаимодействие, гомогенизация расплава.

DOI: 10.1134/S0235010619060100

ВВЕДЕНИЕ

В металлургии давно и успешно применяются такие воздействия на жидкий металл, которые позволяют получить при последующей кристаллизации более мелкозернистый слиток с улучшенными механическими свойствами. При последовательном анализе методами традиционной теории получается, что такие воздействия на жидкий металл не должны давать какого-либо результата; в неофициальных беседах иногда говорят, что эти приемы *противоречат физике*. Поэтому периодически вспыхивают острые споры физиков и металлургов; правильнее говорить о дискуссиях теоретиков и экспериментаторов, эти дискуссии имеют уже давнюю историю.

Максвелловское время релаксации $\tau = \eta/G$ атомарной структуры расплава (перехода в равновесное состояние) имеет величину порядка периода колебания атома τ_0 , например, 10^{-13} с, так как вязкость η составляет примерно 10^{-4} Па · с, а модуль сдвига G около 10^9 Па [1]. Поэтому в жидком металле почти мгновенно происходит смена локальных конфигураций, в том числе и быстрый распад *возмущений*, вызванных воздействиями даже гидродинамического масштаба. Между тем опыт свидетельствует о длительной *памяти* расплава о таких влияниях и даже о его *наследственности*. Ряд таких явлений становятся понятными, если допустить, что при расплавлении в каком-то виде могут сохраняться зерна кристаллического образца, и затем восстанавливаться при обратной кристаллизации.

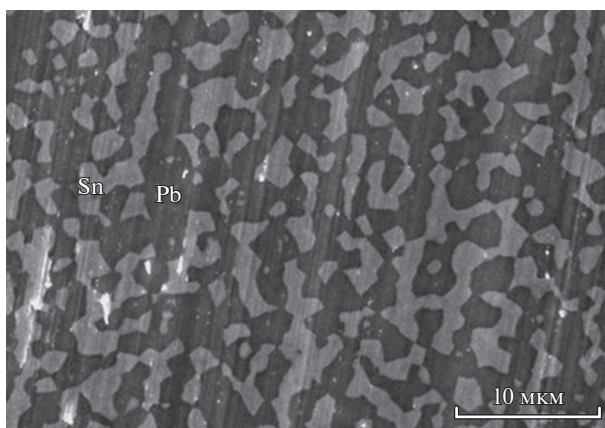


Рис. 1. Структура твердого металла, полученного после отстаивания расплава 60Sn + 40Pb (мас. %) [2]. Зерна имеют размер порядка нескольких микрон; они вытянуты по вертикали, в направлении всплывания олова.

ДАННЫЕ В ПОЛЬЗУ ЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ РАСПЛАВОВ

Центрифугирование и отстаивание “гомогенных” расплавов. Около 1970 г. прошла дискуссия по результатам центрифугирования жидкого чугуна в экспериментах Самарина—Вертмана. В результате центрифугирования оказалась повышенной концентрация легкого углерода в одном конце ампулы, и уменьшенной в другом. Из условия седиментационного равновесия был сделан вывод, что в жидком чугуне сохраняются *колони* атомов углерода, или микронеоднородности расплава, содержащие от нескольких сотен до нескольких тысяч атомов, что соответствует включениям с радиусом порядка 1 нм.

Сейчас подобное изменение концентраций многократно получено уже и при простой выдержке вертикальной трубки с расплавом, то есть при отстаивании расплава (как в бутылке молока). Так, в работе [2] выдерживали в течение часа при 200°C расплав Sn—Pb (40%) в трубке длиной 20 см. Концентрация тяжелого (с более высокой удельной массой) свинца повысилась внизу на 8%, а легкого олова — вверх на 8%. “Центр тяжести” олова повышался за час примерно на 3 см; частицы олова “всплывали” со средней скоростью 3 см/ч или $8 \cdot 10^{-6}$ м/с. По формуле Стокса:

$$V = \frac{(2\Delta\rho g R^2)}{9\eta}$$

такая скорость движения достигается при радиусе включения $R = 1.1$ мкм, так как разность плотности $\Delta\rho$ свинца и олова составляет $6 \cdot 10^3$ кг/м³, вязкость расплава $\eta = 2 \cdot 10^{-3}$ Па · с.

Таким образом, недостаточно предполагать, что микронеоднородности расплава имеют радиус порядка 1 нм. В этом случае скорость всплывания включений получится на 6 порядков величины меньше реальной. Для согласия с опытом по скорости изменения концентраций требуется более радикальное допущение; нужно предположить, что при плавлении эвтектики в жидкости могут сохраняться объемы или зерна компонентов размером порядка микрон ($R = 1.1$ мкм). Это соответствует размеру малых зерен или толщине пластинок твердой эвтектики. На рис. 1 видно, что зерна твердой эвтектики, полученной после отстаивания расплава, действительно имеют величину порядка нескольких микрон. Видимо, при плавлении и кристаллизации могут сохраняться и как-то переходить из одного состояния в другое целые зерна.

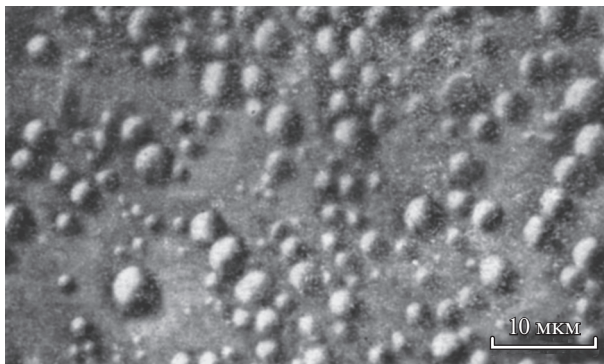


Рис. 2. Капельки молочного жира в молоке размером от менее 1 до 5 микрон и меньше.

Получается, что центрифугирование и отстаивание расплавов подобно соответственно сепарированию и отстаиванию молока. Молоко содержит капельки молочного жира в основном размером 2–5 мкм, т.е. примерно такие же, как и зерна эвтектики, рис. 2. При отстаивании, например, в течение дня, много жира оказывается сверху. К сожалению, нет фотографий зернистой структуры расплава эвтектики, подобных фотографий молока, рис. 2. Такая фотография дала бы исчерпывающий ответ на обсуждаемые вопросы. Сейчас о зернистой структуре расплава приходится судить лишь по структуре тех слитков, которые получают после кристаллизации. Результаты воздействий на расплав часто незаметны на самом расплаве, проявляются лишь по результатам кристаллизации. Однако по данным [4, 10] на растровой фотографии свежесформированная поверхность жидкого галлия выглядит как зернистый излом поликристалла. Можно, видимо, визуальнo наблюдать зерна расплава.

Наследственность, память расплава, потоковая обработка. Давно известно, что после расплавления крупнозернистого слитка и обратной кристаллизации расплава снова получается крупнозернистый слиток; при такой же переплавке мелкозернистого металла снова получается мелкозернистая структура. Такие явления металлурги называют наследственностью и широко их используют. Применяется, например, измельчение зерна исходного твердого металла перед переплавкой путем специальной термообработки. В результате после переплавки получается мелкозернистая структура и, соответственно, улучшенные механические свойства металла. “Наследуются” при переплавке и такие тонкие особенности структуры, как розеточная или кустовая форма выделений графита в чугунах [3]. Если мы принимаем, что при плавлении и кристаллизации сохраняются зерна металла, то такие явления наследственности вполне понятны.

Ультразвуковая обработка расплава. В металлургии широко применяется воздействие ультразвуком на расплавы. Мощный ультразвук вызывает акустическую кавитацию жидкого металла. Если нет ультразвуковой обработки, то при плавлении и обратной кристаллизации наследуется общий вид исходной зернистой структуры. Если применяется ультразвуковая обработка, то после переплавки зерно твердого сплава получается измельченным во много раз, рис. 3. Очевидно, ультразвук дробит, измельчает зерна расплава, которые затем в процессе кристаллизации превращаются в зерна твердого металла. В твердом состоянии подобное измельчение зерна происходит при глубокой интенсивной ковке слитка. Подобное действие вызывает и “озвучивание” расплава колебаниями звуковой частоты. Цикл таких работ выполнен Пастуховым Э.А.

Деформация зерен при течении расплава. При прокатке зерна твердого металла вытягиваются в направлении прокатки, рис. 4а при глубокой вытяжке проволоки получа-

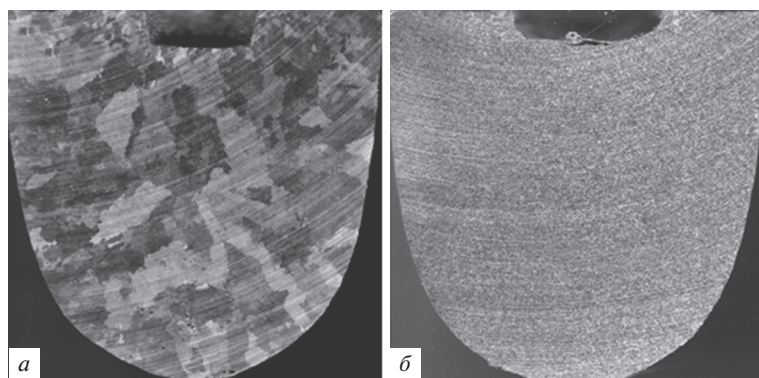


Рис. 3. Крупнозернистая исходная структура (а) и мелкозернистая после ультразвуковой обработки (б).

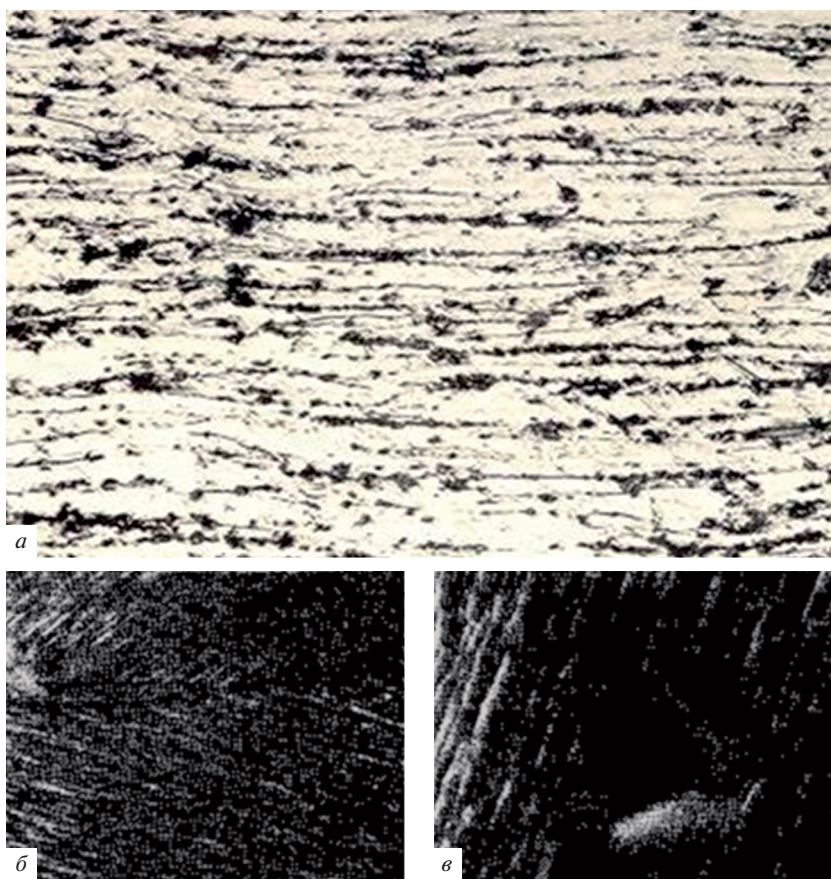


Рис. 4. Текстуры вытянутых зерен металла. Текстура (а) получена прокаткой твердого металла, текстуры (б) и (в) – втеканием расплава в трубку [4].

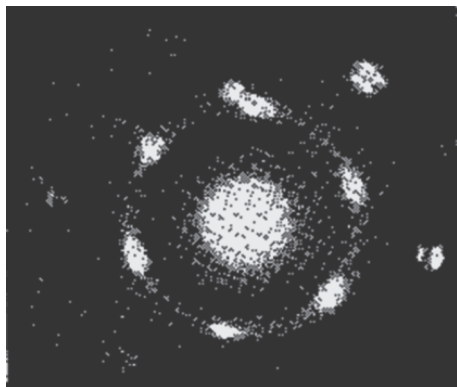


Рис. 5. “Монокристаллическая” лауэграмма с рефлексами от пленки жидкого индия, температура 350°C, [4]. Каждый рефлекс соответствует определенной кристаллографической плоскости.

ется текстура зерен, вытянутых по оси проволоки. Микрообъемы расплава подобным образом растягиваются при втекании расплава в трубку и при течении внутри трубки. Если в расплаве сохраняются зерна, то можно ожидать образование текстуры вытянутых зерен в жидкости, втекавшей в трубку, и закристаллизовавшейся там. Такие опыты были выполнены Майбородой В.П. и сотрудниками [4, 10]. Действительно, после затвердевания в трубке, в которую втекал расплав, образовалась такая текстура вытянутых зерен, рис. 4. Течение жидкого металла может дать качественно такое же изменение формы зерен будущего слитка, как и подобная деформация твердого металла. Аналогично при ультразвуковой обработке расплава зерна измельчаются качественно так же, как и при подобной деформации твердого металла при интенсивной ковке.

Дифракционные данные. Рентгенография и электронография эвтектических расплавов показали, что они рассеивают излучение как смесь областей почти чистых компонентов. Обширный материал получен методами γ -спектроскопии Попелем П.С. и сотрудниками, рис. 7. Микрорасслоение расплавов подтверждается дифракционными методами. Однако эти методы обычно не позволяют судить о размере областей чистых компонентов в расплаве.

Некоторые электронные микроскопы позволяют работать с очень узким пучком излучения размером, например, порядка 0.1 мкм. Если в расплаве сохраняются зерна размером в несколько микрон, то можно получить всю электронограмму от одного зерна.

На рис. 5 представлена “монокристаллическая” электронограмма с шестью основными рефлексами, полученная Майбородой В.П. и сотрудниками от пленки жидкого индия при 350°C. Подобные электронограммы с рефлексами дают твердые гексагональные кристаллы индия с шестью гранями. Каждый такой рефлекс является “зайчиком отражения” электронного луча от одной из шести кристаллографических плоскостей или граней кристалла. Электронограмма расплава показала, что зерно расплава размером, например, 1 мкм сохраняет (в несколько размытом виде) элементы гексагональной структуры, анизотропии, элементы дальнего порядка. Электронограмма показала также, что такие гексагональные зерна в жидком металле имеет размер не меньше диаметра пучка излучения электронного микроскопа, например, 1 мкм.

Ряд таких электронограмм получен также от островковой пленки жидкого олова на подложке углерода [4], в интервале 450–700°C; это на сотни градусов выше точки плавления олова (232°C). Здесь жидкое олово также дает электронограммы, подобные

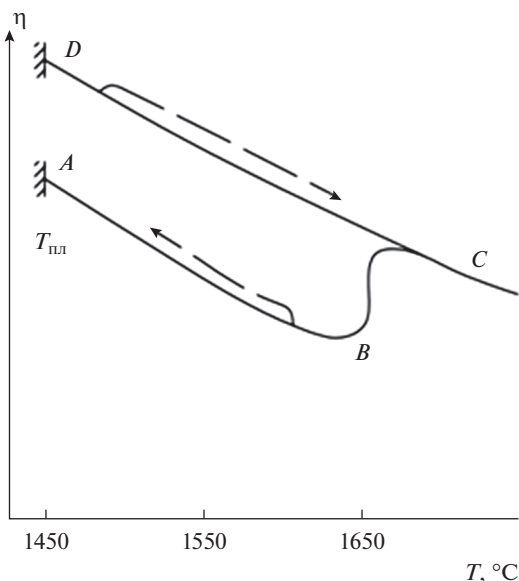


Рис. 6. Схема ветвления политерм вязкости сплавов на основе железа [3].

такowym для монокристаллов олова, но более размытые. Можно предполагать, что в пределах зерна жидкости сохраняются какие-то элементы дальнего порядка и анизотропия. Обсуждаемая электронограмма расплава в интервале от 450 до 700 $^\circ\text{C}$ свидетельствует о том, что вся облучаемая поверхность жидкого олова рассеивает излучение как одно зерно, как “квазимонокристалл”, правда, с несколько размытой структурой. Если бы под электронный пучок попало N зерен, то число рефлексов возросло бы в N раз.

Ряд подобных электронограмм с рефлексамии получили Ю.И. Масленников и С.И. Попель от расплавов систем Pb–Sn и Bi–Sb. В литературе можно найти много таких данных. Но такие результаты исследований структуры противоречат современной идеологии, поэтому они либо не привлекают внимания, либо рассматриваются как “непонятные, странные” и др.

“ПОЛИМОРФНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ” В ЖИДКОЙ СТАЛИ И ЕЕ ТЕРМОВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА (ТВО)

Рассмотрим подробнее споры по термовременной обработке жидкой стали (ТВО). Давно отмечено, что политерма вязкости жидкой стали около температуры 1650 $^\circ\text{C}$ претерпевает “излом” или “скачок”, рис. 6. Здесь наблюдается ветвление политерм вязкости, а также некоторых других свойств расплава [3]. Н.А. Ватолин и Э.А. Пастухов обнаружили здесь изменение рентгенограммы жидкого металла, то есть интенсивную перестройку структуры в узком интервале температуры в несколько десятков градусов [5]. Такие изменения структуры, сопровождающиеся значительными изменениями свойств, обычно считаются доказательством структурного превращения или фазового перехода. Перегрев жидкой стали выше 1650 $^\circ\text{C}$ (ТВО) приводит к более мелкозернистой структуре слитков и улучшенным механическим свойствам металла. Ранее подобное влияние перегрева выше определенной температуры констатировано при литье. По данным [3], ТВО применяется при выплавке 70 марок стали на десятках заводов страны, а также в производстве многих алюминиевых сплавов, чугунов,

аморфизирующихся расплавов и др. Обычно после ТВО получается более мелкозернистый слиток и значительно повышается пластичность металла (например, на 30%).

Однако “полиморфное превращение” в расплаве противоречит традиционной теории, поэтому вспыхнули острые дискуссии. Журнал “Известия вузов. Черная металлургия” в течение 1985 г. опубликовал целый ряд статей за и против этого превращения. Победили теоретики; в результате экспериментаторы на 10–15 лет *спрятали подальше свои рентгенограммы и политермы*. Даже в опытных данных по аномалиям вязкости в большинстве на какое-то время оказались те экспериментаторы, которые не находили этих аномалий в области перехода. Авторы обобщающей книги [7] приводят 7 групп исследователей, обнаруживающих аномалии, и 8 групп, по данным которых аномалии не выявляются или почти не выявляются. Видимо, аномалии отчетливо видны при измерениях вязкости в вискозиметре Швидковского, методом крутильных колебаний, при мягких воздействиях на расплав. При жестких механических воздействиях в вибрационном вискозиметре, как и при ультразвуковой обработке, зерна разрушаются, и аномалии незаметны.

Но на заводах по-прежнему применяли ТВО, и публикации в пользу этого приема постепенно возобновились. Однако всячески смягчалась терминология, *чтобы не возвращаться к бесплодным дискуссиям с противниками этих методов среди физиков*. Вместо “скачка вязкости” говорили лишь об “аномалии” на ее политерме, вместо “полиморфного превращения” в расплаве говорили лишь о некоем “изменении структуры”, и др. Однако это чисто словесные смягчения.

Прошло также много местных и малоизвестных споров по этим темам [6]. Другие дискуссии теоретиков и экспериментаторов развивались примерно по той же схеме. Нередко на конференциях МиШР экспериментаторы сообщали все новые данные, например, об особенностях политерм и изотерм, тогда как в соседней теоретической секции той же конференции одно упоминание о таких эффектах вызывало недоумение, резкое неодобрение или же “длительное трудное замешательство”. Общение двух секций конференции по этой теме начиналось в виде вспышки споров. Обычно теоретикам удавалось найти недостатки в объяснениях полученных данных, или даже поставить под сомнение сами эти данные, так что на какое-то время такие результаты даже переставали публиковать. Но постепенно такие публикации возобновлялись. Говорят, что экспериментаторы *открывают* обсуждаемые явления, а теоретики их *закрывают*, как несовместимые с теорией.

Гомогенизация расплава. Пленка жидкого олова, изученная в [4], в интервале 232–700°C дает “монокристаллическую” электронограмму (рис. 5), свидетельствующую о сохранении зерен. При перегреве выше 700°C “кристаллические” рефлексы размываются; на электронограмме при 700°C появляется тусклое “гало”, характерное для однородного жидкого олова [4]. Здесь происходит, видимо, гомогенизация, разрушение зерен жидкого олова. В опытах Попеля П.С. подобная гомогенизация двухкомпонентных сплавов Sn–Pb наблюдалась, по данным γ -спектроскопии, при перегреве на 50–300°C над линией ликвидуса, рис. 7. Ниже температуры гомогенизации расплав рассеивает излучение как смесь областей почти чистых компонентов, выше этой температуры – как гомогенный раствор. Рентгенограммы жидкой стали около 1650°C [5] также позволяют интерпретировать проходящее здесь превращение (ТВО) как гомогенизацию.

После гомогенизации кристаллизация расплава становится более медленной и трудной. Увеличивается переохлаждение расплава, получается слиток с измельченным зерном и, соответственно, с улучшенными механическими свойствами металла. При гомогенизации происходит, очевидно, разрушение зерен расплава, и после этого при кристаллизации требуется уже не простое преобразование имеющихся зерен расплава в зерна поликристалла, но более трудное зарождение новых зерен в “безструктурной” жидкости.

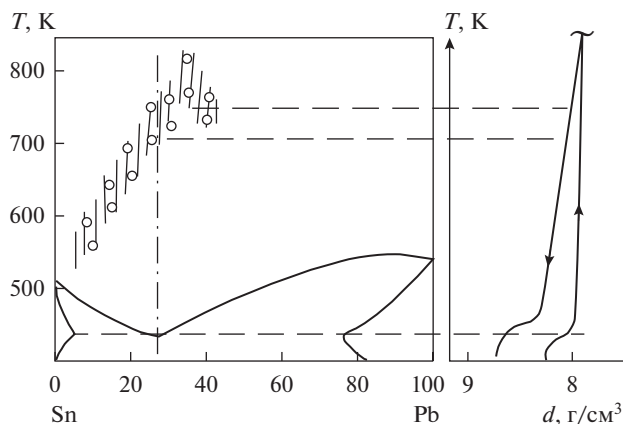


Рис. 7. Область гомогенизации расплава (заштрихована), перехода “эвтектической” микронеоднородной структуры расплава в однородную. Справа – ветвление политермы плотности в эвтектическом расплаве Sn–Pb по данным γ -спектроскопии (данные Полея П.С. и сотрудников).

Плавление в таких случаях становится как бы двустадийным; в точке плавления теряется механическая прочность, но сохраняются элементы зернистой структуры и анизотропии, которые исчезают лишь при гомогенизации, при перегреве на десятки или сотни градусов. Такое плавление сплавов напоминает двустадийное плавление в системах с жидкими кристаллами (ЖК). В точке плавления кристаллическое вещество превращается в жидкокристаллическое, сохраняющее элементы анизотропии, которое гомогенизируется лишь при перегреве, в “точке просветления” T_0 [9]. При охлаждении ниже точки просветления “нормальная” гомогенная прозрачная жидкость мутнеет, что свидетельствует о появлении неоднородностей, включений размером не меньше длины волны видимого света (0.4–0.7 мкм).

Жидкие кристаллы, как разупорядоченные системы в одном измерении, также вызвали острые споры [9]. Известные еще с 19 в., ЖК привлекли внимание лишь в последние десятилетия, когда на их основе стали изготавливать табло, дисплеи, ЖК-телевизоры, и др. Под действием небольшого внешнего электрического поля зерна ЖК быстро изменяют ориентацию осей (“решетки”, и, соответственно, цвет и степень прозрачности. В точке просветления (гомогенизации) ЖК зафиксирован небольшой тепловой эффект превращения [9], который пока не удастся выявить для гомогенизации сплавов.

Гомогенизация ЖК при перегреве выше точки просветления T_0 является обратимой, его зерна восстанавливаются при охлаждении ниже T_0 . Наоборот, гомогенизация зернистой структуры расплавов оказывается необратимой; эту структуру можно восстановить лишь в кристаллическом состоянии, после новой кристаллизации и обратного расплавления. Видимо, зерна ЖК термодинамически стабильны, зернистая структура расплавов метастабильна.

СТАБИЛЬНОСТЬ АТОМАРНЫХ СТРУКТУР КАК СЛЕДСТВИЕ КВАНТОВОГО ВЫМОРАЖИВАНИЯ АТОМАРНЫХ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ

Известно, что при уплотнении системы атомов-шариков получается плотнейшая шаровая упаковка, структура типа ГЦК или ГПУ. Обычно этот процесс отождествляют с кристаллизацией, с установлением дальнего порядка, образованием прочной кристаллической решетки. Считается, что “кристалл подобен толпе, плотно сжатой в

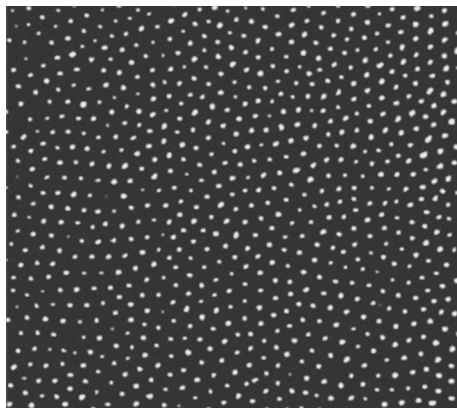


Рис. 8. Разреженный “пылевой кристалл” [8]. Образующие кристалл пылинки располагаются на больших расстояниях порядка 10^1 – 10^2 мкм друг от друга.

закрытом помещении” (Я.И. Френкель). “Структурными взаимодействиями”, ответственными за устойчивость структуры и ее вид, в традиционной теории является короткодействующее отталкивание атомов-шариков. Но в неплотной и неупорядоченной структуре такое отталкивание не может поддерживать стабильность больших анизотропных зерен структуры расплава, которые содержат, например, по 10^{10} атомов. Поэтому традиционная теория не может признать такую зернистую структуру расплава; отсюда обсуждаемые споры теоретиков и экспериментаторов. По фактам дальнего действия в расплавах также прошли острые дискуссии [6]. Неуплотненная и неупорядоченная система сферических частиц вообще не может иметь какой-либо прочности, жесткости структуры. Поэтому данные о металлических стеклах [1] также вызывали “недоумение”. Впервые металлическое стекло было получено впервые в советскими учеными Сали и Мирошниченко и независимо несколько позже 1960 г. группой профессора Дювеза; при этом в первой публикации Дювез включил в соавторы и своего аспиранта Клименти, случайно воспроизведшего целенаправленный “советский” эксперимент и на авторов которого они сослались, отдав приоритет Сали и Мирошниченко.

В [6] обосновывается следующее положение: устойчивость кристаллических решеток является следствием атомарных квантовых эффектов, а не отталкивания атомов-шариков. Согласно теориям теплоемкости Эйнштейна и Дебая, в кристалле значительна (10–100%) доля α_0 “вымороженных” атомов, то есть атомов, пребывающих на нулевом энергетическом уровне. Для смещения “вымороженного” атома из узла решетки его необходимо возбудить, перевести с нулевого хотя бы на 1-й энергетический уровень, необходимо “разморозить” его. Методом молекулярной динамики показано, что в системе с “вымороженными” атомами получается разумное значение энергии активации E диффузии аргона, то есть разумная жесткость структуры кристалла [6]. Решетка стабильна, атомы “почти неподвижны” вследствие квантовых запретов, а не потому, что они “плотно сжаты”. В последнее время получены пылевые кристаллы [8] (рис. 8), в которых пылинки располагаются далеко друг от друга, на расстояниях 10^2 – 10^3 мкм.

При плавлении интенсивность квантовых эффектов и доля “вымороженных” атомов намного убывает; соответственно, стабильность структуры также резко уменьшается, но не становится нулевой. Далее, квантовые запреты являются дальнедействующими. Так, не может быть двух атомов-фермионов с одинаковыми квантовыми числами

ми в пределах всей системы, сколь бы большой не была система. Поэтому в обсуждаемой модели [6] в жидкости возможны, видимо, упорядоченные структуры большого размера, с некоторой стабильностью, с элементами дальнего порядка, например, зерна размером в несколько микрон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены данные, свидетельствующие о сохранении зерен поликристалла в расплаве. Это противоречит традиционной теории жидкости, поэтому такие данные вызывают острые споры между теоретиками и экспериментаторами. Высказано предположение, что стабильность атомарных структур обусловлена не тем, что атомы-шарики “плотно сжаты”, а квантовым “вымораживанием” атомарных степеней свободы, поэтому в жидкости также возможна некоторая стабильность зерен размером в несколько микрон.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-29-24081.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бражкин В. В. Где находится область сверхкритического флюида на фазовой диаграмме? // УФН. 2012. **182**. № 11. С. 1137–1156.
2. Углев Н. П., Углев С. Н. Сверхтекучесть на межфазной границе жидкого металла и твердого тела // Конденсированные среды и межфазные границы. 2014. **16**. № 4. С. 503–512.
3. Баум Б. А., Хасин Г. А., Тягунов Г. В. Жидкая сталь. М.: Металлургия. 1984.
4. Майборода В. П. Поточковая обработка жидких металлов // Украинский физический журн. 1991. № 6. С. 68–71.
5. Ватолин Н. А., Пастухов Э. А. Дифракционные исследования строения высоко-температурных расплавов. М.: Наука. 1980.
6. Павлов В. В. Кризис классической кинетической теории. Екатеринбург: УГГУ, 2018.
7. Островский О. И., Григорян В. А., Вишкарев А. Ф. Свойства металлических расплавов. М.: Металлургия, 1988.
8. Фортов В. Е. Пылевая плазма // УФН. 2004. **174**. С. 495–544.
9. Шувалов Л. А. Современная кристаллография. Т. 4. М.: Наука, 1981.
10. Майборода В. П. Влияние потоковой обработки расплава на структуру алюминия, никеля и меди // Расплавы. 1991. № 3. С. 115–117.

The Quasi-Crystalline Properties of Metallic Melts

V. V. Pavlov¹, A. M. Amdur¹, S. A. Fedorov²

¹*Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia*

²*Institute of Metallurgy, Ural Branch, Russian Academy of Science, Yekaterinburg, Russia*

In metallurgy, liquid metal overheating has long been used above a certain “homogenization temperature” T_0 , to then obtain a more fine-grained bullion and improved mechanical properties of the metal. In the range between the melting point T_M and T_0 , the eutectic melts, in some cases, diffuse radiation (X-ray, electronic, γ -rays) as a mixture of areas of almost pure components, the above T_0 is as homogeneous liquid. Below T_0 , the number of melts are amenable to partial separation during centrifugation and sedimentation. So, in the melt Pb-Sn heavy lead (with a higher specific gravity) sinks, and the tin floats at a speed of about 3 cm/h. According to the Stokes formula, inclusions of several microns in size move at such a speed. It is suggested that the melting may retain grains of polycrystalline alloy, which are destroyed only at a temperature of homogenization T_0 .

Keywords: granular structure, conserving of grains in the melt, structural interaction, homogenization of the melt

REFERENCES

1. Brazhkin V.V. Gde nakhoditsya oblast' sverkhkriticheskogo flyuida na fazovoy diagramme? [Where is the region of supercritical fluid in the phase diagram?] // UFN. 2012. **182**. № 11. P. 1137–1156. (in Russian).
2. Uglev N.P., Uglev S.N. Sverkhtekuchest' na mezhfaznoy granitse zhidkogo metalla i tverdogo tela [Superfluidity at the interphase boundary of a liquid metal and a solid] // Kondensirovannyye sredy i mezhfaznyye granitsy. 2014. **16**. № 4. P. 503–512. (in Russian).
3. Baum B.A., Khasin G.A., Tyagunov G.V. Zhidkaya stal' [Liquid steel]. M.: Metallurgiya. 1984. (in Russian).
4. Mayboroda V.P. Potokovaya obrabotka zhidkikh metallov [Stream processing of liquid metals] // Ukrainskiy fizicheskii zhurnal. 1991. № 6. P. 68–71. (in Russian).
5. Vatin N.A., Pastukhov E.A. Difraktsionnyye issledovaniya stroyeniya vysokotemperaturnykh rasplavov [Diffraction studies of the structure of high temperature melts]. M.: Nauka. 1980. (in Russian).
6. Pavlov V.V. Krizis klassicheskoy kineticheskoy teorii [Crisis of classical kinetic theory]. Yekaterinburg: UGGU, 2018. (in Russian).
7. Ostrovskiy O.I., Grigoryan V.A., Vishkarov A.F. Svoystva metallicheskih rasplavov [Properties of metal melts]. M.: Metallurgiya, 1988. (in Russian).
8. Fortov V.Ye. Pylevaya plazma [Dusty plasma] // UFN. 2004. **174**. P. 495–544. (in Russian).
9. Shuvalov L.A. Sovremennaya kristallografiya [Modern crystallography]. Tom 4. M.: Nauka, 1981. (in Russian).
10. Mayboroda V.P. Vliyaniye potokovoy obrabotki rasplava na strukturu alyuminiya, nikelya i medi [Effect of melt flow treatment on the structure of aluminum, nickel and copper] // Rasplavy. 1991. № 3. P. 115–117. (in Russian).