

Я. В. ГРЕЧНЫЙ

О КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ  
ЭВТЕКТИЧЕСКОГО ТИПА

(Представлено академиком И. П. Бардиным 8 VII 1952)

§ 1. При описании кристаллизации двойных сплавов эвтектического типа удобно пользоваться диаграммой метастабильного равновесия (1), на которой, наряду с линиями стабильного и метастабильного равновесия, наносятся верхняя и нижняя границы метастабильности жидкости как до начала первичной кристаллизации ( $ВГМ_{к, п, А}$ ;  $НГМ_{к, п, А}$ ), так и до начала эвтектической кристаллизации ( $ВГМ_{э}$ ;  $НГМ_{э}$ ) (см. рис. 1). На такой диаграмме создается ряд областей, в каждой из которых кри-

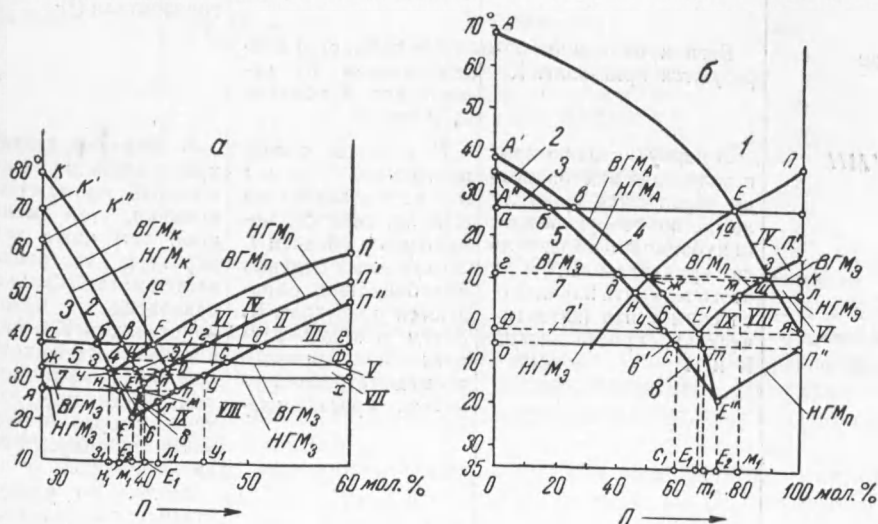


Рис. 1

сталлизация происходит по-разному. Число таких областей, их относительные размеры и расположение зависят от удаления кривых  $ВГМ_{к, п, А}$  и  $НГМ_{к, п, А}$  от линий ликвидуса и от различия наклона ветвей ликвидуса у эвтектической точки.

В настоящей работе описываются следующие два случая:

1. Удаления  $ВГМ$  и  $НГМ$  для структурно доэвтектических и структурно заэвтектических сплавов от соответствующих линий ликвидуса мало отличаются, а наклон ветви ликвидуса для доэвтектических сплавов круче, чем для заэвтектических сплавов.

2. Удаления  $ВГМ$  от линий ликвидуса для структурно доэвтектических и структурно заэвтектических сплавов мало отличаются, а расстояния между  $ВГМ$  и  $НГМ$  отличаются значительно. Наклоны ветвей ликвидуса мало отличаются.

Таблица 1

Область	Фазовые превращения, происходящие при изотермич. выдержке		Характер равновесия и фазы, находящиеся в равновесии
	после быстрого охлаждения до изотермич. выдержки	после медленного охлаждения до изотермич. выдержки	
1 — над ликвидусом	—	—	Жидкость стабильна
1а $K'E'П'ПЕК$	→	—	Жидкость метастабильна
2 $K'вBK''$	Инкубационно образуются кристаллы К	Продолжается кристаллизация К, начавшаяся в области 2	Стабильное равновесие между кристаллами К и жидкостью, состав которой определяется точкой пересечения изотермы с ликвидусом
3 $K''ба$	Безинкубационно образуются кристаллы К		
4 $бвэз$	Инкубационно образуются кристаллы К	У сплавов с концентрацией между $б$ и $в$ продолжается кристаллизация К, начавшаяся в области 2. У остальных сплавов инкубационно образуются кристаллы К	Метастабильное равновесие между кристаллами К и жидкостью, состав которой определяется точкой пересечения изотермы с продолжением линии ликвидуса ниже эвтектической горизонтали ( <sup>3</sup> )
5 $абзж$	Безинкубационно образуются кристаллы К	Продолжается кристаллизация К, начавшаяся в области 2, 3 или 4	
6 $эЭ'МН$	В первую стадию кристаллизации инкубационно образуются кристаллы К, во вторую также инкубационно образуются кристаллы П, и с этого момента начинается совместная (эвтектическая) кристаллизация К и П	У сплавов с концентрацией между $з — э$ кристаллизация К продолжается, начавшись в области 4. У остальных сплавов инкубационно образуются кристаллы К. Затем в обоих случаях инкубационно происходит эвтектическая кристаллизация	В первую стадию кристаллизации на некоторый промежуток времени, тем меньший, чем ниже температура, устанавливается метастабильное равновесие между кристаллами К и жидкостью, состав которой определяется точкой пересечения изотермы с продолжением линии ликвидуса ниже эвтектической горизонтали. Во вторую стадию устанавливается стабильное равновесие между кристаллами К и П
7 $жэНЯ$	У сплавов с концентрацией между $ж — э$ продолжается кристаллизация К, начавшаяся в области 3 и 5. У сплавов с концентрацией от $э_1$ до $Н_1$ происходит безинкубационная кристаллизация К. Затем в обоих случаях инкубационно происходит эвтектическая кристаллизация	Продолжается кристаллизация К, начавшаяся ранее в области 2 или 4 или 6. Затем инкубационно происходит эвтектическая кристаллизация	

Таблица 1 (продолжение)

Область	Фазовые превращения, происходящие при изотермич. выдержке		Характер равновесия и фазы, находящиеся в равновесии
	после быстрого охлаждения до изотермич. выдержки	после медленного охлаждения до изотермич. выдержки	
8 $HME''$	Кристаллизация происходит инкубационно в одну стадию с образованием эвтектических колоний. Эвтектическая кристаллизация инициируется К. Инкубационный период эвтектической кристаллизации равен инкубационному периоду кристаллизации К	Продолжается эвтектическая кристаллизация, начавшаяся в области 6	Стабильное равновесие между кристаллами К и П
$IX LE'E''L'$ Сплавы с концентрацией между:			
а) $E_1L_1$	а) Кристаллизация происходит инкубационно в один прием с образованием эвтектических колоний. Эвтектическая кристаллизация инициируется П		Стабильное равновесие между кристаллами К и П
б) $E_1M_1$	б) То же	Начинается или продолжается эвтектическая кристаллизация, которая может начаться в области 6	То же
в) $M_1E_2$	в) То же	Начинается или продолжается эвтектическая кристаллизация, которая может начаться либо в области 6 либо в 8	То же

Первый случай наблюдается в сплавах камфоры (К) с парадибромбензолом (П), второй — в сплавах азобензола (А) с пипероналом (П). Все эти вещества по склонности к переохлаждению относятся ко II группе (2); кристаллы каждого из компонентов не оказывают взаимного затравочного влияния.

§ 2. На рис. 1а приведена диаграмма метастабильного равновесия для сплавов К—П, а на рис. 1б — для сплавов А—П. На обеих диаграммах нанесена еще линия равной вероятности образования кристаллических зародышей обоих компонентов  $E'$ ,  $E''$  (3). В левой части диаграммы К—П имеется 7 областей — 2—8, в правой 8 областей II—IX и две области, общие для всей диаграммы, 1 и 1<sup>а</sup>. Характеристика процессов, совершающихся при изотермических выдержках расплавов в каждой из областей, приведена в табл. 1, из которой следует, что в структурно доэвтектических сплавах в областях 4 и 5, хотя температура и ниже эвтектической, эвтектическая кристаллизация не начинается, потому что переохлаждение и пересыщение жидкости П не достигает  $ВГМ_{П}$ . Эвтектическая кристаллизация в этих сплавах делается возможной только в областях 6 и 7, когда переохлаждение и пересыщение жидкости П соответствуют какому-то промежуточному значению между  $ВГМ_{П}$  и  $НГМ_{П}$ . Поэтому изотерма ЖЭ, являющаяся границей между областями 4, 5 и 6, 7, вместе с тем является  $ВГМ_3$  для структурно доэвтектических сплавов. Соответственно изотерма ЯН, отвечающая

пересыщению жидкости П до  $НГМ_{II}$ , является  $НГМ_{Э}$  для структурно доэвтектических сплавов. В дополнение к табл. 1 необходимо указать, что при быстром охлаждении сплавов в области  $\delta$  кристаллизация их происходит потому в одну стадию с образованием квази-эвтектических структур, что жидкость в контакте с инкубационно образующимися зародышами К, стремясь приобрести метастабильно равновесный состав, должна пересыщаться П в большей степени, чем это соответствует  $НГМ_{II}$ , и поэтому кристаллы П образуются на поверхности кристаллов К безинкубационно. В областях II—VIII правой части диаграммы протекающие процессы аналогичны тем, которые имеют место в соответствующих областях левой части диаграммы, с той лишь разницей, что кристаллизация сплавов начинается не с К, а с П.

Если кристаллизация сплавов, лежащих между точками  $M_1$  и  $E_2$ , в процессе охлаждения не начинается в области  $\delta$ , то, в зависимости от скорости дальнейшего охлаждения и температуры изотермической выдержки, она начинается либо в области  $\delta$ , либо в области IX, где сплавы кристаллизуются в один прием с образованием квази-эвтектических структур, однако в первом случае эвтектическая кристаллизация инициируется К, а во втором П.

Из сказанного вытекает, что минимальные размеры квази-эвтектической области, в пределах которой, независимо от режима охлаждения, образуются только эвтектические колонии, на диаграмме определяются отрезком  $E_1 - L_1$ . Как видно, квази-эвтектическая область распространяется в обе стороны от эвтектической точки, что отличает эту систему от ранее описанных (1). Указанное ранее отличие в наклоне кривых ликвидуса у эвтектической точки приводит к тому, что  $ВГМ_{Э}$  и  $НГМ_{Э}$  у структурно заэвтектических сплавов располагаются выше, чем у структурно доэвтектических сплавов.

§ 3. На диаграмме А—П (рис. 1б) имеется 12 областей. Они пронумерованы в соответствии с нумерацией областей на рис. 1а. Таким образом, на рис. 1б нумерация области характеризует фазовый состав, кинетику, тип равновесия, соответствующие областям, приведенным в табл. 1.

Характерные особенности этой системы следующие:

1. Эвтектическая кристаллизация доэвтектических и заэвтектических сплавов оказывается возможной почти при одинаковых переохлаждениях, что является следствием небольшого различия в удалении  $ВГМ_A$  и  $ВГМ_{II}$  от ликвидуса и небольшого различия в наклоне кривых ликвидуса.

2. При резком охлаждении заэвтектических сплавов А—П до температур, отвечающих  $НГМ_{II}$ , образуются квази-эвтектические структуры.

3. При достаточно быстром охлаждении структурно доэвтектических сплавов до области  $b'$  или  $7'$  либо во всем объеме жидкости, либо только вблизи растущих кристаллов А жидкость пересыщается П до 100%.

4. Если сплавы, располагающиеся между точками  $E_1$  и  $m_1$ , охлаждать настолько быстро до температур, соответствующих области  $b'$ , что кристаллизация их не начнется в области IX, то они кристаллизуются не в одну, а в две стадии, с образованием в первую кристаллов А, во вторую — эвтектических колоний. Таким образом, для этих сплавов уменьшение скорости охлаждения и меньшая степень переохлаждения способствуют образованию квази-эвтектических структур.

Днепропетровский металлургический институт  
им. И. В. Сталина

Поступило  
5 III 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Я. В. Гречный, ДАН, 84, № 3 (1952). 2 В. И. Данилов, ЖЭТФ, 19, 3 (1949). 3 Я. В. Гречный, ДАН, 84, № 1 (1952). 4 Я. В. Гречный, ДАН, 74, № 2 (1950).