

М. С. МИРГАЛОВСКАЯ

ОБЛАСТЬ ПЕРВИЧНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ФАЗЫ Q СИСТЕМЫ Al — Cu — Mg

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 10 II 1951)

При исследовании сплавов системы Al — Cu — Mg методами микроструктурного и рентгеновского анализов было установлено, что в системе, помимо известных ранее фаз *U*, *V*, *S* и *T*, образуется еще одна тройная фаза, обозначенная нами буквой *Q* ⁽¹⁾.

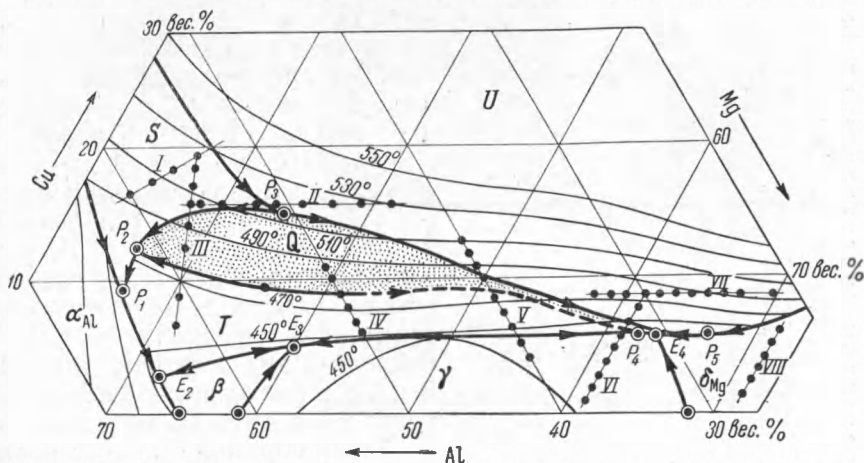


Рис. 1. Поле первичной кристаллизации фазы *Q*

Для выяснения природы процессов, протекающих с участием фазы *Q*, были проведены исследования, результаты которых приведены ниже.

Согласно ранее полученным данным ⁽¹⁾, фаза *Q* при 400° участвует в трехфазных равновесиях с фазами *T* и *S*, *U* и *S*, δ_{Mg} и γ , γ и *T*. Имелись основания предполагать, что указанным равновесиям предшествуют четырехфазные равновесия тех же фаз с жидкостью.

Для проверки этих предположений были приготовлены сплавы, составы которых обозначены точками на рис. 1. Все сплавы были подвергнуты подробному микроструктурному исследованию.

Ранее было установлено, что в структуре сплавов фазу *Q* трудно отличить от фазы *U* и в особенности от фазы *T*. Поэтому при микроструктурном анализе особое внимание было уделено тщательному изучению действия различных травителей на фазы системы.

При изучении структуры сплавов были применены следующие реактивы: 27% HNO_3 и 7% HF (двойной травитель), 0,5% HF + 1,5% HCl + 2,5% HNO_3 (тройной травитель), 25% HNO_3 , 0,5% HF .

Обычно при исследовании сплавов изучаемой области применялся «двойной» травитель. При травлении этим реактивом кристаллов фазы *T*

Таблица 1

Температуры кристаллизации фаз

№ сплава	Состав сплава в вес. %			Температура кристаллизации								
	Al	Cu	Mg	первичн. кристаллов фазы U	перитектич. образования фазы S ($Ж + U \rightarrow S$)	первичн. кристаллов фазы S	первичн. кристаллов фазы Q	совместн. выделения фаз S и T по реакции $Ж + Q \rightarrow S + T$	вторичн. кристаллиз. S и α $Ж \rightarrow S + \alpha$	совместн. выделения T и α по реакции $Ж + S \rightarrow T + \alpha$	вторичн. кристаллиз. T и α $Ж \rightarrow T + \alpha$	совместн. выделения α и β по реакции $Ж + T \rightarrow \alpha + \beta$
1	60,0	16,5	23,5			488		472		465		444
2	58,0	17,5	24,5			492		470		467		445
3	56,0	18,5	25,5			502			467	(461)	456	445
4	52,0	20,8	27,2		512		481					445
5	57,7	14,0	28,3	530				473		465		446
6	55,7	17,3	27,0			503				465		446
7	55,0	18,5	26,5			504				465		446

сердцевина зерен окрашивалась в более темный цвет, чем внешние слои. Приступая к исследованию микроструктуры сплавов изучаемой области, мы прежде всего попытались установить причину описанного выше явления (см. рис. 1).

В результате проведенного микроструктурного анализа сплавов I, II, III и IV разрезов было установлено, что явление, ранее рассматривавшееся как результат внутрикристаллической ликвации ⁽³⁾, является следствием типичного перитектического превращения окрашенной в более темный цвет фазы Q в фазу T . Фаза Q была обнаружена в структуре значительного числа исследованных литых сплавов.

В сплавах I разреза эта фаза образуется в результате перитектического превращения из фазы S и переходит в фазу T (рис. 2а); в некоторых сплавах II разреза фаза Q перитектически образуется из фазы U и затем по перитектической же реакции переходит в фазу T ; в некоторых сплавах III и IV разрезов фаза Q образуется непосредственно из жидкости и затем перитектически переходит в фазу T . В сплавах тех же разрезов (III и IV), но содержащих менее 9% Cu, новая фаза не была обнаружена.

Таким образом, была установлена область первичной кристаллизации фазы Q , граничащая с полями фаз U , S и T . Моновариантная кривая $Ж + Q \rightarrow T$ делит поле, ранее считавшееся полем фазы T , на две части, в одной из которых из расплава при охлаждении выпадают первичные кристаллы фазы Q , в другой — фазы T . Полагая, что поле кристаллизации фазы T в предыдущей работе ⁽³⁾ дано достаточно точно, в дальнейшем мы изучали лишь положение пограничной кривой $Ж + Q \rightarrow T$ и природу невариантных процессов, в которых совместно с жидкостью участвует фаза Q .

В невариантной точке P_3 ⁽²⁾ вместо ранее предполагавшегося процесса $Ж + U + S \rightarrow T$, согласно полученным данным, протекает реакция с участием фазы Q .

Так как составы жидкой фазы и двух твердых фаз U и S образуют треугольник, внутри которого лежит состав фазы Q , то в инвариантной точке P_3 при 520° должна протекать реакция $J + U + S \rightarrow Q$.

Пограничная кривая P_2P_3 инконгруентна на всем протяжении, кроме небольшого участка у точки P_2 , где кривая становится конгруентной ($J \rightarrow S + Q$). В точке P_2 имеет место четырехфазное равновесие $J + Q \rightarrow S + T$.

Температура точки P_2 равна примерно 472° , как это следует из данных термического анализа, приведенных в табл. 1.

Пограничная кривая $J + Q \rightarrow T$ лежит в области близких температур и имеет максимум, от которого в обе стороны температуры несколько снижаются к точкам P_2 и P_4 . Пограничная кривая в направлении к точке P_4 дана пунктиром, так как в структуре сплавов V разреза фазы Q не была обнаружена. Это обстоятельство может быть объяснено тем, что в данной области поле фазы Q значительно суживается,

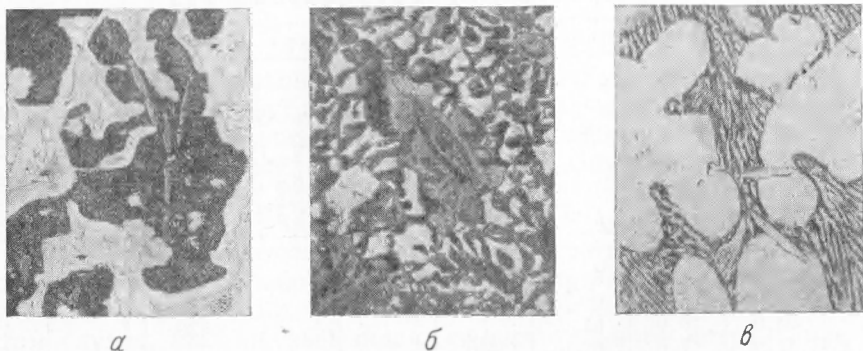


Рис. 2. a — 55,7% Al, 17,3% Cu, 27,0% Mg; травление 25% HNO_3 , 5 сек., $\times 100$. $б$ — 30,0% Al, 9,0% Cu, 61,0% Mg; травление 2,7 HNO_3 + 0,7% HF, 8 сек., $\times 400$. $в$ — 34,0% Al, 5,0% Cu, 61,0 Mg; травление 2,7% HNO_3 + 0,7% HF, 8 сек., $\times 400$. Репрод. 7:8

и вследствие этого фаза Q , выделившаяся в незначительном количестве на кристаллах фазы U , в процессе кристаллизации сплава полностью превращается в фазу T .

В дальнейшем явилось необходимым проверить диаграмму состояния в области, включающей тройную эвтектическую точку совместной кристаллизации фаз U , δ_{Mg} и γ_{Al-Mg} . С этой целью были приготовлены сплавы, составы которых обозначены точками на разрезах VI, VII и VIII (см. рис. 1).

Диаграмма состояния указанной области оказалась значительно сложнее, чем это следовало из результатов предыдущих исследований.

Все авторы, изучавшие ранее эту область (³⁻⁵), полагали, что в тройной эвтектической точке совместно с δ_{Mg} и γ кристаллизуется фаза U . Однако при микроструктурном исследовании сплавов VI, VII и VIII разрезов нами было установлено, что поле фазы U отделено от тройной точки полем фазы Q . Нами были обнаружены структуры вторичной кристаллизации фазы Q как с δ_{Mg} , так и с γ_{Al-Mg} , на основании чего можно утверждать, что в эвтектической кристаллизации с δ_{Mg} и γ принимает участие не фаза U , а фаза Q .

Характерную структуру вторичной кристаллизации фазы Q с δ_{Mg} мы наблюдали при изучении ряда сплавов VII и VIII разрезов. Эта структура очень похожа на структуру вторичной кристаллизации $\gamma + \delta_{Mg}$, но окрашена несколько темнее. На рис. 2б представлена микрофотография, подтверждающая последовательность образования первичных кристаллов фазы U , затем структурных составляющих,

соответствующих вторичной кристаллизации фаз Q и δ_{Mg} , и совместной кристаллизации фаз γ и δ_{Mg} .

При изучении структуры сплавов VI разреза в некоторых сплавах была обнаружена (помимо структуры вторичной кристаллизации фаз $\gamma + T$) структура совместной кристаллизации фаз $\gamma + Q$ (см. рис. 2 в), образующаяся в виде особой формы одновременной кристаллизации двух фаз, когда одна из фаз присутствует в очень незначительном количестве (Q) и выделяется на кристаллах ведущей фазы (γ).

Таким образом, в результате микроструктурного анализа сплавов VI, VII и VIII разрезов была установлена природа невариантных процессов, протекающих с участием фазы Q , а также определено возможное положение моновариантных кривых и невариантных точек. Температуры невариантных процессов были установлены методом термического анализа (см. табл. 2).

Таблица 2

Температуры кристаллизации фаз

№ сплава	Состав сплава в вес. %			Температура кристаллизации				
	Al	Cu	Mg	первичн. кристаллов фазы U	первичн. кристаллов фазы γ	перитектич. образования фазы Q $JK + \delta \rightarrow Q$	совместн. выделения Q и γ по реакции $JK + T \rightarrow \gamma + Q$	совместн. выделения Q и Mg по реакции $JK + U \rightarrow Q + Mg$
1	35,0	4,0	61,0		436			425
2	34,0	5,0	61,0		437		431	425
3	33,0	6,0	61,0				430	426
4	32,0	7,0	61,0	440				425
5	30,0	7,0	63,0	447		440		425
6	20,0	29,7	50,3	597		454		425
								тройн. эвтектики $JK \rightarrow \gamma + Q + Mg$

Выводы

1. В тройной системе $Al - Cu - Mg$ установлена область первичной кристаллизации фазы Q .

2. Определена природа невариантных процессов, в которых участвует фаза Q .

$JK + U + S \rightarrow Q$	(520°),	51,4% Al,	15,0% Cu,	34,0% Mg
$JK + Q \rightarrow S + T$	(472°),	~ 61,5% Al,	12,5% Cu,	26,0% Mg
$JK + U \rightarrow Q + \delta$	(~ 435°),	~ 27,8% Al,	6,2% Cu,	66,0% Mg
$JK + T \rightarrow \gamma + Q$	(~ 430°),	~ 32,2% Al,	6,2% Cu,	61,6% Mg
$JK \rightarrow \gamma + \delta + Q$	(425°),	31,0% Al,	6,0% Cu,	63,0% Mg

(состав и температура точек P_2 , P_4 и P_5 даны приближенно).

3. Проведенные исследования уточнили опубликованную ранее ⁽³⁾ диаграмму состояния системы $Al - Cu - Mg$.

В заключение автор выражает глубокую благодарность акад. Г. Г. Уразову за ценные указания и постоянное внимание к данной работе.

Поступило
23 XII 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. С. Миргаловская, ДАН, 77, № 2 (1951). ² Г. Г. Уразов и Д. А. Петров, ЖФХ, 20, в. 4—5, 387 (1946). ³ Г. Г. Уразов, М. С. Миргаловская и Н. Д. Нагорская, Изв. СФХА, 19, 523 (1949). ⁴ P. Bastien, Rev. metallurg., 30, 478, 528 (1933). ⁵ H. Hanemann, Zs. Metallkunde, 32, No. 6, 144 (1940).