

ХИМИЯ

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⁾.

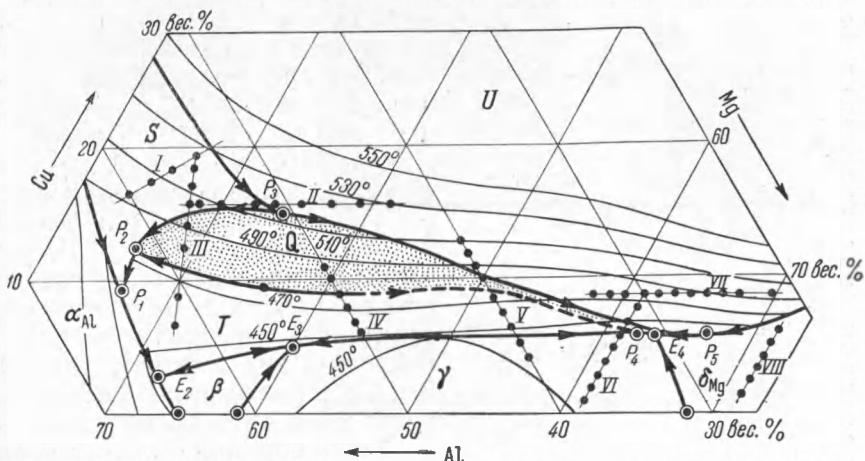


Рис. 1. Поле первичной кристаллизации фазы Q

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 фазы

Температура кристаллизации						
Состав сплава в вес. %			первичн. кристаллов фазы <i>S</i>		совместн. выделения фаз <i>S</i> и <i>T</i> по реакции $\mathcal{K} + Q \rightarrow S + T$	
%	Al	Cu	Mg	первичн. кристаллов фазы <i>U</i>	первичн. кристаллов фазы <i>Q</i>	вторичн. кристаллиз. фазы <i>S</i> и <i>T</i> по реакции $\mathcal{K} \rightarrow S + \alpha$
1	60,0	16,5	23,5	488	472	465
2	58,0	17,5	24,5	492	470	467
3	56,0	18,5	25,5	502	467	(461)
4	52,0	20,8	27,2	512	473	465
5	51,7	14,0	28,3	530		465
6	55,7	17,3	27,0	503		465
7	55,0	18,5	26,5	504		

Температура кристаллизации						
Состав сплава в вес. %			первичн. кристаллов фазы <i>S</i>		совместн. выделения фаз <i>T</i> и <i>α</i> по реакции $\mathcal{K} + S \rightarrow T + \alpha$	
%	Al	Cu	Mg	первичн. кристаллов фазы <i>S</i>	вторичн. кристаллиз. фазы <i>T</i> и <i>α</i> $\mathcal{K} \rightarrow T + \alpha$	совместн. выделения фаз <i>T</i> и <i>α</i> по реакции $\mathcal{K} + T \rightarrow \alpha + \beta$
1	60,0	16,5	23,5	488	472	444
2	58,0	17,5	24,5	492	470	445
3	56,0	18,5	25,5	502	467	445
4	52,0	20,8	27,2	512	473	446
5	51,7	14,0	28,3	530		446
6	55,7	17,3	27,0	503		446
7	55,0	18,5	26,5	504		

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. 2a); 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 $\mathcal{K} + Q \rightarrow T$ 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 $\mathcal{K} + Q \rightarrow T$ и природу нонвариантных процессов, в которых совместно с жидкостью участвует фаза *Q*.

В нонвариантной точке P_3 ⁽²⁾ вместо ранее предполагавшегося процесса $\mathcal{K} + U + S \rightarrow T$, 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 нонвариантной точке P_3 при 520° должна протекать реакция $\mathcal{K} + U + S \rightarrow Q$.

Пограничная кривая P_2P_3 инконгруэнтна на всем протяжении, кроме небольшого участка у точки P_2 , где кривая становится конгруэнтной ($\mathcal{K} \rightarrow S + Q$). В точке P_2 имеет место четырехфазное равновесие $\mathcal{K} + Q \rightarrow S + T$.

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

Пограничная кривая $\mathcal{K} + Q \rightarrow T$ 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 фаза Q не была обнаружена. Это обстоятельство может быть объяснено тем, что в данной области поле фазы Q значительно суживается,

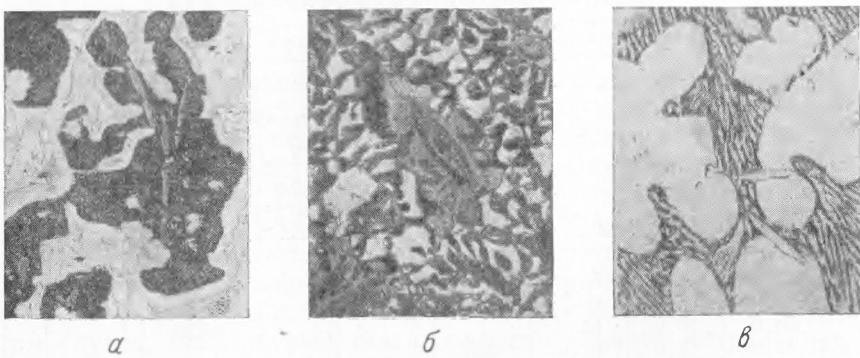


Рис. 2. α — 55,7% Al, 17,3% Cu, 27,0% Mg; травление 25% HNO_3 , 5 сек., $\times 100$. β — 30,0% Al, 9,0% Cu, 61,0% Mg; травление 2,7% HNO_3 + 0,7% HF, 8 сек., $\times 400$. γ — 34,0% Al, 5,0% Cu, 61,0% Mg; травление 2,7% HNO_3 + 0,7% HF, 8 сек., $\times 400$. Репрод. 7:8

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. 28), 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 нонвариантных процессов, протекающих с участием фазы Q , а также определено возможное положение моновариантных кривых и нонвариантных точек. Температуры нонвариантных процессов были установлены методом термического анализа (см. табл. 2).

Таблица 2

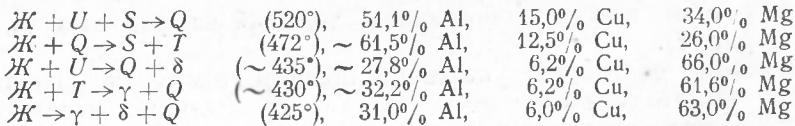
Температуры кристаллизации фаз

№ сплава	Состав сплава в вес. %			Температура кристаллизации					
	Al	Cu	Mg	первичн. кристаллов фазы U	первичн. кристаллов фазы γ	перитектическ. образования фазы $Q \rightarrow Q$	совместн. выделения Q и γ по реакции $\mathcal{K} + T \rightarrow \gamma + Q$	совместн. выделения Q и Mg по реакции $\mathcal{K} + U \rightarrow Q + Mg$	тройн. эвтектика $\mathcal{K} \rightarrow \gamma + Q + Mg$
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		433	425
6	20,0	29,7	50,3	597		454		435	425

Выводы

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

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



(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 Р. Bastien, Rev. métallurg., 30, 478, 528 (1933). ⁵ Н. Напетапп, Zs. Metallkunde, 32, № 6, 144 (1940).