

Т. А. БАДАЕВА и Р. И. КУЗНЕЦОВА

# РАСТВОРИМОСТЬ ОЛОВА В АЛЮМИНИИ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

(Представлено академиком Г. Г. Уразовым 9 I 1950)

Алюминий и олово в жидком состоянии хорошо сплавляются друг с другом во всем интервале концентраций. Согласно диаграмме состояния (рис. 1), составленной по данным нескольких авторов (<sup>1</sup>), почти во всем интервале концентраций первично кристаллизуется алюминий, а вторично — эвтектика, содержащая всего лишь 0,5 вес. % Al. П растворимости олова в алюминии в твердом состоянии в литературе имеются весьма разноречивые сведения: различные исследователи (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>) указывают величины 20, 10,5 и 2 вес. % Sn. Такое расхождение в данных заставляет предполагать недостоверность, по крайней мере, большинства из них. Нами проведено исследование растворимости олова в алюминии в твердом состоянии методами закалки и микроструктуры, измерения электросопротивления и параметра решетки. Были записаны также дифференциальные кривые нагрева сплавов, отожженных и закаленных при 210°.

Исходными материалами для приготовления сплавов служили: чистейший алюминий (99,99%) и реперное олово. Плавки производились в корундизовых тиглях, под эвтектической смесью хлористых солей лития и калия, путем добавки олова в расплавленный под слоем флюса алюминий. Образцы для изучения микроструктуры отливались в железную изложницу и перед термической обработкой подвергались холодной деформации медленным осаждением на 50% от высоты слитка. Образцы для измерения электросопротивления, изготовленные насасыванием палочек в фарфоровые трубки диаметром 4 мм, подвергались затем прокатке на ручном станке с последующей калибровкой до диаметра 2,7 мм. Образцы для рентгеновского анализа напильниками от палочек, предназначенных для измерения электросопротивления, а полученные порошки подвергались термической обработке в вакуированных трубках, так же как и образцы для изучения микроструктуры и электросопротивления.

Время отжига при температуре 210° пяти партий образцов для изучения микроструктуры составляло 240 часов; выдержка при температурах 180, 150 и 100° после медленного снижения с 210° составляла 170 часов при каждой из них. Образцы закаливались в ледяной воде.

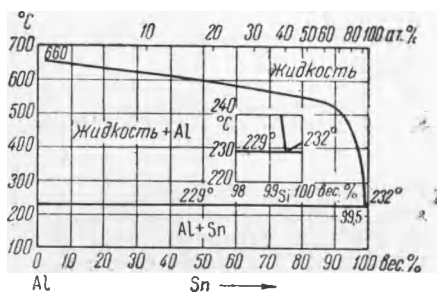


Рис. 1. Диаграмма состояния алюминий—олово

Охлаждение последней партии сплавов до комнатной температуры происходило в течение еще 170 час. Эти образцы служили для определения растворимости при комнатной температуре. Образцы для измерения электросопротивления, так же как и рентгеновских исследований отжигались при 210° в течение 690 часов и закаливались в ледяной воде. Измерение электросопротивления производилось с помощью моста Томсона. Рентгенограммы снимались в камерах Дебая, на излучении железа; параметр рассчитывался по измерениям отражений от плоскостей 400, 331, 321. Для записи дифференциальных кривых нагрева были использованы сплавы, закаленные при 210° после изучения

микроструктуры. Образцы, с заранее высверленными отверстиями для термодпары, помещались в печь с температурой около 210° и нагревались со скоростью 11° в минуту. Температура в печи регулировалась с помощью потенциал-регулятора. В качестве эталона служил никель. Кривые записывались на регистрирующем пирометре Н. С. Курнакова с помощью платино-платинородиевой термодпары. Пирометрические листы градуировались по температурам затвердевания алюминия, цинка, олова и кипения воды.

Полученные результаты представлены в табл. 1 и на рис. 2 в виде кривых изменения электросопротивления и параметра решетки, измеренных на закаленных сплавах алюминия с оловом, а также кривых ликвидуса и солидуса, полученных по данным кривых нагрева. Черными точками представлены результаты металлографического анализа сплавов, закаленных при различных температурах.

Как видно из рис. 2, электросопротивление чистого алюминия не изменяется заметно с первыми добавками олова, несколько увеличиваясь по мере

возрастания содержания олова в сплавах до 5 вес. %. Прямолинейный характер изменения электросопротивления указывает на отсутствие заметной области твердого раствора.

Таблица 1

Результаты исследований сплавов Al — Sn

Вес. %		Ат. %		Зак. 210°			Ликвидус °C	Солидус °C
Al	Sn	Al	Sn	$\rho \cdot 10^6$	$\lambda \cdot 10^{-4}$	$a$ в Å		
100	0,00	99,98	0,02	2,70	36,98	4,041	660	—
99,90	0,10	99,93	0,07	2,70	36,98	4,041	658	—
99,70	0,30	99,88	0,12	2,68	37,24	4,041	659	229
99,50	0,50	99,77	0,23	2,68	37,35	4,041	—	—
99,00	1,00	99,65	0,35	2,73	36,63	4,041	658	222
98,50	1,50	99,54	0,46	2,71	36,96	—	—	—
98,00	2,00	99,42	0,58	2,67	37,40	4,040	657	229
97,50	2,50	99,30	0,70	2,71	36,92	4,040	653	217
97,00	3,00	99,06	0,94	2,74	36,42	—	—	—
96,00	4,00	98,82	1,18	2,76	36,17	—	650	223
95,00	5,00	98,57	1,43	2,82	35,50	4,040	—	—

Анализ микроструктуры сплавов, закаленных при  $210^{\circ}$ , показывает, что уже в сплавах с 0,1 и 0,3 вес.% Sn видны прерывистые границы полиэдров с вкрапленными кое-где выделениями второй фазы практически в виде чистого олова, так как в эвтектике содержится всего 0,5 вес.% Al и алюминий, находящийся в ней, поглощается его первичными выделениями. В сплаве с 0,5 вес. % Sn (рис. 3, А) удается достаточно четко выявить пунктирные границы зерен с уже заметным количеством выделений олова, которые располагаются главным образом по границам. Вследствие удаленности от оси алюминия точки эвтектики и малого удельного объема олова по сравнению с удельным объемом алюминия нарастание второй фазы с увеличением содержания олова происходит медленно (рис. 3, А, Б, В). Металлографический анализ сплавов, закаленных при более низких температурах, так же как и охлажденных до комнатной температуры, показывает наличие распада твердого раствора во всех случаях уже в сплавах с 0,1 вес.% Sn.

Дифференциальные кривые нагрева закаленных при  $210^{\circ}$  сплавов обнаружили тепловые эффекты, отвечающие температуре плавления эвтектики ( $229^{\circ}$ ) в сплавах с 0,3—10 вес.% Sn. Это говорит о том, что в сплаве с 0,3 вес.% Sn содержится достаточное количество эвтектики для обнаружения теплового эффекта при дифференциальном методе анализа.

Рентгеновский анализ показывает, что параметр решетки алюминия остается постоянным (рис. 2), что также указывает на двухфазное состояние изученных сплавов с содержанием олова от 0,1 до 5 вес.%. Следует заметить, что на рентгенограмме сплава с 1 вес.% Sn уже видны линии олова (отражения от плоскостей 200, 101).

Таким образом, установленная в предшествующих исследованиях растворимость олова в алюминии в твердом состоянии (от 20 до 2 вес.%) не подтверждается настоящим исследованием. Совместное рассмотрение результатов измерения электросопротивления, микроструктурного, термического и рентгеновского анализа сплавов алюминия с оловом однозначно устанавливает, что область твердого раствора олова в алюминии при  $210^{\circ}$  не превышает сотых долей весовых процентов.

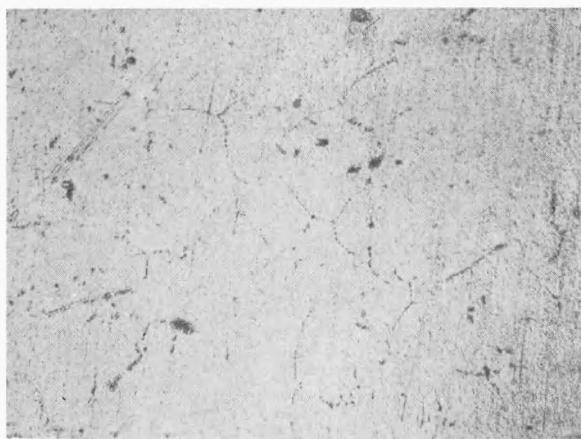
Полученные результаты не находятся в противоречии с существующими общими соображениями по взаимной растворимости двух элементов в твердом состоянии, согласно которым пределы растворимости одного металла в другом находятся, в первом приближении, в зависимости от так называемых объемного и электрохимического факторов. Разница в атомных радиусах рассматриваемых элементов составляет около 11%, а находятся они в периодической системе в разных группах. Неблагоприятность объемного и электрохимического факторов для взаимной растворимости алюминия и олова в твердом состоянии согласуется с чрезвычайно малой растворимостью олова в алюминии, установленной нами экспериментально.

Институт общей и неорганической химии  
им. Н. С. Курнакова  
Академии наук СССР

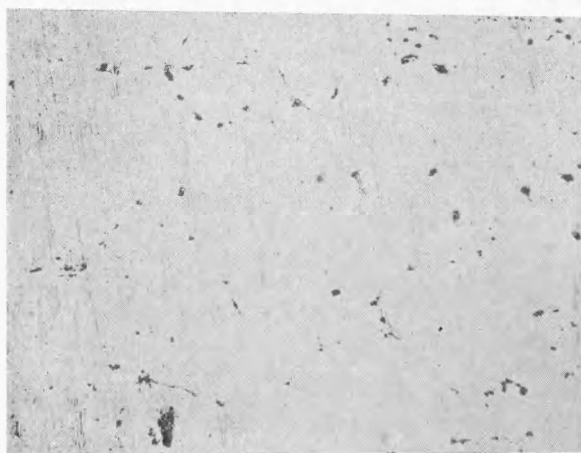
Поступило  
5 I 1950

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

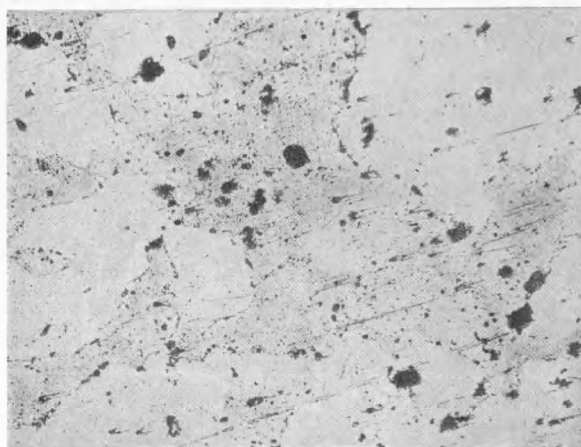
- <sup>1</sup> М. Хансен, Структура бинарных сплавов, М.—Л., 1941.    <sup>2</sup> М. И. Замотонин, Тр. Ленингр. индустр. ин-та, (4), 23 (1936).



*A*



*Б*



*В*

Рис. 3. *A* — 0,5 вес. % Sn; *Б* — 2,5 вес. % Sn;  
*В* — 3,0 вес. % Sn, закалка 210°.  $\times 100$