

А. М. КОРОЛЬКОВ и Э. С. КАДАНЕР

**ЗАВИСИМОСТЬ МИКРОТВЕРДОСТИ СТРУКТУРНЫХ
СОСТАВЛЯЮЩИХ ОТ СОСТАВА НЕКОТОРЫХ ДВОЙНЫХ
ЛИТЫХ СПЛАВОВ**

(Представлено академиком Н. Т. Гудцовым 13 VII 1950)

Применение метода микротвердости к исследованию строения и свойств металлов и сплавов позволяет обнаружить некоторые новые явления или количественно оценить ранее предполагавшиеся. Пользуясь этим методом, А. А. Бочвар и О. С. Жадаева показали распределение твердости внутри одного кристаллического зерна литого металла ⁽¹⁾, изменение микротвердости поверхностных слоев металлов под влиянием деформации при полировке и при отжиге ⁽²⁾, а также изменение микротвердости первичных выделений, являющихся твердыми растворами в сплавах Al—Cu и Al—Si ^(3,4). Методом микротвердости Ф. С. Савицкий и др. показали распределение наклепа в зоне местных деформаций и в переходных зонах деформации ⁽⁵⁾.

Настоящее исследование имело целью определить, как изменяется микротвердость структурных составляющих сплавов в зависимости от состава и какая из структурных составляющих играет ведущую роль в общем упрочнении двухфазных сплавов. Вторая из поставленных задач в литературе не освещена.

Микротвердость определялась на приборе ПМТ-2 системы М. М. Хрущева и Е. С. Берковича при нагрузке 10 г. Макротвердость дается в единицах Брюнеля; она определялась при $p = 60$ кГ и диаметре шарика 5 мм.

Состав сплавов и результаты определений приведены в табл. 1 и на рис. 1—4. Микротвердость отдельных составляющих и обычная твердость (макротвердость) сплавов определялись на одних и тех же шлифах. Шлифы были изготовлены из слитков, отлитых в металлическую форму, и перед испытанием подвергались стабилизирующему отжигу при 300° в течение 100 часов для алюминиевых сплавов и при 100° в течение 50 часов для свинцовых и оловянных сплавов для снятия внутренних литейных напряжений и поверхностного наклепа, вызванного приготовлением шлифов. Высокий гомогенизирующий отжиг с последующей закалкой в воду для алюминиевых сплавов проводился для приближения к структурному равновесию при температурах вблизи солидуса (600° в течение 50 часов). Количественное соотношение фаз в сплавах и общее соответствие его с диаграммами состояния было подтверждено микроанализом.

Рассмотрение кривых макро- и микротвердости выявляет характерное для всех сплавов нарастание макротвердости сплавов по мере увеличения легирующей добавки. Это нарастание замедляется или останавливается вблизи критической концентрации, т. е. вблизи эвтектических точек диаграмм состояния в сплавах Al—Ni и Pb—Sb

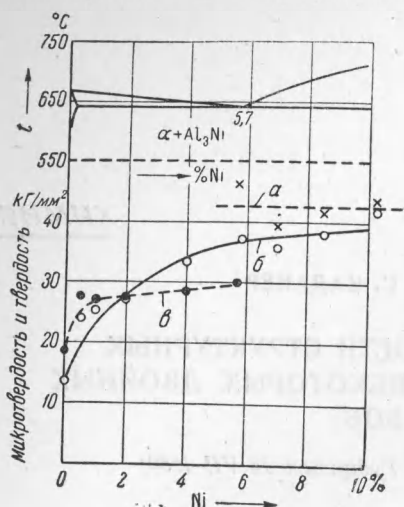


Рис. 1. Зависимость микро- и макротвердости от состава литых сплавов Al—Ni после стабилизации при 300° в течение 100 час. *a* — микротвердость эвтектики, *b* — макротвердость, *в* — микротвердость алюминиевой составляющей

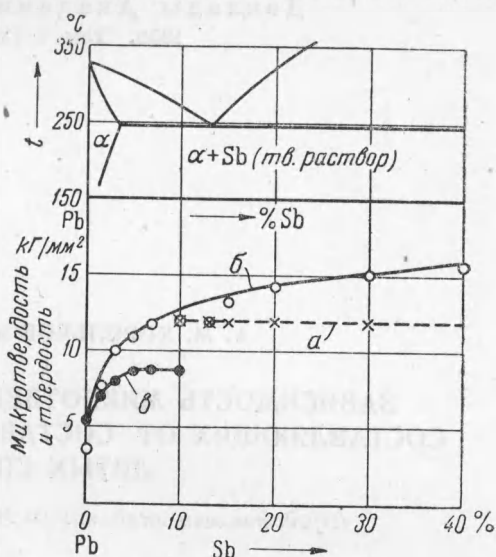


Рис. 2. Зависимость микро- и макротвердости от состава литых сплавов Pb—Sb после стабилизации при 100° в течение 50 час.: *a* — микротвердость эвтектики, *b* — макротвердость, *в* — микротвердость α -фазы

Таблица 1
Микротвердость структурных составляющих сплавов в кг/мм²

Сплавы	Первичные выделения в доэвтектических сплавах (А)		Эвтектика А + Б		Первичные выделения в заэвтектических сплавах (Б)
	после стабилизации	после гомогенизации	после стабилизации	после гомогенизации	
Al—Ni	от 18,2 для чистого Al до 30,2 при 4% Ni	от 18,2 для чистого Al до 24,8 при 4% Ni	42,2—45,2	26,5—28,5	523—551 (Al ₃ Ni)
Pb—Sb	от 5,5 для чистого Pb до 9,0 при 10% Sb	—	12,3—13,6	—	90—96 (Sb тв. раств.)
Al—Mn	от 18,2 для чистого Al до 40 при 1,5% Mn	от 18,2 для чистого Al до 28,5 для 1,5% Mn	50,7—54,6	33,1—35,3	368—380 (Al ₆ Mn)
Sn—Sb	от 9 для Sn до 18,2 при 8% Sb	—	—	—	61,5—72 (β'Sn—Sb)

(см. рис. 1 и 2) и около переходной или перитектической точек диаграмм в сплавах Al—Mn и Sn—Sb (см. рис 3 и 4).

Микротвердость первичных выделений, начиная от чистого компонента, резко возрастает не только в области насыщенных твердых

растворов, но и за пределы насыщения, который для сплавов Al—Ni при 500° не превышает 0,01% и для Al—Mn составляет 0,15% или 0,36% (6). Этим подтверждается вывод А. А. Бочвара о наличии гетерогенности второго порядка в первичных кристаллах твердых растворов, которые рассматриваются обычно как однородные (3).

Общее упрочнение малолегированных сплавов Al—Mn определяется, главным образом, увеличением микротвердости первичных выделений. В сплавах Al—Ni и Pb—Sb упрочнение при малых концентрациях легирующей добавки происходит также за счет первичных выделений, но при более высоких концентрациях заметно выступает упрочняющее влияние эвтектики, содержащей твердую фазу в виде химических соединений или твердых растворов.

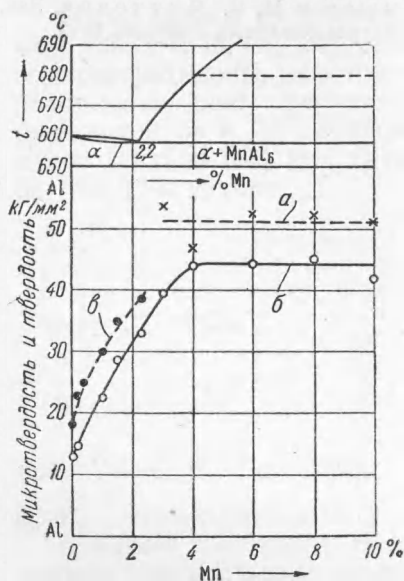


Рис. 3. Зависимость микро- и макротвердости от состава литых сплавов Al—Mn после стабилизации при 300° в течение 100 час. Обозначения те же, что на рис. 1

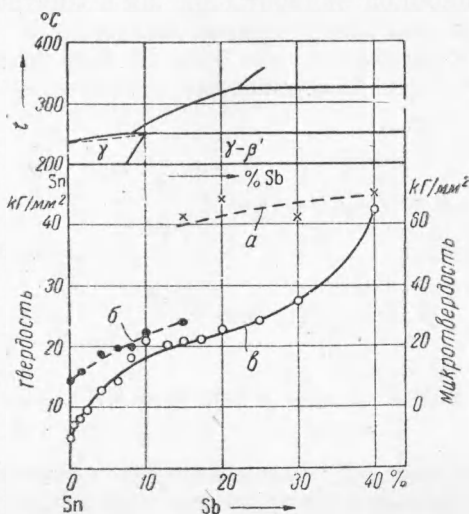


Рис. 4. Зависимость микро- и макротвердости от состава литых сплавов Sn—Sb после стабилизации при 100° в течение 50 час.: а — микротвердость β-фазы, б — микротвердость γ-фазы, в — макротвердость

Микротвердость эвтектики является величиной практически постоянной, не зависящей от состава сплава, и определяется, повидимому, твердостью той фазы, количество которой преобладает в эвтектике.

Твердость заэвтектических сплавов Al—Mn и Al—Ni на значительном участке концентраций определяется твердостью эвтектики. Изолированные первичные выделения твердых фаз (Al_6Mn и Al_3Ni) не участвуют в упрочнении, несмотря на то, что микротвердость их, как видно из данных табл. 1, в 6—12 раз выше твердости эвтектики и количество их в структуре достигает 20—25 объемных %. Судя по ходу кривой твердости сплавов Sn—Sb, роль этих твердых кристаллов в упрочнении сплавов будет заметно выявляться при наличии их в смеси около 50% и выше.

Гомогенизация сплавов при температурах, близких к солидусу, сильно снижает значения микротвердости эвтектики; так, для эвтектики Al— Al_3Ni микротвердость после гомогенизации при 600° снизилась до 27,5 против 43 кг/мм² для отожженных при 300° (см. табл. 1).

Микротвердость первичных выделений в доэвтектических сплавах после гомогенизации также снижается, но в меньшей мере, чем для эвтектических смесей.

Микротвердость химических соединений Al_3Ni и Al_6Mn и других после гомогенизации практически не изменяется.

Авторы выражают благодарность акад. А. А. Бочвару за ценные указания при проведении этой работы.

Институт металлургии им. А. А. Байкова
Академии наук СССР

Поступило
5 XI 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Бочвар и О. С. Жадаева, Изв. АН СССР, ОТН, № 4 (1947).
² А. А. Бочвар и О. С. Жадаева, там же, № 3, 341 (1947). ³ А. А. Бочвар и О. С. Жадаева, там же, № 10—11, 1089 (1945). ⁴ А. А. Бочвар, там же № 10 (1947). ⁵ Ф. С. Савицкий, Б. А. Вандышев и М. В. Якутович, Зав. лаборат., № 12, 1476 (1948). ⁶ М. Хансен, Структуры бинарных сплавов, 1941.