

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. М. БЕРЕЖИАНИ

**ОБ ЯВЛЕНИИ ВОЗВРАТА В ИСКУССТВЕННО СОСТАРЕННЫХ
СПЛАВАХ ТИПА Al — Cu — Mg И ДУРАЛЮМИН**

(Представлено академиком А. А. Бочваром 8 X 1952)

Введение. Гейлер ⁽¹⁾ обнаружила, что естественно состаренные сплавы типа Al — Cu — Mg и дуралюмин в результате кратковременного нагрева до сравнительно низких температур (150—250°) утрачивают свойства, приобретенные в результате старения, и переходят в закаленное состояние.

Всестороннее исследование этого явления ⁽²⁻⁶⁾, известного под названием «возврата», показало, что во время возврата в естественно состаренном сплаве идет процесс, противоположный процессу старения, и если во время старения в сплаве идет процесс образования атомных группировок в решетке пересыщенного раствора, то во время возврата происходит процесс растворения этих группировок и образование пересыщенного твердого раствора.

Явление возврата в искусственно состаренных сплавах не было обнаружено, и поэтому многие исследователи ⁽²⁾ и др.) рассматривали возврат как явление, подтверждающее мнение о различии в процессах естественного и искусственного старения.

В предыдущей работе ⁽⁷⁾ нами было установлено, что фазы, образующиеся в сплавах типа Al — Cu — Mg и дуралюмин, обладают минимальной стабильностью при температурах порядка 420°.

Настоящая работа имела целью изучить некоторые особенности процесса растворения этих фаз при быстром нагреве и, в частности, выяснить возможность образования пересыщенных твердых растворов в процессе их растворения.

Экспериментальная часть

1. Сплавы. При проведении исследования в качестве материала были использованы сплавы Al — Cu — Mg и импортный дуралюминий марки 24S, представляющие собой листы толщиной 1,5 мм. Данные о составе сплавов приведены в табл. 1.

От листов исследуемых материалов поперек направления прокатки отрезались полосы шириной 200 мм. Далее полосы разрезались на заготовки, а из них путем фрезерования изготовлялись нормальные разрывные образцы.

2. Термическая обработка. Все исследуемые разрывные образцы после закалки и естественного старения подвергались искусственному старению. Искусственное старение производилось в электровоздушной печи по следующим режимам: для образцов из сплава 24S при $t = 190 \pm 3^\circ$ в течение 12 час.; для образцов из сплава Al — Cu — Mg при $t = 165 \pm 3^\circ$ в течение 18 час.

Методика и результаты исследования. Для исследова-

ния процесса растворения фаз, обращающихся в сплавах типа Al—Cu—Mg и дуралюмин во время искусственного старения, в настоящей работе был принят метод механических испытаний.

В стареющих сплавах упрочнение, наблюдаемое в процессе старения, обусловлено образованием метастабильной фазы. Поэтому процесс растворения метастабильной фазы всегда сопровождается разупрочнением сплава, причем изменение прочности сплава достаточно точно характеризует полноту растворения.

В процессе растворения метастабильной фазы можно было ожидать образования пересыщенных твердых растворов, которые в условиях

Таблица 1

Условная марка сплава	Хим. состав в вес. %				
	Cu	Mg	Si	Mn	Fe
Al—Cu—Mg	3,36	1,62	0,40	—	0,32
24S	4,05	1,45	0,57	0,61	0,35

повышенной температуры чрезвычайно неустойчивы и склонны к распаду. Распад твердого раствора может исказить картину изучаемого явления, и поэтому при проведении опытов были приняты следующие предосторожности: 1) исследуемые образцы изготовлялись из тонкого ($\delta = 1,5$ мм) ли-

стового материала; 2) нагрев образцов производился в селитровой ванне; 3) продолжительность пребывания образцов в селитровой ванне равнялась 18 сек.

По данным предшествующего исследования (7), эти мероприятия, благодаря быстрому (порядка $1000^\circ/\text{мин}$) нагреву и минимальной (2—3 сек.) выдержке после достижения образцом требуемой температуры, позволяют избежать распада пересыщенного твердого раствора.

Исследование процесса растворения метастабильных фаз было проведено при следующих температурах: для сплавов типа Al—Cu—Mg 280; 320; 340; 360; 380; 400; 420; 460; 480 и 500° ; для сплавов типа дуралюмин 280; 320; 360; 400; 420; 440; 460; 480 и 500° .

При проведении опытов 6 искусственно состаренных образцов подвергались кратковременному нагреву до одной из указанных выше температур и охлаждались в воде. Затем образцы разделялись на две группы (по 3 образца в каждой), из которых одна испытывалась в закаленном состоянии (не позднее 5 мин. после обработки), а другая — в состаренном состоянии после 5 суток старения в условиях комнатной температуры.

Средние значения предела прочности и относительного удлинения приведены в табл. 2 и графически изображены на рис. 1.

С целью суждения о степени пересыщения твердого раствора, образующегося в результате растворения метастабильных фаз, были проведены опыты по определению значения прочности, соответствующей равновесным концентрациям твердого раствора при температурах 420; 460; 440 и 480° . Для этого образцы из исследуемых сплавов были подвергнуты отжигу при $t = 360^\circ$ с последующим охлаждением в воде. Затем образцы погружались в селитровую ванну, имеющую одну из указанных выше температур, выдерживались в ней в течение часа и охлаждались в воде.

Испытание образцов производилось после естественного старения в течение 5 суток. Средние данные испытания трех образцов приведены в табл. 1 и нанесены на рис. 1.

Согласно полученным данным:

1. Повышение температуры кратковременного нагрева в интервале температур $260\text{—}420^\circ$ сопровождается следующими явлениями:

а) снижением прочности в закаленном состоянии (σ_b^3), величина

которого при температуре $\sim 420^\circ$ достигает минимальных для исследуемых сплавов значений;

б) неоднозначным изменением предела прочности в состаренном состоянии (σ_b^c), значение которого сначала (в интервале температур $260-360^\circ$) снижается, а затем резко повышается, достигая при температуре 420° максимального для исследуемых сплавов значения;

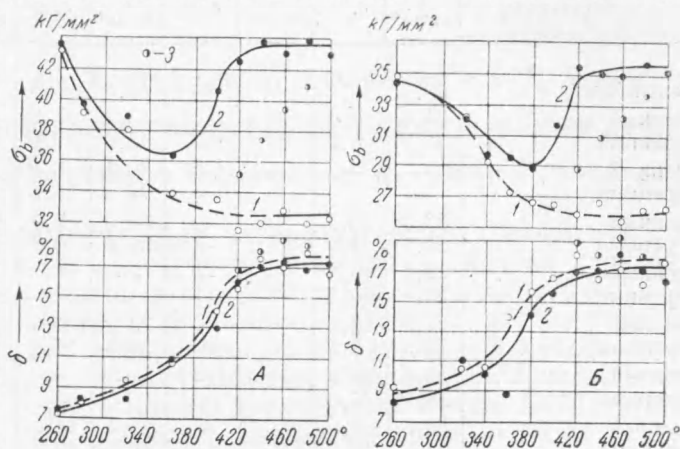


Рис. 1. Влияние кратковременного нагрева на механические свойства искусственно состаренных сплавов. А — сплав типа дуралюмин. Б — сплав типа Al — Cu — Mg. 1 — непосредственно после нагрева; 2 — спустя 5 дней после нагрева (при хранении в условиях комнатной температуры); 3 — отжиг с последующим охлаждением

в) повышением относительного удлинения как в закаленном, так и в состаренном состоянии;

г) повышением эффекта старения ($\sigma_b^c - \sigma_b^3$), величина которого при $t \cong 420^\circ$ достигает максимального для исследуемых сплавов значения.

2. Повышение температуры кратковременного нагрева выше 420° вплоть до 500° не оказывает существенного влияния на свойства сплавов, которые остаются такими, какими были после нагрева при температуре $\sim 420^\circ$.

Обсуждение результатов исследования

Если учесть, что изменение свойств стареющих сплавов в процессе старения связано с появлением в сплаве метастабильных фаз и что, наоборот, растворение этих фаз сопровождается разупрочнением сплава, то на основании полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. Верхним пределом температуры устойчивости фаз, образующихся в сплавах типа Al — Cu — Mg и дуралюмин во время искусственного старения, следует считать температуру порядка 420° , при которой искусственно состаренные сплавы полностью утрачивают свойства, приобретенные в результате старения, и переходят в закаленное состояние.

2. Процесс растворения фаз в искусственно состаренных сплавах сопровождается образованием пересыщенного твердого раствора, концентрация которого при $t \cong 420^\circ$ достигает максимального значения.

3. В искусственно состаренных сплавах типа Al — Cu — Mg и дуралюмин при быстром нагреве до температур порядка 420° наблю-

Данные механических испытаний

Т-ра нагрева в °	Состояние сплава	Сплав Al—Cu—Mg				Сплав 24 S			
		искусств. состарен.		отожжен.		искусств. состарен.		отожжен.	
		$\sigma_{в'}$ кг/мм ²	δ , %	$\sigma_{в'}$ кг/мм ²	δ , %	$\sigma_{в'}$ кг/мм ²	δ , %	$\sigma_{в'}$ кг/мм ²	δ , %
18	Исходный сост.	35,2	10,4	—	—	43,5	7,8	—	—
260	Закаленный	34,8	9,4	—	—	43,2	7,3	—	—
	Состаренный	34,5	8,2	—	—	43,6	7,5	—	—
280	Закаленный	—	—	—	—	39,1	8,1	—	—
	Состаренный	—	—	—	—	39,8	8,2	—	—
320	Закаленный	32,3	10,5	—	—	38,0	9,5	—	—
	Состаренный	32,1	11,0	—	—	39,0	8,2	—	—
340	Закаленный	29,2	10,5	—	—	—	—	—	—
	Состаренный	29,8	10,1	—	—	—	—	—	—
360	Закаленный	27,2	13,9	—	—	33,8	10,6	—	—
	Состаренный	29,5	8,7	—	—	36,3	10,8	—	—
380	Закаленный	26,6	15,6	—	—	—	—	—	—
	Состаренный	28,9	14,0	—	—	—	—	—	—
400	Закаленный	26,5	16,6	—	—	33,4	14,0	—	—
	Состаренный	31,8	15,5	—	—	40,6	12,8	—	—
420	Закаленный	25,9	18,0	—	—	31,5	15,5	—	—
	Состаренный	35,5	16,9	28,9	18,8	42,5	15,9	35,0	16,8
440	Закаленный	—	—	—	—	32,0	17,5	—	—
	Состаренный	—	—	30,8	18,1	43,8	16,9	37,4	18,0
460	Закаленный	25,4	17,0	—	—	32,8	17,0	—	—
	Состаренный	35,0	18,1	32,2	19,2	43,0	17,3	39,3	18,8
480	Закаленный	26,1	16,0	—	—	31,9	18,0	—	—
	Состаренный	35,8	17,0	38,6	18,0	43,8	16,9	41,8	18,3
500	Закаленный	26,2	17,5	—	—	32,2	16,7	—	—
	Состаренный	35,1	16,2	—	—	42,9	17,2	—	—

дается явление, аналогичное явлению «возврата» в естественно состаренных сплавах.

4. Установление явлений возврата в искусственно состаренных сплавах является новым доказательством одинаковости природы процессов естественного и искусственного старения.

Институт металла и горного дела
Академии наук Груз.ССР.

Поступило
3 IX 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ M. Gayler, J. Inst. of Metals, 28, 213 (1922). ² Д. А. Петров, Изв. сектора физ.-хим. анализа, 16, 2, 241 (1946). ³ С. Г. Конобеевский, ЖЭТФ, 13, 6, 185 (1943). ⁴ С. Г. Конобеевский, ЖЭТФ, 13, 6, 418 (1943). ⁵ M. Gayler, G. Preston, J. Inst. of Metals, 41, 191 (1929). ⁶ W. Fraenkel, L. Marx, Z. Metallkunde, 21, 2 (1929). ⁷ В. М. Бережани, Изотермический отжиг сплавов типа дуралюмин, Кандид. диссерт., М., 1947.