

УПРОЧНЕНИЕ ГРАНУЛИРОВАННОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА МЕТОДОМ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Одним из возможных путей создания новых материалов на основе алюминия, обладающих высокими механическими свойствами, может стать сочетание гранульной технологии получения сплава с оптимальным режимом его термомеханической обработки. Ранее проведенные исследования [1; 2] показали, что именно на сплавах системы Al-Zn-Mg-Cu можно получить наиболее высокие значения прочности.

Данная работа посвящена изучению влияния холодной пластической деформации на процесс распада пересыщенного твердого раствора, на структуру и механические свойства полуфабрикатов из гранулированного алюминиевого сплава 01979.

Материал и методика исследования

В качестве материала исследования использовали полуфабрикаты из опытного гранулированного алюминиевого сплава 01979* системы Al-Zn-Mg-Cu. (в виде прутков диаметром 12 мм). Химический состав сплава приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сплава 01979

Сплав	Содержание компонентов и примесей, %								
	Zn	Mg	Cu	Mn	Co	Cr	Zr	Fe	Si
01979	9,0	3,0	1,5	0,5	0,5	0,5	0,5	□0,1	□0,1

Холодную пластическую деформацию осуществляли прокаткой с разными степенями обжатия, что позволяло варьировать степень деформации, которую оценивали по удлинению образцов.

Для исследования использовали метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), микродюрометрию и механические испытания.

Количество образцов на механические испытания для каждого варианта обработки составляло не менее трех. Механические испытания на растяжение проводили с применением испытательных машин ИР5057 и FR100/1. Для определения прочностных и пластических характеристик при испытаниях на растяжение использовали пятикратные образцы по ГОСТ

1497-84. Анализ полученных результатов проводили по стандартным методикам.

Результаты и обсуждение

Для изучения влияния пластической деформации на процессы распада пересыщенного твердого раствора была предложена схема термомеханической обработки (рис. 1). Все образцы сплава 01979 непосредственно после закалки были подвергнуты холодной деформации прокаткой с различными степенями обжатия. На рис. 2. в виде термограмм представлены результаты дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) сплава после такой обработки.

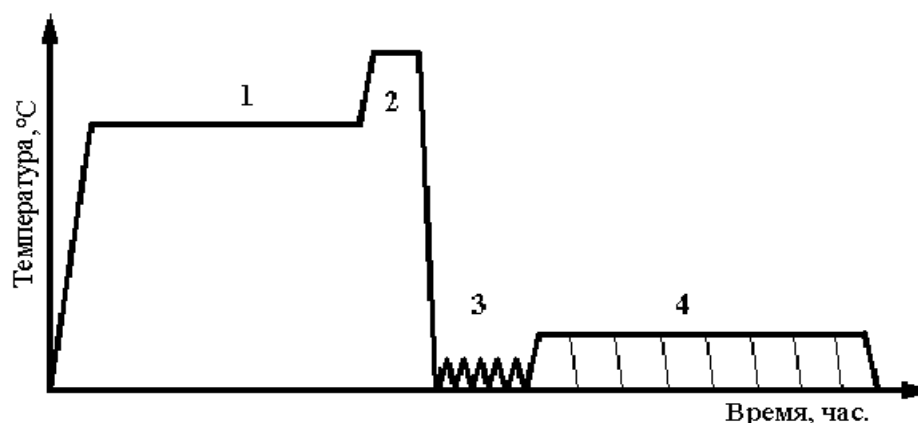


Рис. 1. Режим термомеханической обработки сплава 01979 (схема 1)

1 – Изотермическая выдержка при 400 °C, 10 ч; 2 – Закалка от 465 °C, время выдержки 25 мин. Нагрев в соляной ванне, охлаждение в воде;
3 – Холодная прокатка с разовыми обжатиями 0, 10, 30, 40, 50 %;
4 – Старение при температуре 120 °C с выдержками до 16 ч

Сравнительный анализ кривых ДСК снятых на деформированных образцах и образцах без пластической деформации показал, что использование последней перед старением существенно изменяет кинетику распада пересыщенного твердого раствора. Хорошо видно, что у сплава, который был подвергнут деформации, на термограмме отсутствует пик А. Это может быть связано с тем, что пластическая деформация, увеличивая плотность несовершенств кристаллической решетки, ускоряет все диффузионные процессы и за время холодной прокатки в сплаве полностью протекает стадия выделения зон ГП. Кроме того, с увеличением степени обжатия на кривых ДСК четко прослеживается смещение пика В в сторону более низких температур (рис. 2). Очевидно, это связано с тем, что более высокая степень деформации делает сплав термодинамически менее стабильным и увеличивает скорость распада пересыщенного твердого раствора т.е. старение сплава в таких условиях идет более интенсивно.

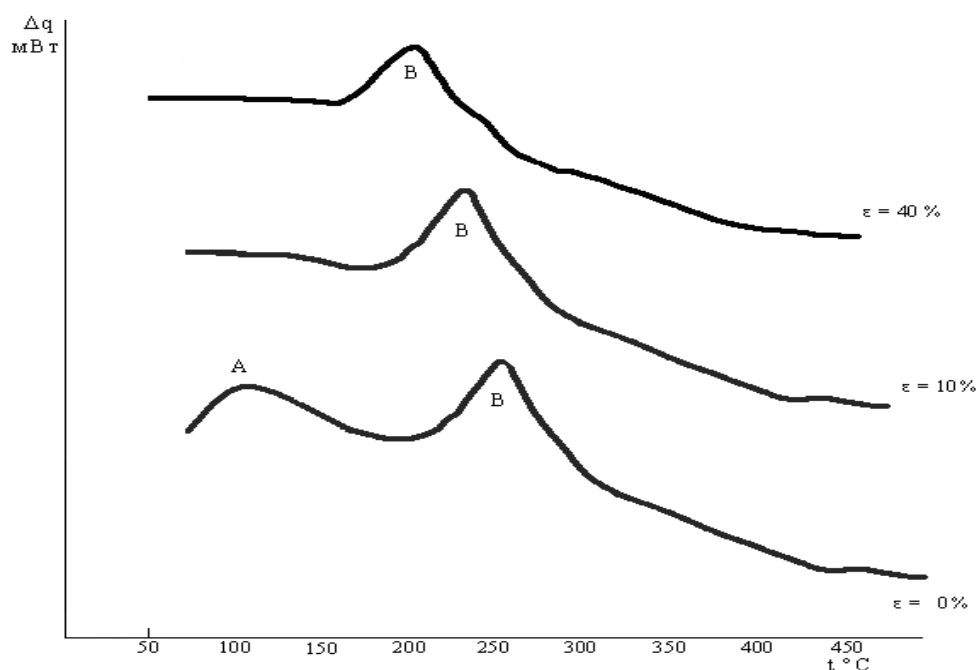


Рис. 2. Результаты ДСК

Анализ изменения микротвердости также подтверждает, что наличие деформации активизирует процессы старения. В местах сосредоточенной деформации микротвердость достигала 3000 МПа, в то время как в менее деформированных участках она была ниже 2600 МПа. Кривые изменения микротвердости, представленные на рис. 3, показывают прямую зависимость скорости упрочнения (распада) от степени деформации. Максимальная скорость распада зафиксирована в образцах с деформацией 40 % и 50 %.

Согласно данным, приведенным в табл. 2, наилучшие показатели механических свойств получены при степенях деформации 40 %.

Таблица 2

Механические свойства образцов

Деформация %	σ , МПа	δ , %
0	790	9
30	800	6
40	810	6
50	710	-

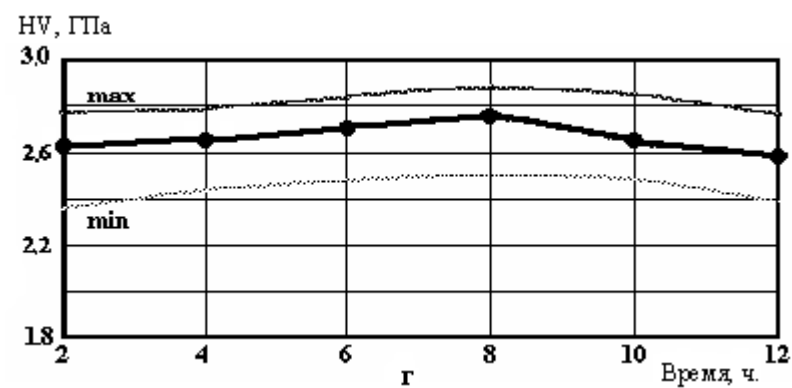
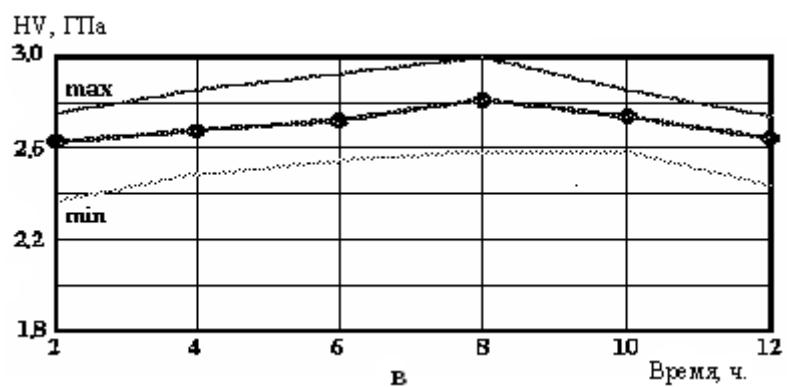
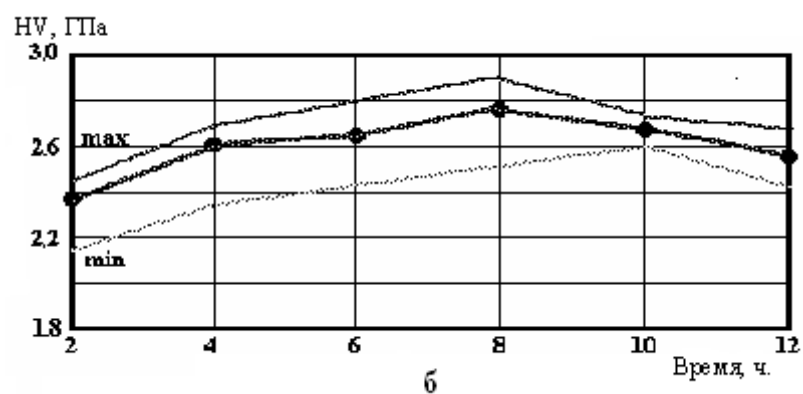
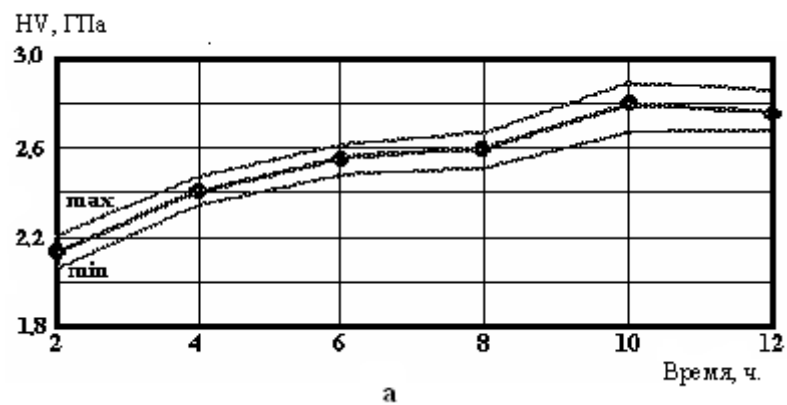


Рис. 3. Изменение микротвердости во время старения при температуре $T = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$: а) 0 % деформации; б) 30 % деформации; в) 40 % деформации; г) 50 % деформации

Анализ полученных результатов, показал следующее:

- Важную роль в процессе термомеханической обработки играет не столько степень деформации, сколько ее равномерность, что возможно при мелкозернистой исходной структуре сплава. Измельчение зерна можно осуществить, введя предварительную деформацию после изотермического старения. В этом случае выделившиеся дисперсные интерметаллиды будут служить барьерами роста новых рекристаллизованных зерен.
- Деформацию рационально осуществлять не сразу после закалки, а после кратковременного предварительного старения, для того чтобы выделившиеся частицы фазы $MgZn_2$ тормозили наблюдающиеся процессы возврата.

Учитывая выше сказанное, нами была изменена схема обработки сплава, представленная на рис. 4.

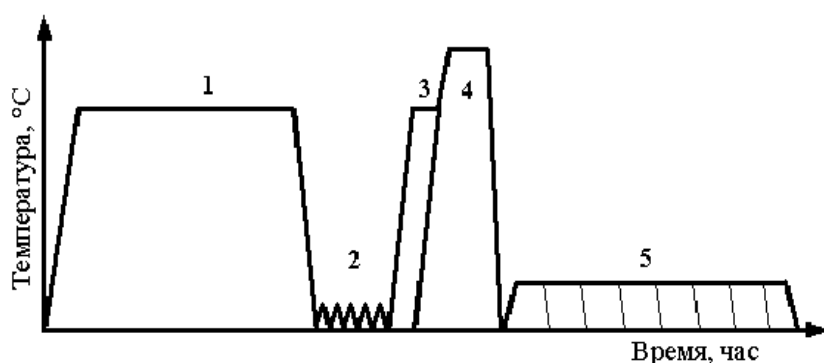


Рис. 4. Режим термомеханической обработки сплава 01979 (схема 2):

1 – Изотермическая выдержка при 400 °C, 10 ч; 2 – Холодная прокатка дробной деформацией с обжатиями 0, 5, 10, 15 %; 3 –Подогрев при 400 °C, выдержка 30 мин. (использовался для части образцов); 4 – Закалка от 465 °C, время выдержки 25 мин.; 5 – Старение при температуре 120 °C в течении 16 ч

Влияние холодной деформации перед закалкой на структуру и свойства гранулированного алюминиевого сплава системы Al-Zn-Mg-Cu

Между первой и второй схемами обработки сплавов существуют два принципиальных различия.

Первое: это очередность проведения пластической деформации. По схеме 1 прокатку проводили непосредственно после закалки, а схема 2 предполагает наличие деформации перед закалкой. Такое изменение в схеме деформации уже не позволяет применять высокие степени деформации. Исходя из этого, деформацию сплава проводили со степенями обжатия 0,5, 10 и 15 %.

Второе: заключается в использовании в схеме 2 подогрева некоторых образцов перед закалкой, что позволяет обеспечить более полное

протекание процессов рекристаллизации. Температура подогрева 400 °С. Все остальные операции остались без изменения.

После деформации по вышеописанным режимам проводилась закалка. Временной интервал между этими операциями был 22 часа.

Операцию старения проводили при 120 °С с текущим контролем микротвердости. Результаты микродюрOMETрических измерений представлены на рис. 5. В сравнении со структурными изменениями, которые наблюдали в ходе старения по схеме 1, в данном случае не происходит значительных изменений в кинетике старения.

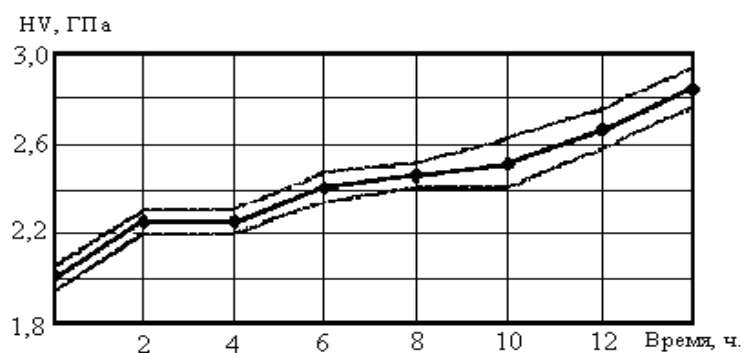


Рис. 5. Изменение микротвердости при старении

После старения проводили испытания на растяжение. Результаты механических испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Механические свойства сплава после старения

№	Деформация, %	Наличие подогрева	σ_b , МПа	δ , %	Микротвердость, МПа
1	0	-	790	7	2790
2	5	-	790	7	2790
3		+	810	8	2805
4	10	-	805	6	2800
5		+	840	7	2840
6	15	-	830	6	2835
7		+	880	6	2895

Анализ данных показал, что сплав приобретает наилучшие свойства после термомеханической обработки, включающей деформацию на 15 % и подогрев перед закалкой (образец № 7). Это объясняется наличием более мелкого рекристаллизованного зерна. Несколько худшие свойства показали образцы, в структуре которых имеются как рекристаллизованные зерна, так и исходные полигонизованные. Данные состояния были получены за счет введения пластической деформации с максимальной

степенью из изученных. При более низких степенях деформации (образцы 1–5) и обработке без подогрева перед закалкой не происходит достаточно полного протекания процессов рекристаллизации. Соответственно комплекс свойств получается более низкий.

В результате проведенной работы показано положительное влияние предварительной деформации перед закалкой полуфабрикатов из гранулированных сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu на комплекс механических свойств, за счет значительного измельчения рекристаллизованного зерна. Достигнуты значения $\sigma_{\text{в}} = 880$ МПа и $\delta = 6$ %, что выше максимальных прочностных показателей сплавов этой системы (до 850 МПа.) при сохранении уровня пластичности.