

ВЛИЯНИЕ ПОВТОРНОГО НАГРЕВА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИСТОВОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ МАГНИЯ

© 2003 В. В. Уваров¹, Е. А. Носова², В. С. Уварова¹

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²Волжский филиал института металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН

Проведено комплексное изучение механических и технологических свойств листовых полуфабрикатов из деформируемого алюминиевого высокомагниевого сплава. Дана оценка возможности его использования при производстве изделий авиационного и автомобильного назначений.

В качестве деформируемого высокопрочного и достаточно пластичного сплава в данной работе исследован опытный сплав системы Al-Mg с содержанием магния около 10 % и добавками циркония, титана, кобальта и бора (условное обозначение – сплав типа AMg10). Листовые полуфабрикаты из опытных партий этого сплава показали уровень свойств, близких к хорошо штампуемой кузовной стали 08ГСЮТ(Ф), применяемой в автомобилестроении [1]. Однако в процессе изготовления деталей автомобильных конструкций из сплава типа AMg10 и их эксплуатации возможным является повторный нагрев, например, при окраске и сушке. Такой нагрев является термическим воздействием на сплав, где после закалки зафиксирован пересыщенный α -твердый раствор при его быстром охлаждении.

Этот процесс может быть классифицирован как искусственное старение, т. е. термическое воздействие, при котором в сплаве, подвергнутом закалке без полиморфного превращения, главным при последующем нагреве является распад пересыщенного твердого раствора. В общем случае из пересыщенного твердого раствора выделяется фаза, отличающаяся от матрицы химическим составом и структурой. Согласно современным представлениям [2], последовательность выделений в сплавах системы Al-Mg с содержанием магния порядка 10 % с ростом температуры старения (при постоянной выдержке) определяется следующими стадиями распада: зоны ГП (Гинье-Престона) →

промежуточная (метастабильная) фаза β' → стабильная β -фаза (Al_2Mg_3)

Для оценки характера и последовательности структурных изменений применялись методы, основанные на изучении механических и технологических свойств в зависимости от температурных режимов повторных нагревов. Такое исследование дает возможность выявить области конкретного проявления эффекта старения в листовых полуфабрикатах сплава типа AMg10. С этой целью исследования включали определение стандартных характеристик при испытании образцов на растяжение $\sigma_b, \sigma_{0.2}, \delta_4, \delta_p, \psi$, а также оценку следующих технологических свойств:

$\rho_{\min} = \frac{r_{\min}}{\delta_0}$ - относительный радиус гибки до

образования трещины;

$\Delta\alpha$ - угол пружинения;

h_{\max} - максимальная глубина лунки при испытании на выдавливание сферической лунки;

μ_{ij} - показатель анизотропии;

$k_{\text{пр}}$ - предельный коэффициент вытяжки.

Температурный режим повторных нагревов определялся значениями $T_1=20^\circ\text{C}$, $T_2=120^\circ\text{C}$, $T_3=170^\circ\text{C}$, $T_4=200^\circ\text{C}$, $T_5=250^\circ\text{C}$, $T_6=320^\circ\text{C}$. Испытания на растяжение проводились на плоских образцах толщиной $a_0 = 1$ мм, шириной $b_0 = 20$ мм, выполненных в соответствии с ГОСТ 1.997-88. Испытывались продольные и поперечные образцы.

Для испытаний и оценки технологических свойств использовались пластинки с размерами, рекомендуемыми соответствующими стандартами.

В таблице 1 приведены основные механические и технологические свойства листовых полуфабрикатов в зависимости от температуры повторного нагрева.

В верхней строке таблицы приведены свойства продольных образцов, в нижней – поперечных.

Анализ результатов испытаний показывает, что при нагреве до температур порядка 170 °С не наблюдается значительного изменения прочностных и пластических характеристик при растяжении и свойств при технологических испытаниях. Очевидно, это связано с образованием зон ГП, которые сами по себе не вызывают значительного изменения свойств, тем более что, вероятно, они возникли еще в процессе закалки и со временем произошло их небольшое увеличение.

При температурах выше 170 °С прочностные свойства несколько возрастают при одновременном значительном снижении пластических характеристик и технологических свойств. При температуре в области 200...320 °С из пересыщенного твёрдого раствора выделяется промежуточная β' , а затем

и β стабильная фаза (Al_2Mg_3), значительно уменьшающая пластичность сплава. Такая динамика развития выделений и, соответственно, свойств позволяет выбрать температурный режим повторного нагрева без значительного снижения уровня технологической пластичности и изменения механических свойств, присущих свежезакаленному состоянию.

Проведенные исследования по изучению влияния повторных нагревов на свойства и структуру опытного сплава с содержанием магния 9...10 % позволяют сделать следующие выводы.

1. Заметных изменений основных механических и технологических свойств не происходит до температур повторного нагрева порядка 170 °С и выдержке менее 30 минут.

2. В интервале температур повторного нагрева 170...250 °С наблюдается существенное повышение прочностных свойств (σ_B от 390...400 до 433...478 МПа, σ_{02} от 193...200 до 233...234 МПа) и падение пластических свойств (δ от 35...36 до 15...16 %, ψ от 45...47 до 29...30 %).

Таблица 1

Механические и технологические свойства листового материала из алюминиевого сплава типа АМг10 при различных температурах повторного нагрева

Механические и технологические свойства	Температура нагрева, Т °С					
	20	120	170	200	250	320
Предел прочности, σ_B МПа	398	397	404	424	437	426
	396	395	398	430	422	422
Условный предел текучести, σ_{02} МПа	204	202	203	213	232	206
	193	191	201	217	224	207
Полное относительное удлинение, δ %	36,1	35,8	35,1	30,1	16,3	12,7
	35,7	35,4	34,0	29,0	15,4	12,3
Равномерное относительное удлинение, δ_p %	30,0	30,1	27,7	24,0	12,1	9,7
	29,3	29,0	26,2	23,2	11,8	9,5
Относительное сужение, ψ %	46,1	45,5	43,3	34,3	29,6	28,5
	46,0	45,0	43,0	33,8	28,0	27,4
Относительный минимальный радиус гiba, ρ_{min} мм	0,75	0,75	1,00	1,25	1,5	2,00
	1,00	1,00	1,25	1,5	2,00	2,50
Угол пружинения, $\Delta\alpha$ град	3,9	3,9	3,95	4,25	4,9	4,8
Показатели анизотропии μ_{ij}	0,446	0,443	0,470	0,445	0,450	0,445
	0,420	0,420	0,417	0,420	0,430	0,430
Глубина лунки при выдавливании, h_{max} мм	9,6	9,55	9,45	9,40	9,40	9,20
Предельный коэффициент вытяжки, $k_{пр}$	2,20	2,19	2,12	2,07	2,02	2,02

3. Дальнейшее повышение температур повторного нагрева выше 250 °С сопровождается резким падением пластических свойств и, соответственно, технологических показателей пластичности.

4. Установлено, что значение минимального радиуса гiba и угла пружинения в температурном интервале 20...170 °С остаются практически постоянными и их значения находятся на уровне $r_{\min}/s_0=0,875$ и $\Delta\alpha=4,25^\circ$. При более высоких температурах нагрева (200...320 °С) происходит заметное ухудшение технологических свойств до значений $r_{\min}/s_0=2,24$ и $\Delta\alpha=5,25^\circ$.

5. Испытания на выдавливание сферической лунки показали, что при повышении температуры повторного нагрева h_{\max} снижается от 9,4...9,6 мм до 9,2...9,3 мм во всем рассматриваемом интервале температур.

6. При определении предельного коэффициента вытяжки образцов, подвергнутых повторным нагревам до различных температур, было обнаружено, что до 175 °С снижение значений $k_{\text{пред}}$ незначительно (от 2,25 при 20 °С до 2,17 при 175 °С). Дальнейшее повышение температуры приводит к снижению $k_{\text{пред}}$ до значения 2,12.

7. Изменения механических и технологических свойств вызваны структурными превращениями, протекающими в сплаве. Так,

при нагреве до температур порядка 170 °С наблюдается небольшое увеличение выделений β -фазы из твердого раствора. Дальнейшее повышение температуры повторного нагрева приводит к увеличению количества и размеров выделившейся второй фазы.

8. Испытания по оценке анизотропии листового материала показали, что коэффициенты поперечной деформации лежат в пределах $\mu_{21}=0,46...0,47$, $\mu_{12}=0,42...0,43$ и $\mu_1=0,44...0,45$, что соответствует показателям, характерным для стандартных алюминиевых сплавов системы Al-Mg.

В процессе производства изделий из сплава АМг10 гибкой и штамповкой не рекомендуется подвергать свежезакалённый сплав АМг10 нагревам до температур выше 170 °С при продолжительности выдержки более 30 минут.

Список литературы

1. Ф. В. Гречников, В. В. Уваров, Г. В. Черепок, Е. А. Носова. Перспективы промышленного производства высокомагниевого алюминиевого деформируемого сплава. Известия Самарского научного центра РАН, том 2, № 1, 2000.
2. И. И. Новиков. Теория термической обработки металлов. Изд.3-е. М.: Металлургия, 1978. - 302 с.

INFLUENCE OF REPEATED HEATING ON MECHANICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF SHEET ALUMINIUM ALLOY WITH A HIGH CONTENT OF MAGNESIUM

© 2003 V. V. Uvarov¹, Y. A. Nosova², V. S. Uvarova¹

¹Samara State Aerospace University

²Volga Branch of A. A. Baikov Institute of Metallurgy of Russian Academy of Science

A complex study of mechanical and technological properties of sheet items of deformable high-magnesium aluminium alloy is carried out. The possibility of its use for manufacturing aircraft and automobile products is estimated.