

УДК 669.717.629.7

Е. В. АВТОКРАТОВА

## ПЕРСПЕКТИВНЫЙ AL-MG-SC СПЛАВ ДЛЯ САМОЛЕТОСТРОЕНИЯ

Рассмотрен новый Al-Mg-Sc сплав для самолетостроения. Показано, что Al-Mg-Sc сплав по характеристикам статической прочности и трещиностойкости не уступает традиционным дуралюминам. Тонкие листы сплава для сверхпластической формовки были получены без затрат на подготовку структуры. В условиях сверхпластической деформации при температуре  $520^{\circ}\text{C}$  и скорости деформации  $5,6 \times 10^{-2} \text{ с}^{-1}$  новый Al-Mg-Sc сплав показал уникальное значение относительного удлинения до разрушения — 2300%. *Алюминиевые сплавы; механические свойства; сверхпластичность; формовка*

В настоящее время для производства самолетов используют исключительно термообработываемые алюминиевые сплавы. Несмотря на распространение композитов и титановых сплавов они остаются основным материалом в самолетостроении. Это связано с их высокой прочностью, сопротивлением усталости и трещиностойкостью. Предпринимаются попытки разработать новые сплавы, которые имели бы преимущества перед существующими материалами в прочностных характеристиках, технологичности, надежности. Внедрение новых сплавов позволит не только повысить надежность и ресурс конструкции, но и снизить ее вес и металлоемкость.

Основным конструкционным материалом гражданского самолетостроения является сплав Al-4%Cu-1,8%Mg-0,7%Mn. С момента начала применения в самолетостроении он непрерывно совершенствовался. Главным направлением являлось повышение его трещиностойкости за счет уменьшения содержания примесей Fe+Si. В 1970–2000 гг. фюзеляжи самолетов изготавливали из сплавов Д16ч (аналог американского сплава 2124), 1163 (аналог современного американского сплава 2324) и сплава 2524 в виде клепаных конструкций из-за склонности сплавов к образованию кристаллизационных трещин при сварке [1]. Данные сплавы применяются в состаренном состоянии и имеют ограничение по температуре эксплуатации из-за снижения коррозионной стойкости при температурах выше  $80^{\circ}\text{C}$  [6]. При термообработке (закалка + низкотемпературное старение) приходится решать целый ряд вопросов для обеспечения размеров.

В настоящее время рассматривается возможность изготовления сварных конструкций из алюминиевых сплавов в самолетостроении. Перспективными материалами для них являются термообработываемые сплавы на основе системы Al-Li-Cu-Mg-Zr и термически неупрочняемые Al-Mg-Sc. Замена клепаных конструкций фюзеляжей самолетов из сплавов Д16ч, 1163 и 2524 на более легкие сварные позволит получить 20–30 процентный выигрыш в весе [1]. Очевидно, что такая замена возможна только при наличии сплава, не уступающего дуралюминам по характеристикам статической прочности и трещиностойкости. Таким требованиям вполне удовлетворяет высокопрочный термически неупрочняемый алюминиевый сплав 1570.

Сплав 1570 системы Al-Mg-Sc был разработан ОАО ВИЛС. Он обладает высокой коррозионной стойкостью и хорошей свариваемостью. Наличие скандия оказывает значительное модифицирующее воздействие на структуру сварного шва. Сварной шов получается плотным, мелкозернистым, устойчивым против горячих трещин [8]. Исследования, проведенные на данном сплаве, показали, что по характеристикам статической прочности он практически не уступает термически упрочняемым алюминиевым сплавам (табл.).

Таблица

Свойства алюминиевых сплавов

Сплав	$d$ , мкм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	СРТУ, мм/ цикл	СРТУ определяли при $\Delta K =$
1570*	1,6	274	388	22,2	4	30 МПа $\sqrt{\text{м}}$
1570, [7]	25	282	400	16	3	31,2 Па $\sqrt{\text{м}}$
Д16чТ, [5]	—	290	440	18	4	31,2 Па $\sqrt{\text{м}}$
Д16, [4]	—	290	430	—	4	31 МПа $\sqrt{\text{м}}$
1163, [2]	—	—	425	11	2,2	30 МПа $\sqrt{\text{м}}$
2524, [2]	—	—	420	15	3	30 МПа $\sqrt{\text{м}}$

\*РКУ прессование,  $T = 325^{\circ}\text{C}$ 

Основной проблемой являлась трещиностойкость. Классический сплав 1570 имел вязкость разрушения меньше, а скорость роста усталостной трещины (СРТУ) в три раза больше, чем сплав 2524, что делало невозможным его использование в авиастроении. Однако при получении мелкого размера зерна в сплаве, методом равноканального углового прессования (РКУ), значение (СРТУ) не уступает сплаву Д16ч. В настоящее время разработан улучшенный вариант сплава 1570 [7], который не уступает сплаву 2524 ни по вязкости разрушения, ни по СРТУ (см. табл.).

Другой проблемой, связанной с применением сплава в авиастроении, является плохая штампуемость в связи с высоким пределом текучести и анизотропией пластического течения. Однако ее вполне можно решить путем высокотемпературной формовки в условиях сверхпластичности. Новый вариант сплава 1570 демонстрирует феноменальные характеристики сверхпластичности, причем перевод материала в состояние сверхпластичности может быть осуществлен за счет минимальных изменений в технологическом процессе изготовления холоднокатаного листа.

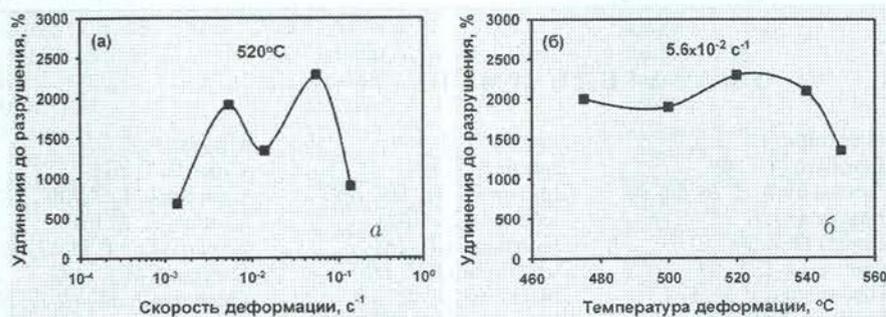


Рис. 1. Влияние температур и скоростей деформации на удлинения до разрушения сплава 1570, прокатанного при комнатной температуре

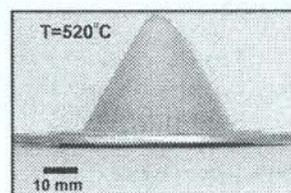


Рис. 2. Образец сплава 1570, полученный сверхпластической формовкой из листовой заготовки

В свою очередь сверхпластическая формовка как ресурсосберегающий процесс открывает возможности новых подходов к конструированию и получению изделий сложной формы с уменьшением числа соединяющих деталей [2]. Исследования, проведенные на сплаве 1570 показали, что можно получить тонкий лист сплава для сверхпластической формовки без затрат на подготовку структуры [3]. На рис. 1 приведено типичное поведение сплава после холодной прокатки в условиях сверхпластической деформации.

Видно, что материал при температуре 520°C (рис. 1, а) демонстрирует уникальные значения относительного удлинения до разрушения,  $\delta$ , (1400–2300%) в широком интервале скоростей деформации ( $10^{-3}$ – $10^{-1}$  с<sup>-1</sup>). Следует также отметить, что при скорости деформации  $5,6 \times 10^{-2}$  с<sup>-1</sup> (рис. 1, б) значение  $\delta \sim 2000\%$  сохраняется в широком интервале температур (470–520°C). Очевидно, что такие высокие значения скорости деформации и пластичности могут позволить значительно сократить рабочий цикл изготовления детали. Кроме того, полученные высокие значения  $\delta$  (> 1000%) могут существенно улучшить качество изделий за счет уменьшения их разнотолщинности, что немаловажно при изготовлении деталей сложной формы.

На рис. 2 продемонстрирован образец, полученный сверхпластической формовкой исходного листа сплава 1570 в конусную матрицу с помощью газа. Данный метод был использован для оценки пластичности материала при его формовке в матрицу сложной формы.

**Заключение.** Учитывая свойства высокопрочных Al-Mg-Sc сплавов, а также тенденцию к снижению веса и металлоемкости конструкции в гражданском самолетостроении, можно ожидать, что эти сплавы найдут свое применение в создании нового поколения широкофюзеляжных самолетов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фридляндер, И. Н. Алюминиевые сплавы в летательных аппаратах в периоды 1970–2000 и 2001–2015 гг. / И. Н. Фридляндер // Технология легких сплавов. 2002. № 4. С. 12–17.
2. Фридляндер, И. Н. Алюминиевые сплавы в летательных аппаратах в периоды 1970–2000 и 2001–2015 гг. / И. Н. Фридляндер // Металловедение и термическая обработка металлов. 2001. № 1. С. 5–9.
3. Kaibyshev, R. High strain rate superplasticity in an Al-Mg-Sc-Zr alloy subjected to simple thermomechanical processing / R. Kaibyshev, E. Avtokratova, A. Apollonov, R. Davies // Scripta Mater. 2006. V. 54. P. 2119–2124.
4. Давыдов, В. Г. Исследования ВИЛСа в области повышения свойств, качества и технологичности полуфабрикатов из алюминиевых сплавов / В. Г. Давыдов, В. И. Елагин, В. В. Захаров // Технология легких сплавов. 2001. № 5–6. С. 6–16.
5. Давыдов, В. Г. О некоторых актуальных проблемах разработки алюминиевых сплавов и технологий для авиакосмического применения / В. Г. Давыдов // Известия вузов. Цветная металлургия. 2001. № 4. С. 32–36.
6. Алиева, С. Г. Промышленные алюминиевые сплавы : справ. изд. / С. Г. Алиева, М. Б. Альтмап, С. М. Амбарцумян [и др.]. М. : Металлургия. 1984. С. 528.
7. Пат. No. 2085607 IPC cl. C22 C 21/06.
8. Филатов, Ю. А. Деформируемые сплавы на основе системы Al-Mg-Sc / Ю. А. Филатов // Металловедение и термическая обработка металлов. 1996. № 6. С. 33–36.

### ОБ АВТОРЕ



Автократова Елена Викторовна, мл. науч. сотр. ИИСМ РАН. Бакалавр техн. и технол. по материаловед. и технол. новых материалов (УГАТУ, 2000), дилл. инж.-мех. по материаловед. в машиностроении (УГАТУ, 2001). Иссл. в обл. механизмов формирования мелкозернистой структуры Al-Mg-Sc сплавов.