

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аверкиев А.Ю. Методы оценки штампуемости листового металла. М.: Машиностроение. 1975. С.175.
2. Katsushi M., Yasuaki S., Mashiro Y. U.S. Patent 6334916, January, 2002.
3. Фридляндер И.Н., Шамрай В.Ф., Бабарэко А.А. и др. //Металлы. 1999. №2. С. 79–84.
4. Фридляндер И.Н., Бабарэко А.А., Сандлер В.С. //Перспективные материалы. 2000. №4. С. 19–24.
5. Шамрай В.Ф., Грушко О.Е., Шевелёва Л.М., Самсонов В.Д. //Перспективные материалы. 2004. №5. С. 16–22.

УДК 669.715:669.884

Ю.Ю. Клочкова, О.Е. Грушко, Л.П. Ланцова, И.П. Бурляева, Б.В. Овсянников\*

### ОСВОЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ПЕРСПЕКТИВНОГО АЛЮМИНИЙЛИТИЕВОГО СПЛАВА В-1469

*Приведены результаты испытаний катаных и прессованных полуфабрикатов из сплава В-1469-Т1. Сплав В-1469 на основе системы Al–Cu–Li–Mg–Ag является алюминиевым деформируемым, термически упрочняемым, пониженной плотности, высокопрочным, высококоррозионностойким.*

***Ключевые слова:** листы, прессованные профили, раскатные кольца, алюминийлитиевые сплавы, исследование, термическая обработка.*

Создание российских гражданских и боевых самолетов нового поколения, а также современных образцов ракетно-космической техники, в том числе работающих в условиях криогенных температур, требует разработки и освоения промышленного производства новых конструкционных материалов [1–3].

Алюминиевые сплавы являются основным конструкционным материалом летательных аппаратов, поэтому на протяжении нескольких десятилетий как за рубежом, так и в России ведутся исследования, направленные на разработку алюминиевых сплавов, легированных литием, обладающих большей удельной прочностью и жесткостью [4].

Работами зарубежных исследователей показано, что при дополнительном легировании сплавов системы Al–Cu–Li серебром можно получить более высокий уровень прочностных характеристик. Положительное влияние серебра на эффект старения сплавов алюминий–литий и алюминий–медь–литий было обнаружено Харди еще в 1956 году. В настоящее время зарубежные фирмы разрабатывают третье поколение таких сплавов.

В 2003 г. во ФГУП «ВИАМ» разработан и запатентован высокопрочный высококомодульный ( $E=78–80$  ГПа) коррозионностойкий свариваемый сплав В-1469 пониженной плотности ( $d=2,67$  г/см<sup>3</sup>) на основе системы Al–Cu–Li–Mg, легированный Ag, Zr и Sc. Благодаря дополнительному легированию цирконием, скандием и серебром, по удельной прочности он превосходит все существующие алюминиевые деформируемые сплавы, имеет высокие характеристики коррозионной стойкости и эксплуатационной надежности. Сплав технологичен при литье и обработке давлением, что позволяет получать из него все виды полуфабрикатов.

---

\*ОАО «КУМЗ», г. Каменск-Уральский.

Создание элементов конструкций требует получения широкой номенклатуры полуфабрикатов. Для этого были разработаны технологические параметры получения, режимы термической обработки полуфабрикатов, получены опытно-промышленные партии, проведены их комплексные исследования.

Впервые в условиях промышленного металлургического производства проведена плавка сплава В-1469 на плавильно-литейном агрегате массой 8 т в составе индукционной тигельной печи и вакуумного миксера, отлиты полунепрерывным методом плоские и цилиндрические слитки. Получены опытно-промышленные партии катаных, ковано-катаных и прессованных полуфабрикатов.

Листы толщиной 1,5–3 мм изготовлены холодной рулонной прокаткой из горячекатаного рулона толщиной 7 мм (рис. 1) с одним промежуточным отжигом без плакировки. При прокатке сплав показал себя высокотехнологичным, возможна прокатка листов до толщины 0,35 мм.

Микроструктура листов тонковолокнистая с расположенными по границам зерен мелкодисперсными фазовыми составляющими (рис. 2). Механические свойства при растяжении листов в продольном (Д) и поперечном (П) направлениях приведены в табл. 1.

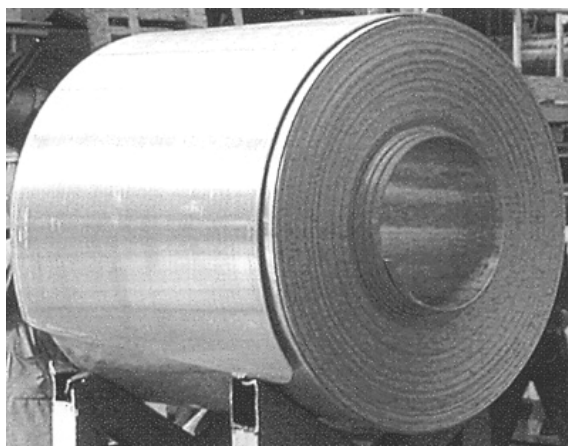


Рис. 1. Горячекатаный рулон (толщина 7 мм) из сплава В-1469



Рис. 2. Микроструктура ( $\times 50$ ) листов (толщина 1,5 мм) из сплава В-1469-Т1

Таблица 1

**Механические свойства при растяжении листов толщиной 1,5–3 мм при комнатной и повышенных температурах**

Температура испытания, °С	Направление вырезки образца	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5$ , %
		МПа		
20	Д	590	560	9,0
	П	560	530	10,0
125	Д	545	520	13,0
150	Д	530	500	15,0

Свойства листов при повышении температуры испытаний с 125 до 150°С, монотонно снижаясь, остаются на достаточно высоком уровне. При испытании механических свойств при отрицательных температурах (-70 и -150°С) сплав показал себя не склонным к охрупчиванию. Определены свойства при сжатии: модуль нормальной упругости  $E_{сж}$ =80–81 ГПа, условный предел текучести  $\sigma_{0,2сж}$ =565 МПа.

Малоцикловая усталость (МЦУ) определена при осевой нагрузке на полосу с отверстием (концентратор напряжения  $K_f=2,6$ , частота  $\nu=40$  Гц, коэффициент асимметрии  $R=0,1$ ) и оценена количеством циклов нагружения  $N$ : при максимальном нагружении цикла  $\sigma_{\max}^{\text{нстто}}=157$  МПа –  $N>300$  кцикл (образцы сняты без разрушения). Оценка чувствительности к отверстию ( $\sigma_{\text{в.отв}}/\sigma_{\text{в}}$ ) листов сплава В-1469-Т1 при испытании на растяжение образцов с отверстием ( $K_f=2,6$ ) показала, что листы из сплава В-1469 практически не чувствительны к концентратору, так как отношение  $\sigma_{\text{в.отв}}/\sigma_{\text{в}}$  составило  $\sim 1,0$ .

Критический коэффициент интенсивности напряжений в условиях плосконапряженного состояния  $K_{Ic}^y$  (при  $B=200$  мм) составил  $70 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$  в направлении ДП (Д – направление оси образца, П – направление плоскости трещины).

Листы толщиной 1,5–3 мм показали высокую коррозионную стойкость: глубина межкристаллитной коррозии (МКК) составила 0,07–0,14 мм, расслаивающая коррозия (РСК) оценена 3 баллом. При определении коррозионной стойкости (КР) на установке «Сигнал» образцы, вырезанные в поперечном направлении, простояли более 45 сут без разрушения при напряжении 400 МПа.

Разработаны технологические режимы и изготовлены в промышленных условиях опытные партии прессованных профилей различного сечения. Профили отлично распрессовывались при скорости прессования до 1 м/мин, имели удовлетворительную геометрию и качество поверхности. Микроструктура в поверхностных и центральных слоях представляет собой тонкую волокнистую субзеренную структуру на периферии и более крупнозернистую в центре (рис. 3) [5]. Механические свойства при растяжении профилей при комнатной температуре приведены в табл. 2.

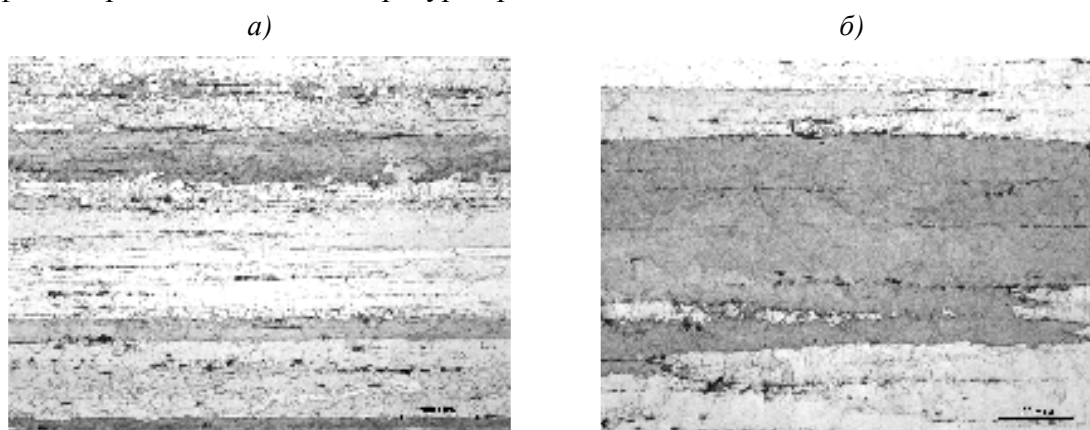


Рис. 3. Микроструктура периферийной (а) и центральной зон (б) профиля с выходного конца

Таблица 2

**Механические свойства при растяжении прессованных профилей**

Толщина полки, мм	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$
	МПа		
До 40	580	550	8,0
Св. 40 до 80	620	590	10,0

МЦУ профилей определена при осевой нагрузке на полосу с отверстием (концентратор напряжения  $K_f=2,6$  при  $\nu=5$  Гц,  $R=0,1$ ) и составляет при  $\sigma_{\max}^{\text{нстто}}=157$  МПа  $N>400$  кцикл (образцы сняты без разрушения). Вязкость разрушения  $K_{Ic}$  в направлении ПД составляет  $24,7 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ , в направлении ВД –  $K_{Ic}=23,2 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ .

Прессованные профили, как и листы, показали высокую коррозионную стойкость: МКК – до 0,14 мм, РСК: 3 балл. При определении коррозионной стойкости (КР) на установке «Сигнал» образцы простояли более 45 сут без разрушения при напряжении 300 и 280 МПа в поперечном и высотном направлениях соответственно.

Раскатные кольца размером  $\varnothing 1030/\varnothing 850 \times 320$  мм получены из кованных заготовок размером  $400 \times 650$  мм (рис. 4). Ковка и раскатка при получении раскатных колец проведены без промежуточных отжигов.

Для выявления внутренних дефектов проведен ультразвуковой контроль раскатных колец в закаленном состоянии иммерсионным методом на автоматизированной установке. В кольцах не обнаружены эхосигналы от дефектов, равные или превышающие по амплитуде эхосигналы от плоскодонного отражателя  $\varnothing 1,2$  мм. Для испытания механических свойств отобраны образцы в хордовом, радиальном и осевом направлениях (табл. 3).

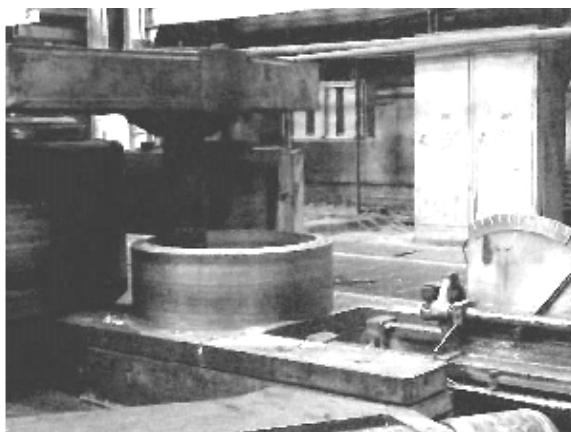


Рис. 4. Раскатка кольца из сплава В-1469

Таблица 3

**Механические свойства раскатных колец**

Направление вырезки образца	$\sigma_B$	$\sigma_{0,2}$	$\delta_5, \%$
	МПа		
Хордовое (Д)	500	445	10,0
Радиальное (П)	480	420	4,6
Осевое (В)	495	450	4,5

В результате проведенной работы по освоению сплава В-1469 установлено, что он имеет высокую технологичность: неплакированные листы толщиной 1,5–3 мм получены рулонной холодной прокаткой с одним отжигом; профили хорошо распрессовывались при скорости прессования до 1 м/мин, имели удовлетворительную геометрию и качество поверхности; ковка и раскатка при получении раскатных колец проведены без промежуточных отжигов. Это указывает на принципиальную возможность получения любых видов полуфабрикатов.

Сплав В-1469 рекомендован для элементов, работающих на сжатие длительно во всеклиматических условиях до температур  $150^\circ\text{C}$  (верхние поверхности крыла, лонжероны, балки, стрингеры и другие детали фюзеляжа). Сплав может быть эффективно использован в клепаных и сварных конструкциях самолетов, а также ракетно-космической технике. Применение сплава В-1469 позволит снизить массу деталей и узлов на 10% – в клепаной и на 20% – в сварной конструкции.

Сплав В-1469 имеет зарубежные аналоги – сплавы 2195 и 2098 системы Al–Cu–Li, химический состав которых внесен в международный стандарт. По имеющимся сведениям, по прочностным характеристикам сплав В-1469 не уступает зарубежным аналогам, при этом имеет меньшую анизотропию свойств и более высокие характеристики вязкости. На все виды полуфабрикатов имеется научно-техническая документация на изготовление и поставку.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Journal of Aircraft. 2000. V. 37. № 1. P. 24–25.
2. Фридляндер И.Н. Российские алюминиевые сплавы для авиакосмической техники и транспорта //Авиационные материалы. Вып. «Перспективные алюминиевые, магни-

- вые и титановые сплавы для авиакосмической техники». М.: ВИАМ. 2002. С. 3–11.
3. Фридляндер И.Н. Воспоминания о создании авиакосмической и атомной техники из алюминиевых сплавов. М.: Наука. 2005. 277 с.
  4. Aluminium Alloys. 2006. ICAA-10. (Vancouver, Canada). 2006. July.
  5. Алюминиевые сплавы. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. М.: Металлургия. 1974. С. 196–276.

УДК 620.172.21:669.157.8:669.718

*Н.И. Колобнев, В.В. Махсидов, С.В. Самохвалов,  
С.В. Сбитнева, В.И. Попов, М.Г. Курс*

### **ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ И РЕЖИМОВ СТАРЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА СИСТЕМЫ Al–Mg–Si–Cu–Zn**

*Исследовано влияние вида деформации и режимов старения на структуру, механические свойства и склонность к межкристаллитной коррозии (МКК) плит из сплава 1370 системы Al–Mg–Si–Cu–Zn. Деформацию плит проводили между закалкой и искусственным старением прокаткой, растяжением и совместно прокаткой+растяжением. Склонность к МКК сплавов этой системы возможно существенно снизить при применении режимов старения на стадии перестаривания. Однако при этом существенно снижаются прочностные характеристики и появляются питтинги глубиной 0,16–0,28 мм. Применение низкотемпературной термомеханической обработки (НТМО) и оптимизация режима старения позволили уменьшить склонность плит из сплава 1370 к МКК при сохранении высокого уровня прочностных характеристик сплава.*

**Ключевые слова:** Al–Mg–Si–Cu–Zn, НТМО, режимы старения, МКК.

Сплавы 6013 и 6056 системы Al–Mg–Si с повышенным содержанием меди (0,5–1,1%) применяются для элементов обшивки фюзеляжа и внутреннего набора планера самолета, так же как и российский сплав 1370, близкий по химическому составу к сплаву 6056.

Однако сплавы системы Al–Mg–Si–Cu в искусственно состаренном состоянии обладают склонностью к межкристаллитной коррозии (МКК). Существует два известных способа снижения склонности к МКК: дополнительное легирование и применение режимов перестаривания сплава [1, 2].

С целью снижения склонности к МКК сплав 6056 дополнительно легирован Zn (0,1–0,7% по массе) и при его термической обработке применяется двухступенчатый режим старения с перестариванием (Т78) [1–4]. В результате склонность к МКК в сплаве была устранена. При этом существенно снизились характеристики прочности и появилась питтинговая коррозия глубиной до 0,16 мм (табл. 1).

*Таблица 1*

**Влияние режима старения на механические и коррозионные свойства сплава 6056 [3, 4]**

Режим старения	$\sigma_b$	$\sigma_{0,2}$	$\delta$ , %	Вид и глубина коррозионных поражений, мм
	МПа			
180°C, 8–10 ч (Т6)	387	355	7,5	МКК: 0,13
175°C, 6 ч + 190°C, 13 ч (Т78)	364	337	10,5	Питтинг: 0,16