

СТРУКТУРА И ПРОЧНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЛИСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1545К

В.С. Муратов¹, Д.П. Юдаев²

¹Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244

²ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс»
443009, Самара, ул. Земеца, 18
E-mail: yudaevdp@gmail.com

В работе определены механические характеристики и структура сварных соединений листовых полуфабрикатов из алюминиевого сплава 1545К, выполненных автоматической сваркой в инертных газах, коэффициенты ослабления сварного соединения для разных состояний материала

Ключевые слова: *алюминиевый сплав, сварное соединение, прочность, структура.*

В настоящее время для изготовления сварных криогенных герметичных конструкций ракетно-космической техники применяется термически неупрочняемый алюминиевый сплав АМг6 системы Al-Mg. Для изготовления элементов конструкций перспективных ракет-носителей, использующих в качестве одного из компонентов топлива жидкий водород, необходимо применять алюминиевые сплавы с более высокими прочностными, технологическими и эксплуатационными свойствами [1].

Применение термически упрочняемых алюминиевых сплавов, таких как сплав 1201 системы Al-Cu, для изготовления герметичных баковых конструкций затруднено из-за низкой технологичности этих сплавов при сварочных и формообразующих операциях, невозможности ремонта изготовленных сборок. Кроме того, применение термически упрочняемых сплавов требует значительных энергозатрат на термическую обработку при изготовлении изделий.

Алюминиевый термически неупрочняемый сплав 1545К системы Al-Mg-Sc имеет расширенный диапазон рабочих температур, обладает более высокими механическими характеристиками по сравнению со сплавом АМг6, поэтому рекомендуется для изготовления герметичных баковых конструкций перспективных ракет-носителей.

Сравнительные механические характеристики листов из сплавов АМг6 и 1545К в разных состояниях приведены в табл. 1.

Высокие механические, технологические и эксплуатационные характеристики полуфабрикатов из сплава 1545К обеспечиваются совместным легированием переходными металлами.

Добавки скандия, марганца, хрома и циркония приводят к формированию в деформированных полуфабрикатах развитой субзеренной структуры, появлению эффектов дисперсионного упрочнения за счет выделения дисперсных частиц алюминидов и структурного упрочнения, связанного с сохранением нерекристаллизованной структуры [2].

*Владимир Сергеевич Муратов – д.т.н., профессор.
Дмитрий Петрович Юдаев – аспирант.*

Механические и эксплуатационные свойства листов из сплавов АМг6 и 1545К

Марка сплава	Диапазон рабочих температур	Состояние	Направление вырезки образцов	Механические свойства при 20 °С		
				σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ
				МПа		%
АМг6	От -196 °С до 150 °С	Отожженное	Поперечное	315	155	15
		Нагартованное		372	284	6
1545К	От -253 °С до 150 °С	Отожженное		400	300	15
		Нагартованное		440	340	12

Свойства сварных соединений из алюминиевых сплавов зависят от процессов, протекающих как в зоне сварного шва, так и в околошовных зонах. При сварке листовых полуфабрикатов из сплавов, неупрочняемых термической обработкой, к которым относится сплав 1545 К, в зоне теплового воздействия наблюдается рост зерна и некоторое их разупрочнение, вызванное снятием нагартовки. Рост зерна и разупрочнение нагартованного металла при сварке изменяются в зависимости от способа сварки, режимов и степени предшествовавшей нагартовки сплава.

Для применения полуфабрикатов из сплава 1545 К в сварных деталях и сборках необходимо определить механические характеристики, структуру и наличие дефектов в сварных соединениях, а также оценить снижение механических характеристик в зоне сварного шва по сравнению с основным металлом.

Для изготовления ответственных герметичных сварных конструкций – баков ракет-носителей используется автоматическая сварка в инертных газах неплавящимся электродом с присадкой (АИНп), обеспечивающая качество шва при высокой производительности [3]. Отработка технологии сварки проводилась на образцах, вырезанных из листов сплава 1545 К в отожженном и нагартованном состоянии.

Размеры образцов:

- для нагартованного состояния – пластина 4×50×200 мм;
- для отожженного состояния – пластина 4,5×50×200 мм.

Подготовка под сварку – травление с последующей зачисткой шабером.

Экспериментальные режимы сварки подбирались исходя из толщины свариваемых листов по отраслевым нормативным документам аналогично сплаву АМг6.

Для сварки образцов из нагартованных листов сплава 1545 К толщиной 4 мм был выбран следующий режим:

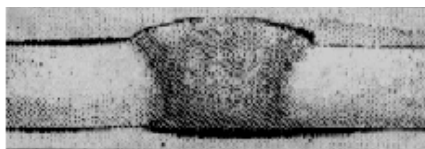
- сварочный ток – 230 А;
- скорость сварки – 14 м/час;
- расход аргона – 12-14 л/мин.

Для сварки образцов из отожженных листов сплава 1545 К толщиной 4,5 мм режим сварки:

- сварочный ток – 260 А;
- скорость сварки – 14 м/час;
- расход аргона – 12-14 л/мин.

В качестве присадочного материала использовалась проволока диаметром 2,5 мм из сплава 1545 К.

Из полученных сварных соединений вырезались образцы для определения механических свойств по ГОСТ 6996-66. Также изготавливались макрошлифы для оценки структуры в зоне сварного шва. Проводился рентгеновский контроль сварных соединений на наличие дефектов.



Фотография макроструктуры сварного шва (×5)

Металлографическими исследованиями поперечных сечений и рентгеновским контролем установлено: структура сварных стыковых соединений из листовых полуфабрикатов сплава 1545 К плотная, без трещин, пористости и других несплошностей (см. рисунок). При испытаниях на прочность разрушение образцов происходило по основному материалу.

Результаты испытаний на растяжение образцов сварных соединений из листов сплава 1545 К и характеристики сварных соединений из листов сплава АМг6 по данным отраслевых стандартов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства сварных стыковых соединений из листов сплавов АМг6 и 1545К

Марка материала	Толщина листа, мм	Состояние	Среднее значение $\sigma_{\text{в}}$, МПа
АМг6	4,0	Нагартованное	310
	4,5	Отожженное	290
1545К	4,0	Нагартованное	381
	4,5	Отожженное	376

Коэффициенты ослабления сварного соединения для различных состояний листов определялись по формуле

$$K_{\text{осл}} = \frac{\sigma_{\text{всв}}}{\sigma_{\text{восн}}},$$

где $\sigma_{\text{всв}}$ – временное сопротивление разрыву сварного соединения; $\sigma_{\text{восн}}$ – временное сопротивление разрыву основного материала.

Для сварных соединений, полученных из нагартованных листов сплава 1545К, значение коэффициента ослабления равно

$$K_{\text{осл}} = \frac{381}{440} = 0,87 \text{ (для нагартованных листов из сплава АМг6 } K_{\text{осл}} = 0,8).$$

Для сварных соединений, полученных из отожженных листов сплава 1545К,

$$K_{\text{осл}} = \frac{376}{400} = 0,94 \text{ (для нагартованных листов из сплава АМг6 } K_{\text{осл}} = 0,9).$$

Таким образом, качество сварных соединений листовых полуфабрикатов из алюминиевого сплава 1545К, выполненных АИИп сваркой, соответствует требованиям отраслевых стандартов к сварным соединениям листов из сплава АМг6. Прочность сварных соединений листов сплава 1545К превосходит прочность аналогичных соединений листов сплава АМг6.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Елагин В.И.* Пути развития высокопрочных и жаропрочных конструкционных алюминиевых сплавов в XXI столетии // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 2007. – № 9. – С. 3-11.
2. *Рохлин Л.Л., Добаткина Т.В., Королькова И.Г., Болотова М.Н.* Исследование совместного влияния скандия на структуру и механические свойства алюминия и его сплавов с магнием // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 2008. – № 3. – С. 24-27.
3. *Белецкий В.М., Кривов Г.А.* Алюминиевые сплавы (состав, свойства, технология, применение) / Под. общ. ред. И.Н. Фридляндера. – Киев: Коминтех, 2005. – 365 с. – ISBN 966-8550-25-0.

Статья поступила в редакцию 14 апреля 2011 г.

UDC 669.71

STRUCTURE AND STRENGTH OF WELDS OF SHEET PRODUCTS OUT OF ALUMINUM ALLOY 1545K

V.S. Muratov¹, D.P. Yudaev²

¹Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

²The State Research and Production Space Center «TsSKB-Progress»
18, Zemetsa st., Samara, 443009

The paper identified the mechanical characteristics and structure of welded joints of sheet semifinished products from aluminum alloy 1545K performed automatic welding in inert gases, dilution factors of welded joints of different states of the material.

Keywords: *aluminum alloy, weld, strength, structure.*

*V.S. Muratov – Doctor of Technical Sciences, Professor.
D.P. Yudaev – Postgraduate student.*