

УДК 621.791.14

СВАРИВАЕМЫЙ АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ 1565Ч

А.М. Дриц, В.В. Овчинников

В статье приведены результаты исследований механических свойств листов алюминиевого сплава 1565Ч в зависимости от степени нагартовки и режима термической обработки после прокатки. Показано, что проведение отжига при температуре 315–320°C снижает прочностные и повышает пластические свойства листов. Установлено, что листы имеют близкие свойства вдоль и поперек направления их прокатки. Приведены механические свойства сварных соединений листов сплава 1565 Ч, выполненных аргонодуговой сваркой, при различных температурах испытаний.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы системы Al–Mg, листы сплава 1565Ч, легирование цинком, механические свойства, термическая обработка листов, аргонодуговая сварка, свойства сварных соединений

Введение

Мировая тенденция развития автомобилестроения и вагоностроения, в том числе грузового, заключается в расширении области применения алюминиевых сплавов для изготовления кузовов вагонов и автомобильных цистерн [1, 2]. Это обусловлено практически в три раза меньшим удельным весом алюминиевых сплавов по сравнению со сталью, в два раза большей удельной прочностью и лучшей коррозионной стойкостью в нейтральных и кислых средах по сравнению с низколегированной сталью.

В настоящее время алюминиевые сплавы применяются для изготовления вагонов скоростных поездов, а также кузовов грузовых вагонов для перевозки сыпучих грузов. Пассажирские вагоны скоростных поездов изготавливаются из полых алюминиевых панелей, обладающих повышенной прочностью и жесткостью. Использование таких полуфабрикатов позволяет существенно снизить трудоемкость сборки кузова. Применение алюминиевых сплавов позволяет снизить массу тары цистерн на 350–500 кг, массу вагонов на 3–6 т, что в конечном итоге способствует повышению их грузоподъемности.

Для изготовления цистерн и кузовов вагонов применяются сплавы системы Al–Mg, в частности, сплав АМг5. Данный сплав обладает достаточно высокой прочностью и пластичностью, хорошей технологичностью при обработке давлением (штамповке, гибке), хорошей свариваемостью и умеренной стоимостью.

Дальнейший ресурс повышения грузоподъемности автомобильных цистерн и грузовых железнодорожных вагонов заключается в применении для их изготовления алюминиевых сплавов, более прочных по сравнению со сплавом АМг5. Это позволит сократить толщину листов, идущих на изготовление цистерн с 6–7 мм до 5 мм и тем самым уменьшить массу изделия.

В частности, таким материалом является сплав 1565Ч, который относится к свариваемым алюминиевым сплавам и является многофункциональным сплавом, обеспечивающим оптимальное сочетание прочности, пластичности и специальных характеристик в зависимости от области его применения.

Полуфабрикаты из сплава 1565Ч могут поставляться в горячекатанном, нагартованном или отожженном состояниях. Из данного сплава можно изготавливать все виды полу-

фабрикатов (листы, профили, плиты, прутки, панели, штамповки и поковки). Сплав 1565ч разработан компанией Алкоа Россия совместно с ЦНИИ КМ «Прометей» и ОАО «НИИ Стали».

Целью данной работы являлось исследование механических свойств листов сплава 1565ч в зависимости от степени нагартовки при прокатке, влияния режимов отжига на изменение этих свойств, а также механических свойств сварных соединений в зависимости от условий испытаний. Кроме этого, производилось сравнение механических свойств листов сплава 1565ч со свойствами листов сплавов АМг5, АМг6 и 1915, которые применяются для изготовления транспортных средств.

Образцы для испытаний

В исследовании применялись образцы по ГОСТ 1497-84 из листов сплавов 1565ч, АМг5, АМг6 и 1915 толщиной 3 и 5 мм. Для исследований использовались листы сплава 1565ч, изготовленные по ТУ 1-3-194–2011 [3]. Химический состав исследуемых сплавов приведен в табл. 1.

Для подготовки образцов к сварке применялось химическое травление в растворе щелочи (NaOH) с последующим осветлением в растворе азотной кислоты. Образцы для механических испытаний изготавливали аргонодуговой сваркой в соответствии с ГОСТ 14806–80 [4].

Непосредственно перед сваркой стыкуемые кромки образцов подвергали шабрению по торцевой и по обратной поверхности (полоской шириной 10 мм от стыка). После сварки образцы сварных соединений проходили рентгеновский контроль.

Сварку образцов толщиной 3 мм осуществляли при помощи автоматической аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым

электродом (TIG) на переменном токе в один проход с присадочным металлом и формированием выпуклости шва с лицевой стороны. Скорость сварки варьировалась в диапазоне 12–25 м/ч. В качестве присадочного металла использовалась проволока марки СВАМг61 диаметром 2 мм.

Образцы из листов толщиной 5 мм изготавливали сваркой плавлением с V-образной разделкой кромок в два прохода с зачисткой поверхности шва металлической щеткой после первого прохода.

Для механических испытаний для определения характеристик прочности и пластичности при растяжении, угла изгиба, ударной вязкости (по шву и зоне сплавления) изготавливались образцы в соответствии с ГОСТ 6996-66 типа XIII. Испытания проводили на машине «Шенк гидроимпульс-100». При определении свойств сварных соединений руководствовались методиками, предусмотренными ОСТ 32.153-2000, и государственными стандартами на методы испытаний металлов: ГОСТ 1497-84, ГОСТ 9454-78, ГОСТ 25.502.-79.

Макроструктуру металла сварных соединений, а также характер их разрушения исследовали с помощью цифрового стереоскопического микроскопа Motic DM-39C-N9GO-A.

Для исследования влияния режимов отжига на механические свойства листов сплава 1565ч в нагартованном состоянии использовали воздушную муфельную печь с рабочей температурой в диапазоне 100–950°C.

Испытания для листов сплава 1565ч

В таблице 2 представлены механические свойства листов сплава 1565ч в различных состояниях, отличающихся степенью деформации при холодной прокатке.

Таблица 1

Химический состав алюминиевых сплавов по основным элементам

Содержание легирующих элементов, мас. %								
Марка сплава	Mg	Mn	Zn	Cu	Zr	Cr	Fe	Si
1565ч	5,1–6,2	0,4–1,2	0,45–1,2	0,01–0,20	0,2	0,25	0,3	0,2
АМг5	4,8–5,8	0,5–0,8	0,20	0,05	–	–	0,4	0,4
АМг6	5,8–6,8	0,5–0,8	0,20	0,10	0,2	–	0,4	0,4
1915	1,3–1,8	0,2–0,6	3,4–4,0	0,1	0,15–0,22	0,08–0,2	0,4	0,3

Таблица 2

Механические свойства листов сплава 1565ч при растяжении

Состояние поставки	Толщина, мм	Механические свойства, не менее		
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
М	3	335	165	15
	5	335	175	15
Н116	3	340	185	14
	5	337	180	15
НН	3	370	270	10
	5	362	265	11
Н321	3	370	270	10
	5	365	265	11

Примечание: М – горячая прокатка + отжиг 320°C, 0,5 ч; Н116 – горячая прокатка + холодная прокатка с $\varepsilon = 6,5\text{--}11\%$; НН – горячая прокатка + холодная прокатка с $\varepsilon = 21\text{--}34\%$; Н321 – горячая прокатка + холодная прокатка с $\varepsilon = 24\%$ + отжиг 245°C, 8 ч; σ_B – временное сопротивление (предел прочности); $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести; δ – относительное удлинение при разрыве.

Таблица 3

Сравнительные механические свойства листов алюминиевых сплавов

Сплав	Толщина, мм	Механические свойства при растяжении, не менее		
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
АМг5М	6	275	130	15
АМг6М	6	315	155	15
1565чМ	3	335	165	15
	5	335	175	15
1915	6	315	195	10

Полученные данные свидетельствуют, что с ростом степени деформации при холодной прокатке усиливается влияние нагартовки на механические свойства исследуемых листов: прочностные свойства (особенно предел текучести) возрастают, а пластические – снижаются.

В таблице 3 представлены сравнительные данные по свойствам листов сплава 1565ч в состоянии после отжига (М) и других алюминиевых сплавов, применяемых для изготовления автомобильных цистерн и грузовых железнодорожных вагонов. Уровень прочностных характеристик листов из сплава 1565ч почти на 20% выше, чем у сплава АМг5, при сохранении высокой пластичности.

Оценка влияния направления вырезки образцов (анизотропии) и отжига при 320°C в

течение 1 часа (состояние М) на механические свойства при растяжении приведены в табл. 4. Видно, что анизотропия мало влияет на механические свойства листов сплава 1565ч.

Результаты испытаний на растяжение свидетельствуют о том, что отжиг приводит к небольшому снижению предела текучести, но увеличивает пластические свойства. Для сплава 1565ч Н116 анизотропия свойств вдоль и поперек направления прокатки находится в пределах 1–2% по временному сопротивлению и до 15% по относительному удлинению.

Ударную вязкость КСЧ определяли на стандартных образцах размером 55×10×5 мм с надрезом радиусом 1 мм при температурах 20, –20, –40, –60°C. Результаты испытаний приведены в табл. 5.

Таблица 4

**Влияние направления вырезки образцов
на механические свойства листов сплава 1565ч при растяжении**

Сплав, состояние	Направление вырезки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
1565ч Н116, толщиной 5 мм	продольное	365	221	16,2
	поперечное	350	206	18,3
1565чМ, толщина 5 мм	продольное	366	173	21,5
	поперечное	360	175	21,2
1565чМ, толщина 3 мм	продольное	360	185	18,5
	поперечное	370	200	18,0

Таблица 5

Ударная вязкость листов толщиной 5 мм из сплавов

Сплав, состояние	Направление прокатки	Ударная вязкость (КСУ), Дж/см ²			
		при температуре испытания, °С			
		+20	–20	–40	–60
1565чН116	продольное	25	23	22	21,5
	поперечное	24	22	19,5	20,5
1565чМ	продольное	35	37	38	33
	поперечное	37	35	36	34,5

Таблица 6

Механические свойства сплавов 5xxx при температуре –196°С

Сплав	Состояние поставки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
5456	О	434	200	32
5083	О	407	159	34
АМг5	М	400	168	32
1565ч	М	485	296	29

Из полученных данных видно, что снижение температуры практически не влияет на ударную вязкость сплава как в поперечном, так и продольном направлениях.

Типичные механические свойства различных алюминиевых сплавов при –196°С, приведенные в табл. 6, показывают, что сплав 1565чМ имеет более высокие значения прочностных характеристик (примерно на 20–30%)

по сравнению с аналогичными сплавами системы Al–Mg, применяемыми при криогенных температурах, при сохранении высокой пластичности.

В таблице 7 представлены данные по изменению свойств сплава 1565чМ в зависимости от температуры испытаний. Испытания проводились для стандартных образцов без надреза и с надрезом. Из полученных результатов следует,

Таблица 7

**Механические свойства листов из сплава 1565чМ
в зависимости от температуры испытаний**

Температура испытания, $T^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	$\sigma_{\text{в}}^{\text{н}}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}^{\text{н}} / \sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{в}}^{\text{н}} / \sigma_{0,2}$
20	373	248	17	368	0,99	1,48
-70	384	257	22,8	378	0,98	1,49
-196	485	296	29,0	406	0,84	1,40
Примечание: индекс «н» относится к характеристикам образцов с надрезом.						

Таблица 8

Рекомендуемые радиусы изгиба для листов из сплава 1565ч

Состояние поставки	Толщина t , мм	Рекомендуемый радиус изгиба r	
		угол изгиба 180°	угол изгиба 90°
М	до 3	$1,5t$	—
	свыше 3–6	$2,0t$	$1,5t$
	свыше 6–10,5	$4,0t$	$3,0t$
Н111/Н112	до 3	$2,0t$	—
	свыше 3–6	$2,5t$	$2,0t$
	свыше 6–10,5	$6,0t$	$4,0t$

что сплав 1565чМ удовлетворяет всем требованиям, которые предъявляются к сплавам, работающим при криогенных температурах:

- временное сопротивление ($\sigma_{\text{в}}$), предел текучести ($\sigma_{0,2}$) увеличиваются при снижении температуры испытаний;
- разница между временным сопротивлением и пределом текучести ($\sigma_{\text{в}} - \sigma_{0,2}$) увеличивается при снижении температуры испытаний;
- чувствительность к надрезу ($\sigma_{\text{в}}^{\text{н}} / \sigma_{\text{в}}$) $> 0,8$ при температуре от 20 до -196°C .

Испытания на изгиб образцов из сплава 1565чМ толщиной $t = 5$ мм проводили в соответствии с ГОСТ 14019-2003 при комнатной температуре. Испытывались образцы размером $20 \times 5 \times 200$ мм из основного металла, вырезанные вдоль и поперек направления прокатки.

Испытания показали, что образцы из листов сплава 1565чМ, вырезанные в продольном и поперечном направлениях, имеют практически одинаковый радиус изгиба на 180° без образования трещин: $r = 2t$.

Рекомендуемые радиусы изгиба листов из сплава 1565ч приведены в табл. 8.

Сопротивление усталости определяли на плоских образцах путем испытания на циклическое растяжение с асимметрией цикла $R_{\sigma} = 0,1$. Испытания проводились при частоте нагружения 5 Гц и базе испытаний 10^7 циклов. Испытывались образцы с рабочим сечением 20×5 мм, вырезанные вдоль и поперек направления прокатки для определения влияния анизотропии.

Результаты испытаний свидетельствуют об отсутствии заметного влияния анизотропии свойств на сопротивление усталости. Условный предел выносливости на базе 10^7 циклов равен 130 МПа.

Результаты испытаний сварных соединений сплава 1565ч

Сплав 1565ч хорошо сваривается аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов (аргон). Склонность к образованию горячих трещин при использовании

Таблица 9

Механические свойства сварных соединений сплава 1565чМ (лист толщиной 5 мм), выполненных автоматической аргонодуговой сваркой

Материал	Направление вырезки образцов	Предел прочности σ_B , МПа	Угол изгиба, град. $r = 1,5t$	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²
Основной металл	Продольное	360	180	24,7
	Поперечное	355	180	24,0
Сварное соединение (со снятым усилением)	Продольное	340	180	22,5
	Поперечное	330	180	22,0

Таблица 10

Механические свойства сварных соединений листов из сплава 1565чМ в зависимости от температуры испытания

Температура испытания, T °C	$\sigma_B^{св}$, МПа	$\sigma_B^{св} / \sigma_B^{осн}$	$\sigma_B^{н.св} / \sigma_B^{св}$
20	367	0,99	0,89
-70	366	0,96	0,96
-196	368	0,77	0,91

Примечание: св – сварное соединение; н.св. – сварное соединение с надрезом; осн. – основной металл

присадочной проволоки СвАМг61 практически приближается к нулю [5–8]. Свойства сварных соединений приведены в табл. 9.

Прочность сварного соединения при аргонодуговой сварке составляет более 90% от прочности основного металла. При этом прочность сварных соединений из листов сплава 1565чМ примерно на 20% выше, чем у листов сплава АМг5.

В таблице 10 представлены механические свойства сварных соединений листов из сплава 1565чМ в зависимости от температуры испытания. Из приведенных данных видно, что существенного изменения прочности сварного соединения с уменьшением температуры испытания не наблюдается, хотя при этом отношение прочности сварного соединения к прочности основного металла существенно уменьшается.

Ударную вязкость сварных соединений определяли на стандартных образцах размером 5×10×55 мм типа 7 по ГОСТ 9454-78 с надрезом радиусом 1 мм, глубиной 2 мм. Испытания проводили при температуре +20, -40 и -60°С. Использовались образцы с различным

положением надреза (в зоне сварного шва, зоне сплавления и зоне термического влияния). Минимальные значения ударной вязкости КСУ = 23–29 Дж/см² соответствуют зоне сварного шва.

В зоне сплавления (ЗС) и в зоне термического влияния (ЗТВ) ударная вязкость составляет 39–48 Дж/см², что примерно в 1,7 раза выше, чем в сварном шве. Результаты испытаний на ударную вязкость образцов, сваренных аргонодуговой сваркой без усиления шва, приведены на рис. 1.

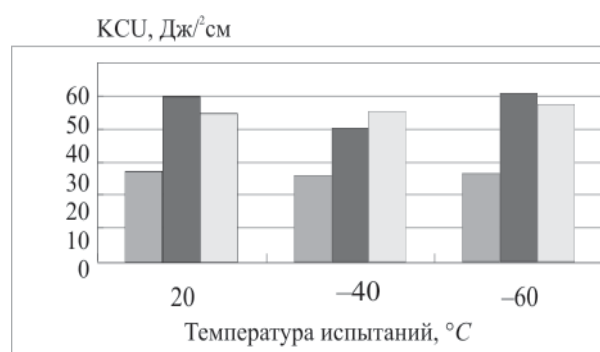


Рис. 1. Влияние расположения надреза и температуры испытания на ударную вязкость сварных соединений листов из сплава 1565чМ:
■ шов; ■ ЗС; ■ ЗТВ

Соппротивление усталости сварных соединений листов сплава 1565чМ определяли на плоских образцах с рабочим сечением 20×5 мм, длиной 200 мм при испытании на циклическое растяжение. Сварной шов располагался вдоль направления прокатки. Образцы вырезали поперек сварного шва. Дополнительно проводились испытания образцов, у которых сварной шов был зачищен заподлицо с основным металлом. Усиление шва с обеих сторон удаляли путем фрезерования специальной проволоочной фрезой. Испытания проводили на гидропульсаторе «Шенк-гидроимпульс 100» при частоте нагружения 8 Гц, коэффициенте асимметрии $R_\sigma = 0,1$, база испытания 10^7 циклов. По числу циклов до разрушения определяли положение участка ограниченной долговечности на кривой усталости Веллера.

Результаты испытаний показали, что образцы, сваренные аргонодуговой сваркой, без удаления усиления сварного шва имеют условный предел выносливости равный 70 МПа, в то время как образцы с удаленным усилением шва – 100 МПа.

Заключение

Выполненные исследования механических свойств листов сплава 1565ч и его сварных соединений, полученных аргонодуговой сваркой с присадочной проволокой СвАМг61, показали, что данный сплав по комплексу своих механических и технологических характеристик может быть использован для производства автоцистерн, перевозящих сыпучие грузы (цемент, мука, зерно), опасные грузы (бензин, нефтепродукты), а также для производства грузовых железнодорожных вагонов и изделий, работающих при низких температурах (емкости для хранения и транспортировки жидкого природного газа).

Список литературы

1. Гуреева М.А., Грушко О.Е. Аллюминиевые сплавы в сварных конструкциях современных транспортных средств // Машиностроение и инженерное образование». 2009. № 3. С. 27–41.
2. Дриц А.М., Овчинников В.В., Растопчин Р.Н. Технологические свойства листов из свариваемого аллюминиевого сплава 1565ч для производства цистерн. // Технология легких сплавов. 2012. № 3. С. 20–29.
3. ТУ 1-3-194-2011 «Листы из аллюминиевого сплава марки 1565ч. Технические условия».
4. ГОСТ 14806-80 «Дуговая сварка аллюминия и аллюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры».
5. Дриц А.М., Овчинников В.В., Пахомов Д.А., Гуреева М.А. Влияние технологии сварки на свойства соединений листов сплава системы Al–Zn–Mg // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 6. С. 10–17.
6. Дриц А.М., Овчинников В.В., Растопчин Р.Н. Исследование свойств сварных соединений сплава 1565ч применительно к изготовлению сварных цистерн // Цветные металлы. 2012. № 12. С. 85–89.
7. Дриц А.М., Овчинников В.В. Свойства сварных соединений листов сплава 1565ч в сочетании с другими аллюминиевыми сплавами // Цветные металлы. 2013. № 11. С. 84–89.
8. Дриц А.М., Овчинников В.В., Растопчин Р.Н. Особенности сварки листов аллюминиевого сплава 1565чМ при производстве цистерн бензовозов // Машиностроение и инженерное образование. 2013. № 4. С. 24–36.

Материал поступил в редакцию 20.10.14

ДРИЦ Александр Михайлович

E-mail: Drits@alcoa.com
Тел.: 8 (916) 642-82-73

Директор по развитию бизнеса и новых технологий Алкоа Россия, руководитель московского офиса ЗАО «Алкоа СМЗ», кандидат технических наук. Сфера научных интересов: разработка аллюминиевых сплавов и технологий изготовления из них изделий машиностроения. Автор более 90 научных работ, в том числе 27 патентов на изобретение.

ОВЧИННИКОВ Виктор Васильевич

E-mail: vikov1956@mail.ru
Тел.: 8 (916) 512-43-82

Доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и технологии конструкционных материалов» ФГБОУ ВПО МГИУ. Сфера научных интересов: разработка новых аллюминиевых сплавов и технологий получения из них сварных соединений с высоким уровнем свойств. Автор двух монографий, более 240 научных статей, 110 изобретений.