

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ И НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

В. С. МАШИН, А. Г. ПОКЛЯЦКИЙ, кандидаты техн. наук, **В. Е. ФЕДОРЧУК**, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведен сравнительный анализ механических характеристик соединений алюминиевых сплавов различных систем легирования, полученных дуговой сваркой плавящимся и неплавящимся электродом, с использованием серийных и опытных сварочных проволок, легированных цирконием и скандием.

Ключевые слова: дуговая сварка, алюминиевые сплавы, плавящийся и неплавящийся электроды, скандийсодержащие присадки, механические свойства, сравнительный анализ

При изготовлении конструкций из современных алюминиевых сплавов наиболее широко используются два способа дуговой сварки — плавящимся и неплавящимся электродом. Они позволяют получать сравнительно высокие уровни прочности и пластичности швов и обеспечивают необходимые эксплуатационные характеристики сварных соединений.

Использование аргонодуговой сварки неплавящимся электродом (ТИГ процесс) позволяет получать гладкую поверхность швов с плавным переходом к основному металлу. Этот способ требует особого внимания к подготовке поверхностей свариваемых металлов, фиксации кромок, а также к катодному разрушению оксидной пленки, которая оказывает основное влияние на образование характерных дефектов — неметаллических включений оксидной пленки в швах [1–3]. При соблюдении необходимых технологических требований по подготовке кромок, условиям фиксации стыка и электрическим параметрам процесса сварки может быть обеспечено высокое качество швов.

При сварке плавящимся электродом (МИГ процесс) повышается производительность, снижается тепловложение в свариваемый металл и уменьшаются остаточные напряжения и деформации. Однако при этом в швах и по зоне сплавления их с основным металлом часто возникают поры, образующиеся вследствие загазованности свариваемого

металла или нарушения технологического процесса сварки [1, 4].

Цель данной работы — проведение сравнительного анализа основных показателей механических свойств металла швов и сварных соединений алюминиевых сплавов, полученных на оптимальных режимах сварки плавящимся и неплавящимся электродом с использованием стандартных и перспективных опытных проволок. Для сварки использовали листы из серийных и опытных алюминиевых сплавов различных систем легирования (табл. 1). Механические свойства этих сплавов приведены в табл. 2.

Стыковые соединения получали односторонней сваркой с применением стандартных и легированных скандием опытных сварочных проволок (табл. 3). Механизированную сварку плавящимся электродом осуществляли с помощью сварочной головки АСТВ-2м от источника питания ТПС-450, а неплавящимся — MW-450. После механического удаления проплава в корне швов соединения подвергали рентгеновскому просвечиванию. Из бездефектных участков швов изготавливали образцы для механических испытаний, позволяющих определять предел прочности сварных соединений $\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}$, предел прочности металла швов $\sigma_{\text{в}}^{\text{III}}$, условный предел текучести металла швов $\sigma_{0,2}^{\text{III}}$, относительное удлинение δ^{III} , ударную вязкость $a_{\text{H}}^{\text{III}}$ и угол загиба соединений α .

Сварные соединения сплава АМг6. Анализ результатов механических испытаний соединений показал, что независимо от способа сварки плоские

Таблица 1. Химический состав алюминиевых сплавов, мас. %

Марка сплава	Система легирования	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Li	Zn	Sc	Ti	Zr
АМг6	Al-Mg-Mn	—	6,4	0,6	0,4	0,4	—	—	—	0,1	—
1420	Al-Mg-Li	—	5,4	0,2	0,2	0,15	2,1	—	—	—	0,1
1201	Al-Cu	5,7	—	0,2	0,3	0,2	—	—	—	—	0,1
1460	Al-Cu-Li	3,0	—	0,1	0,12	0,1	2,0	—	0,1	0,1	0,1
1925о.п.	Al-Zn-Mg	—	1,5	—	0,4	0,4	—	7,0	—	—	—
В96Цо.п.	Al-Zn-Mg-Cu	2,3	1,9	—	0,2	0,2	—	8,1	—	—	0,1



Таблица 2. Механические свойства алюминиевых сплавов

Марка сплава	Толщина листа, мм	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	$a_{\text{н}}$, Дж/см ²	α , град
АМг6	6	343,3	164,6	23,1	22,4	135
1420	4	463,8	352,5	5,8	11,8	37
1420	6	448,0	300,4	9,1	8,3	24
1201	6	435,7	353,6	9,6	8,8	29
1460	3	573,6	532,2	3,5	2,4	17
1460	6	511,7	463,8	4,5	4,0	28
1925о.п.	3	472,9	426,0	9,3	17,2	54
В96Цо.п.	3	616,5	579,4	10	4,5	15

Примечание. Приведены средние значения по результатам испытаний 5...7 образцов.

Таблица 3. Химический состав алюминиевых сварочных проволок, мас. %

Марка электрода	Cu	Mg	Mn	Sc	Ti	Zr
СвАМг5	—	5,1	0,1	—	—	—
АМг5Sc	—	5,0	—	0,5	—	0,2
СвАМг6	—	6,2	0,4	—	0,1	—
СвАМг63	—	6,3	0,6	—	—	0,2
АМг63Sc	—	6,1	0,2	0,5	—	0,1
Св1201	6,0	—	0,3	—	0,1	0,2
1201Sc	6,0	—	—	0,5	0,1	0,2

образцы с усилением шва всегда разрушаются по зоне сплавления шва с основным металлом. Предел прочности сварных соединений, выполненных ТИГ процессом проволокой СвАМг6, находится на уровне 315 МПа (рис. 1). Применение проволок, легированных цирконием (СвАМг63) и скандием (АМг63Sc), обеспечивает повышение прочности сварных соединений в среднем на 6 и 11 МПа, а повышение прочности металла швов — соответственно на 26 и 30 МПа.

При сварке МИГ средние значения прочности сварных соединений несколько выше, чем при сварке ТИГ и составляют 323 МПа. Прочность металла швов, полученных сваркой МИГ серийной сварочной проволокой СвАМг6 (312 МПа), также почти на 20 МПа выше, чем сваренных процессом ТИГ. Использование проволоки, легированной скандием, повышает этот показатель до 330 МПа. При этом для всех способов сварки условный предел текучести и относительное удлинение металла швов сохраняются на уровне значений, получаемых при сварке серийной проволокой СвАМг6.

Соединения сплавов 1420. Разрушение плоских образцов с усилением шва, полученных обоими способами сварки, всегда происходит по зоне сплавления шва с основным металлом. Использование серийной сварочной проволоки СвАМг6 при сварке ТИГ обеспечивает прочность сварных соединений толщиной 4 мм на уровне 319 МПа, а толщиной 6 мм — на уровне 271 МПа. При этом прочность металла швов (как и при сварке МИГ) находится на уровне 315... 316 МПа (рис. 2). Применение проволок с цирконием и скандием позволяет повысить

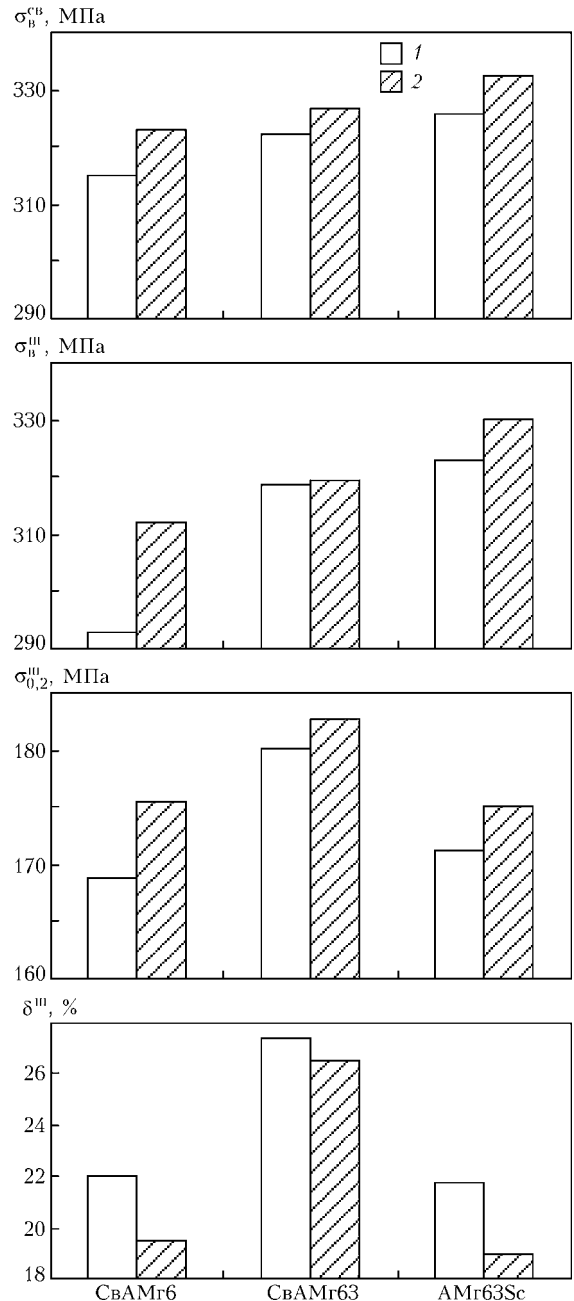


Рис. 1. Механические свойства соединений сплава АМг6, полученных при сварке неплавящимися (1) и плавящимися электродами (2) с использованием проволок различного химического состава

прочность соединений на 7... 14 МПа и прочность металла швов на 6... 9 МПа. При использовании всех исследуемых проволок ударная вязкость швов и угол загиба сварных соединений, выполненных сваркой ТИГ, превышают соответствующие показатели, полученные сваркой МИГ. Применение проволок, легированных цирконием и скандием, позволяет увеличить ударную вязкость швов до 26 Дж/см² на металле толщиной 4 мм и до 20 Дж/см² на металле толщиной 6 мм. При этом угол загиба тонколистовых соединений достигает 90°.

При сварке МИГ проволокой СвАМг6 средние значения прочности сварных соединений выше, чем при сварке ТИГ, и составляют соответственно 322

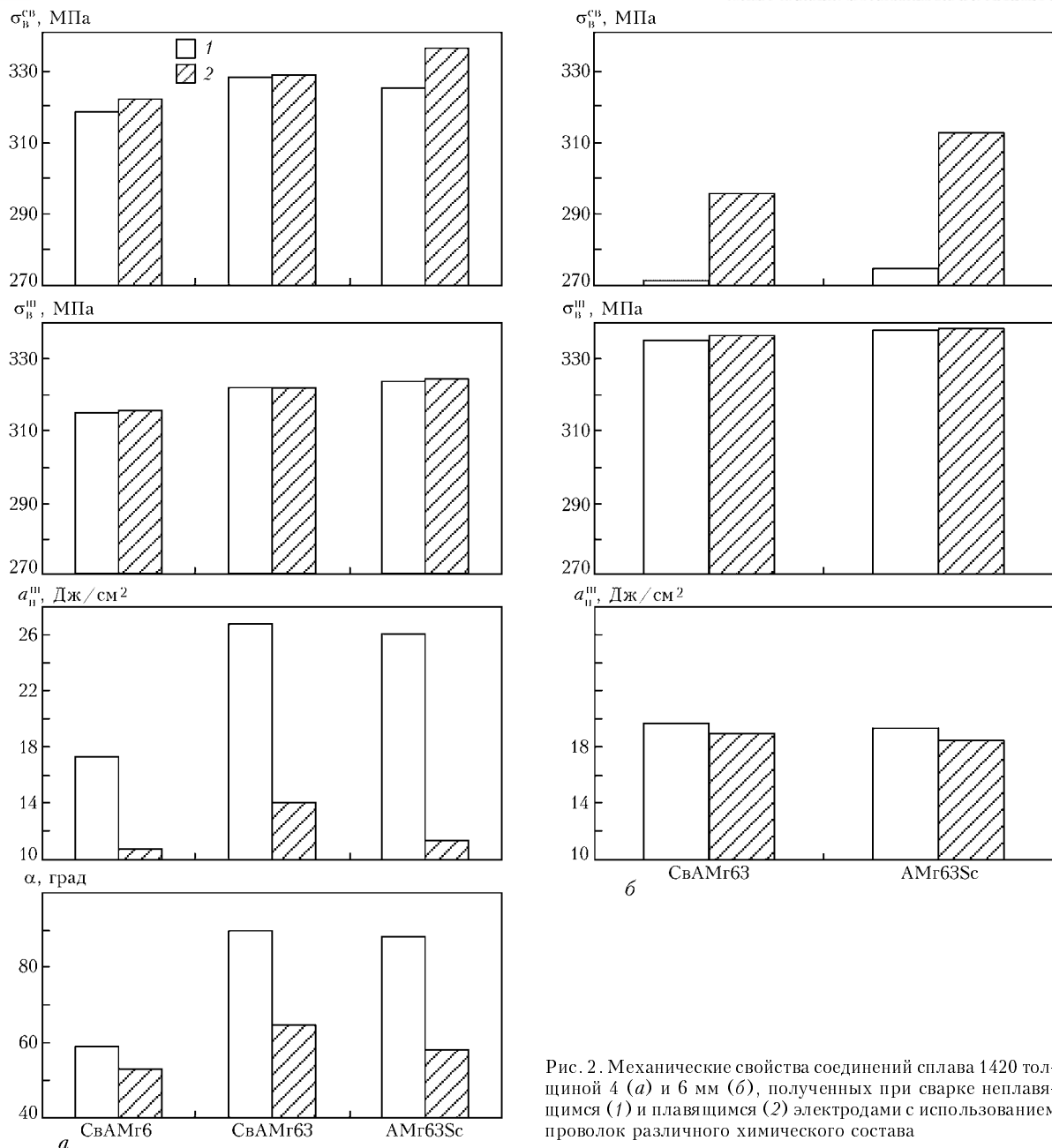


Рис. 2. Механические свойства соединений сплава 1420 толщиной 4 (а) и 6 мм (б), полученных при сварке неплавящимися (1) и плавящимися (2) электродами с использованием проволоки различного химического состава

и 295 МПа для металла толщиной 4 и 6 мм. Применение проволоки с цирконием и скандием позволяет еще в большей степени (по сравнению со сваркой ТИГ) повысить прочностные характеристики сварного соединения и металла шва. Так, на металле толщиной 4 мм $\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}$ и $\sigma_{\text{в}}^{\text{ш}}$ повышаются по сравнению с ТИГ на 2...12 МПа, а на металле толщиной 6 мм — соответственно на 25 и 35 МПа.

Соединения сплава 1201. Независимо от способа сварки и химического состава проволоки образцы сварных соединений сплава 1201 при растяжении разрушаются по зоне сплавления шва с основным металлом. Предел прочности соединений, выполненных сваркой ТИГ, находится на уровне 240 МПа (рис. 3). Введение скандия в швы практически не изменяет прочностные характеристики сварных соединений ($\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}$), но значительно повышает прочность швов (от 236 до

256 МПа) и заметно снижает ударную вязкость металла (от 12 до 9 Дж/см²).

Применение сварки МИГ по сравнению с ТИГ позволяет повысить временное сопротивление разрыву сварных соединений до 266 МПа на серийной проволоке Св1201 и до 279 МПа на скандийсодержащей. Прочность и ударная вязкость металла швов также находятся на более высоком уровне при сварке МИГ. Использование проволоки, легированной скандием, приводит к увеличению от 260 до 272 МПа предела прочности металла швов и снижению их ударной вязкости от 18 до 14 Дж/см².

Соединения сплавов 1460. При сварке ТИГ проволокой Св1201 обеспечивается прочность соединений на уровне 307 МПа для листов толщиной 3 мм и 275 МПа для листов толщиной 6 мм (рис. 4). Легирование проволоки скандием позволяет существенно повысить предел прочности

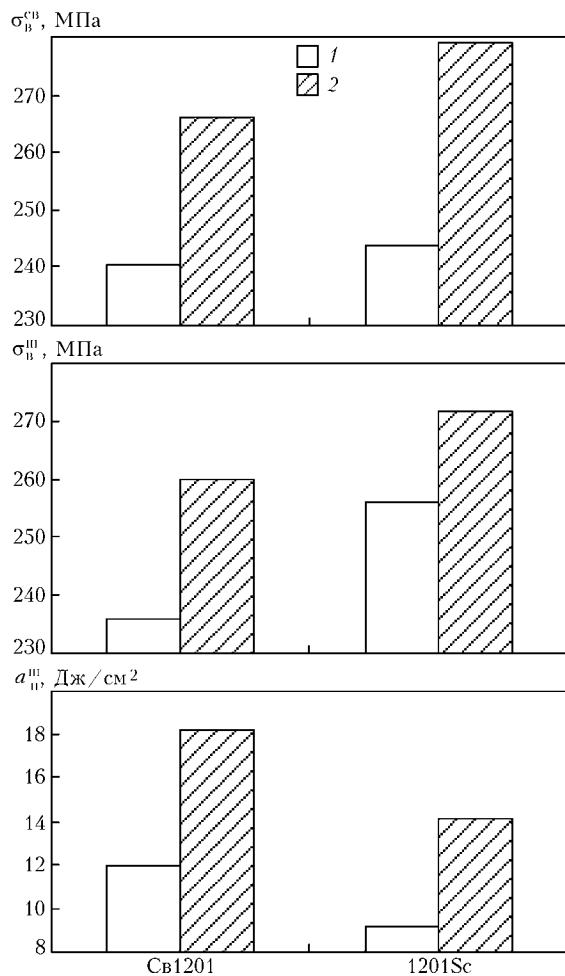


Рис. 3. Механические свойства соединений сплава 1201, полученных при сварке неплавящимся (1) и плавящимся (2) электродами с использованием проволок различного химического состава

и условный предел текучести металла швов. Так, при сварке ТИГ металла толщиной 3 мм прочность швов повышается с 251 до 288 МПа, а металла толщиной 6 мм — с 248 до 275 МПа. При этом

ударная вязкость металла швов снижается от 14 до 10 Дж/см², а угол загиба тонколистовых сварных соединений — от 174 до 79°.

Сварка МИГ по сравнению с ТИГ обеспечивает повышение прочностных характеристик сварных соединений. Так, при использовании проволоки Св1201 $\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}$ повышается до 312 МПа для металла толщиной 3 мм и до 289 МПа для металла толщиной 6 мм. Металл швов также имеет более высокую прочность при сварке МИГ как на тонколистовом материале (280 МПа), так и на более толстом (287 МПа). При этом выше и условный предел текучести, и ударная вязкость металла швов.

Легирование швов скандием при сварке МИГ металла толщиной 3 мм приводит по сравнению с ТИГ к повышению на 4...5 МПа $\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}$ и $\sigma_{\text{в}}^{\text{т}}$ и увеличению на 20...23 МПа $\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}$ и $\sigma_{\text{в}}^{\text{т}}$ металла толщиной 6 мм. При этом снижается ударная вязкость швов от 16,8 до 14,5 Дж/см² и угол загиба со 130 до 35°.

Соединение сплава 1925о.п. Разрушение образцов с усилением шва независимо от способа сварки и химического состава проволоки происходит по основному металлу в зоне термического влияния. Предел прочности сварных соединений, выполненных ТИГ процессом проволокой СвАМг5, находится на уровне 358 МПа (рис. 5). Применение проволоки со скандием (АМг5Sc) обеспечивает повышение прочности металла швов от 288 до 314 МПа и снижение угла загиба соединений от 106 до 55°.

При сварке МИГ средние значения прочности соединений $\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}$ несколько выше, чем при сварке ТИГ, и составляют 370 МПа. Прочность металла швов, полученных плавящимся и неплавящимся электродом серийной проволокой СвАМг5, находится примерно на одном и том же уровне (288 МПа). При использовании скандийсодержащей проволоки $\sigma_{\text{в}}^{\text{т}}$ повышается в большей степени для швов, полученных МИГ, чем ТИГ, и составляет 321 МПа.

Таблица 4. Коэффициент механических свойств соединений K при сварке способами ТИГ и МИГ

Марка сплава	Толщина листа, мм	Марка электрода	ТИГ		МИГ		ТИГ		МИГ	
			$\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}/\sigma_{\text{в}}^{\text{т}}$	$\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}/\sigma_{\text{в}}^{\text{т}}$	$\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}/\sigma_{\text{в}}^{\text{т}}$	$\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}/\sigma_{\text{в}}^{\text{т}}$	$\alpha_{\text{т}}^{\text{т}}/\alpha_{\text{т}}^{\text{т}}$	$\alpha_{\text{т}}^{\text{т}}/\alpha_{\text{т}}^{\text{т}}$	$\alpha_{\text{т}}^{\text{т}}/\alpha_{\text{т}}^{\text{т}}$	$\alpha_{\text{т}}^{\text{т}}/\alpha_{\text{т}}^{\text{т}}$
АМг6	6	СвАМг63	0,94	0,95	0,93	0,93	—	—	—	—
		АМг63Sc	0,94	0,97	0,94	0,96	—	—	—	—
1420	4	СвАМг63	0,70	0,71	0,69	0,69	2,27	1,19	2,43	1,76
		АМг63Sc	0,71	0,73	0,70	0,70	2,20	0,97	2,38	1,57
	6	СвАМг63	0,61	0,66	0,75	0,75	2,48	2,39	—	—
		АМг63Sc	0,66	0,70	0,75	0,75	2,43	2,33	—	—
1201	6	Св1201	0,55	0,61	0,54	0,60	1,36	2,07	—	—
		1201Sc	0,56	0,64	0,59	0,62	1,05	1,60	—	—
1460	3	Св1201	0,54	0,54	0,44	0,49	—	—	10,24	7,76
		1201Sc	0,54	0,55	0,50	0,51	—	—	4,65	2,12
	6	Св1201	0,54	0,57	0,48	0,56	3,60	4,20	—	—
		1201Sc	0,55	0,59	0,54	0,58	2,53	3,60	—	—
1925о.п.	3	СвАМг5	0,76	0,78	0,61	0,61	—	—	1,96	1,46
		АМг5Sc	0,76	0,78	0,66	0,68	—	—	1,02	0,94
В96Цо.п.	3	СвАМг5	0,49	0,57	0,47	0,49	—	—	2,87	2,07
		АМг5Sc	0,53	0,59	0,49	0,54	—	—	2,07	1,47

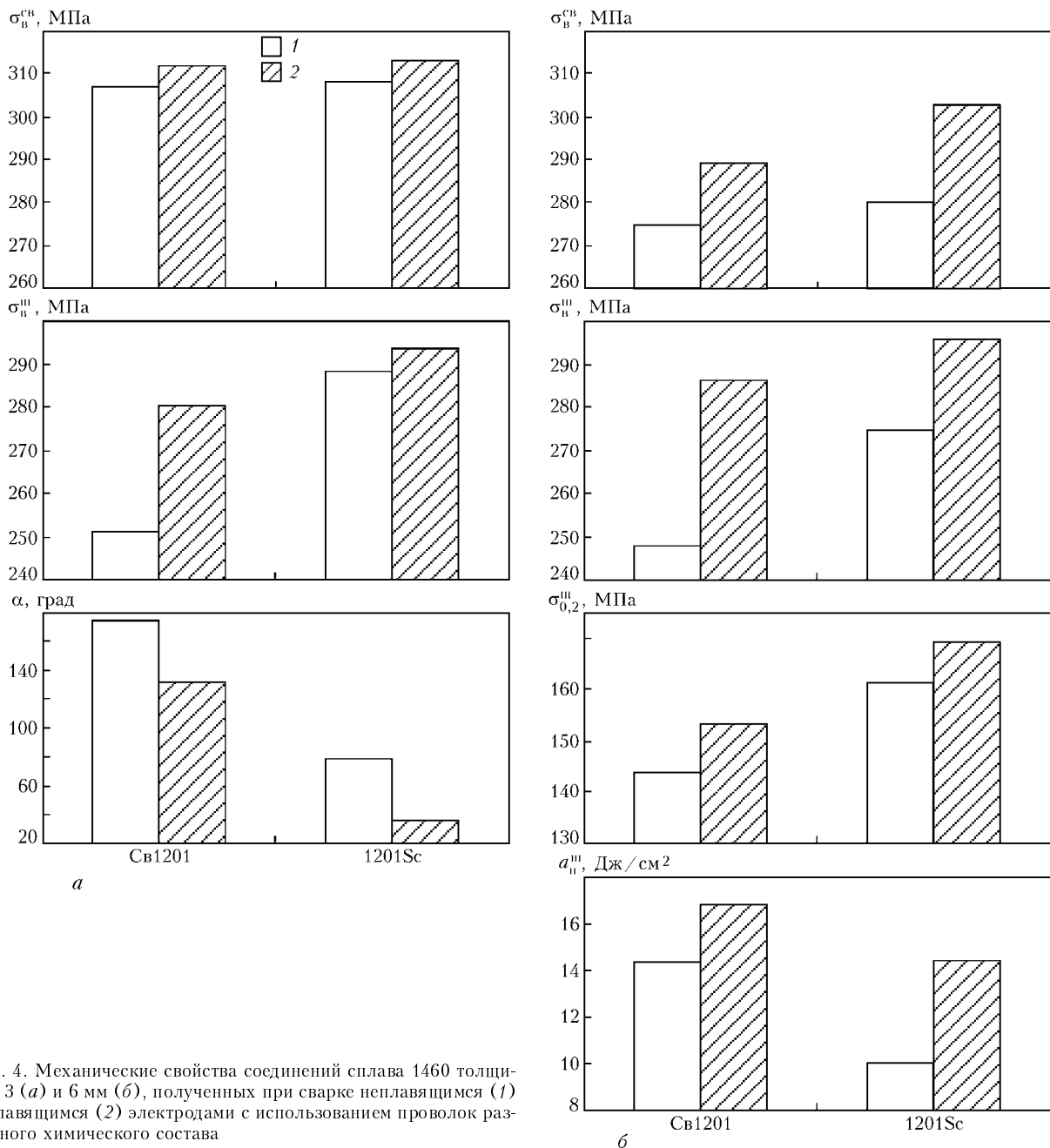


Рис. 4. Механические свойства соединений сплава 1460 толщиной 3 (а) и 6 мм (б), полученных при сварке неплавящимися (1) и плавящимися (2) электродами с использованием проволок различного химического состава

Во всех случаях угол загиба соединений, полученных сваркой МИГ, на 5...25° ниже, чем при ТИГ.

Соединения сплава В96Ц (опытная партия).

Все образцы с усилением шва разрушаются по зоне сплавления шва с основным металлом. Предел прочности соединений, выполненных ТИГ процессом серийной проволокой СВАМг5, составляет 302 МПа, а скандийсодержащей — 324 МПа (рис. 6).

МИГ процесс обеспечивает более высокие уровни прочности сварных соединений: при использовании проволоки СВАМг5 — 350 МПа, а проволоки АМг5Sc — 366 МПа. Предел прочности металла швов также более высокий при сварке МИГ и составляет соответственно 305 и 363 МПа. Использование легированной скандием проволоки способствует упрочнению металла швов, сваренных МИГ, на 28, а ТИГ — на 10 МПа. При этом

угол загиба сварных соединений низкий как с использованием серийной проволоки, так и легированной скандием.

Для проведения сравнительного анализа использовали коэффициенты *K*, *C* и *П*. Коэффициент механических свойств соединений *K* определяли из соотношения показателей свойств сварных соединений, полученных сваркой ТИГ и МИГ, к показателям соответствующих свойств основного металла (табл. 4). Изменение механических свойств металла шва *C* при замене процесса ТИГ на МИГ (табл. 5) определяли по формуле

$$C = [(МИГ - ТИГ) / ТИГ] \cdot 100, \%$$

Для оценки эффективности от введения скандия в присадочную проволоку использовали коэффициент *П* (табл. 6), определяемый из соотношения

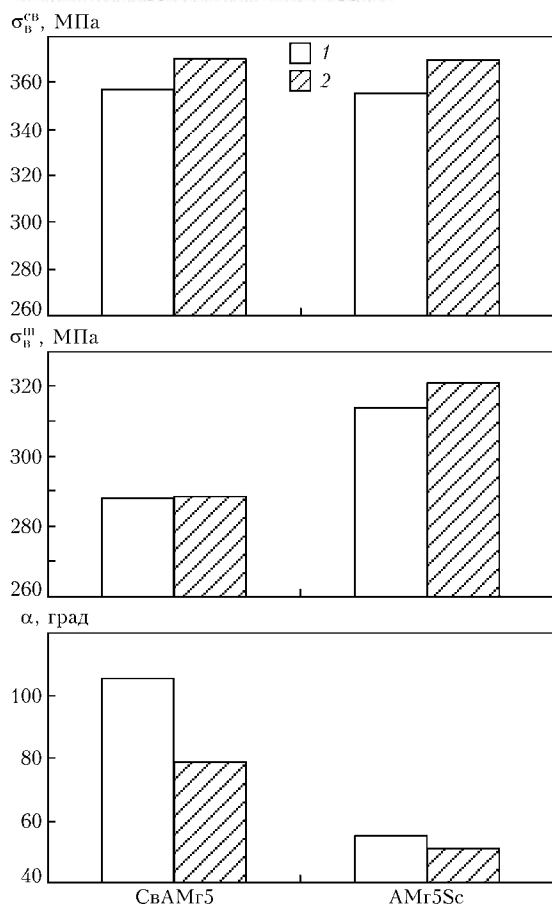


Рис. 5. Механические свойства соединений сплава 1925о.п., полученных при сварке неплавящимся (1) и плавящимся (2) электродами с использованием проволок различного химического состава

$$P = [(\text{присадка со Sc} - \text{присадка без Sc}) / \text{присадка без Sc}] \cdot 100, \%$$

Из табл. 4 видно, что наибольший коэффициент прочности имеют соединения сплава АМг6, выполненные сваркой МИГ с использованием присадки со скандием, а наименьший — соединения сложнoleгированного сплава В96Цо.п. Обобщив результаты, можно сделать вывод, что чем выше прочность основного металла, тем меньше коэффициент прочности сварного соединения. Исключение составляет сплав 1925о.п., что связано с его способностью самозакаливаться при охлаждении на воздухе. При замене способа сварки ТИГ на МИГ (табл. 5) независимо от химического состава свариваемого металла и марки присадочной проволоки прочностные характеристики соединений и металла швов возрастают. В наибольшей степени эта зависимость проявляется на алюминиевых сплавах, содержащих 2,3... 5,7 % Cu. Пластические свойства соединений (в частности, ударная вязкость) могут как повышаться, так и снижаться. Сварка МИГ сплавов системы Al-Cu(Li) обеспечивает повышение $a_{ш}^{ш}$ на 14... 53 %, а Al-Mg-Li — снижение этого показателя на 4... 56 %. С повышением толщины свариваемого металла преимущества способа МИГ возрастают (сплав 1420 и 1460).

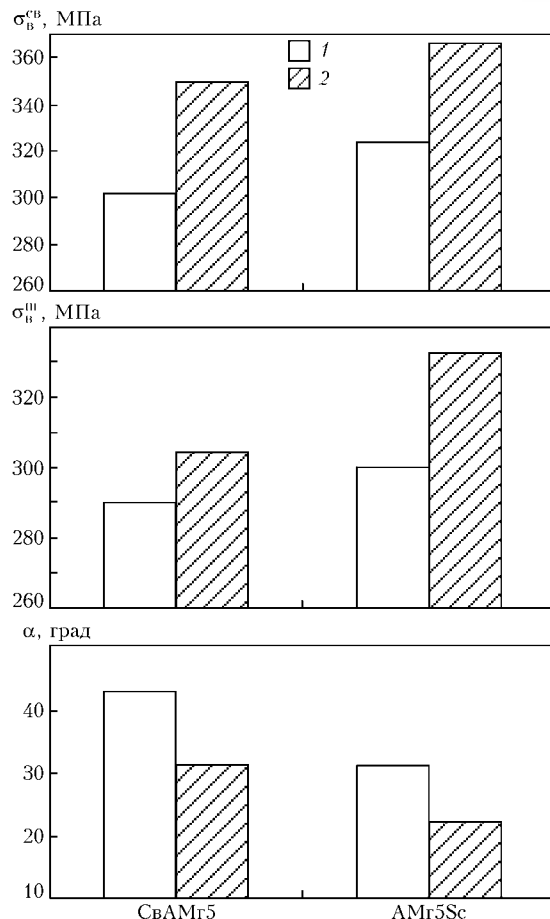


Рис. 6. Механические свойства соединений сплава В96Цо.п., полученных при сварке неплавящимся (1) и плавящимся (2) электродами с использованием проволок различного химического состава

Применение скандийсодержащих проволок приводит к значительному падению пластических свойств соединений и металла швов. Для всех рассматри-

Таблица 5. Изменение механических свойств соединений и металла швов при использовании МИГ процесса вместо ТИГ

Марка сплава	Толщина листа, мм	Марка электрода	Коэффициент С, %			
			$\sigma_{в}^{св}$	$\sigma_{в}^{ш}$	$a_{ш}^{ш}$	α
АМг6	6	СвАМг63	1,3	0,3	—	—
		АМг63Sc	3,0	2,0	—	—
1420	4	СвАМг63	1,0	0,1	-47,8	-38,5
		АМг63Sc	2,3	0,1	-56,2	-51,7
	6	АМг63	8,9	0,4	-3,9	—
		АМг63Sc	5,8	0,2	-4,5	—
1201	6	Св1201	10,6	9,3	51,7	—
		1201Sc	14,4	5,8	53,3	—
1460	3	Св1201	1,6	10,3	—	-31,8
		1201Sc	1,6	1,7	—	-119,4
	6	Св1201	5,3	13,5	14,3	—
		1201Sc	8,2	7,0	29,9	—
1925о.п.	3	СвАМг5	3,7	0,2	—	-34,2
		АМг5Sc	3,7	2,2	—	-7,8
В96Цо.п.	3	СвАМг5	15,9	4,5	—	-38,7
		АМг5Sc	13,1	9,7	—	-40,9

Таблица 6. Изменение механических свойств соединений металла шва при использовании скандийсодержащей присадки вместо стандартной

Марка сплава	Толщина листа, мм	Коэффициент Π , %			
		$\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}$	$\sigma_{\text{н}}^{\text{н}}$	$\alpha_{\text{н}}^{\text{н}}$	$\alpha^{\text{св}}$
АМг6	6	$\frac{0,1}{1,7}$	$\frac{1,4}{3,3}$	—	—
1420	4	$\frac{1,0}{2,2}$	$\frac{0,8}{0,8}$	$\frac{-3,0}{-18,6}$	$\frac{-2,2}{-10,8}$
	6	$\frac{8,9}{5,8}$	$\frac{0,7}{0,5}$	$\frac{-1,9}{-2,5}$	—
1201	6	$\frac{1,3}{4,8}$	$\frac{8,5}{4,4}$	$\frac{-23,3}{-22,5}$	—
1460	3	$\frac{0,3}{0,3}$	$\frac{14,8}{4,7}$	—	$\frac{-54,6}{-72,7}$
	6	$\frac{1,9}{4,7}$	$\frac{10,9}{3,2}$	$\frac{-29,8}{-14,3}$	—
1925о.п.	3	0,0	$\frac{9,0}{11,1}$	—	$\frac{-48,1}{-35,4}$
В96Цо.п.	3	$\frac{7,2}{4,6}$	$\frac{3,4}{9,3}$	—	$\frac{-27,9}{-29,0}$

Примечание. В числителе приведены значения для способа ТИГ, в знаменателе — для МИГ.

ваемых сплавов угол загиба соединений может снижаться на 2...73, а ударная вязкость металла швов — на 2...30 %. В наименьшей степени скандий снижает пластичность металла сплавов системы Al-Mg-(Mn, Li), на которых угол загиба соединений снижается на 2,2...10,8 %, а ударная вязкость — на 1,9...18,6 (табл. 6). Исследования показали, что при относительно низкой прочности основного металла и высоком коэффициенте прочности сварных соединений, полученных при обычной сварке ТИГ (когда $\sigma_{\text{в}}^{\text{св}}/\sigma_{\text{в}}^{\text{ом}} \geq 0,9$), применение присадочных проволок, содержащих скандий, является малоэффективным средством повышения прочностных характеристик соединений и приводит к значительному снижению пластических свойств металла — ударной вязкости швов и угла загиба соединений.

Таким образом, сравнительный анализ результатов показал, что прочность сварных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов при сварке плавящимся электродом всегда выше, чем выполненных неплавящимся электродом. Это объясняется более низким уровнем погонной энергии при сварке плавящимся электродом и соответственно меньшим разупрочнением металла в зоне сплавления и в зоне термического влияния [5]. Особенно это заметно при увеличении толщины листов на чувствительных к тепловложению высокопрочных алюминиево-литиевых сплавах 1420 и 1460.

Прочность металла швов зависит от состава сварочной проволоки и способа сварки. Содержащийся в проволоке скандий при кристаллизации

металла шва входит в твердый раствор, повышает дисперсность фаз и способствует формированию кристаллов субдендритной формы, что приводит к повышению прочности швов. Более высокая скорость кристаллизации жидкого металла, достигаемая при сварке плавящимся электродом, обеспечивает более высокую степень насыщения твердого раствора как основными легирующими элементами, так и скандием [6]. В результате в большинстве случаев такие швы по прочности превосходят швы, полученные неплавящимся электродом. Кроме того, прочностные и структурные характеристики швов оказывают определенное влияние на свойства зоны сплавления, что сказывается в целом на механических свойствах сварных соединений.

Выводы

1. Предел прочности сварных соединений современных алюминиевых сплавов основных систем легирования, полученных дуговой сваркой плавящимся электродом, на 1...16 % выше, чем соединений, выполненных неплавящимся электродом. В то же время пластические свойства сварных соединений (ударная вязкость металла швов и угол загиба соединений) выше при сварке неплавящимся электродом.

2. Преимущества применения процесса МИГ возрастают с увеличением толщины свариваемого металла. Так, на сплавах 1420 и 1460 при толщине листов 3...4 мм преимущества МИГ процесса составляют 1...2,5 %, а при толщине листов 6 мм — 5...9 %.

3. Применение сварочных проволок, легированных скандием, при дуговых способах сварки алюминиевых сплавов позволяет повысить прочностные свойства металла швов и сварных соединений в целом. Степень упрочнения швов в результате введения скандия зависит от химического состава сплава, толщины листов и структуры литого металла швов, в то же время приводит к уменьшению ударной вязкости металла швов и угла загиба сварных соединений.

1. Рабкин Д. М. *Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов*. — Киев: Наук. думка, 1986. — 256 с.
2. Ищенко А. Я., Поляцкий А. Г., Яворская М. Р. Предотвращение включений оксидной пленки в швах при сварке алюминиевых сплавов // *Автомат. сварка*. — 1989. — № 6. — С. 38–41.
3. Поляцкий А. Г. Особенности образования макровключений оксидной пленки в металле швов алюминиевых сплавов (Обзор) // Там же. — 2001. — № 3. — С. 38–40.
4. Левченко О. Г., Машин В. С. Санитарно-гигиеническая характеристика процесса сварки плавящимся электродом в инертных газах алюминиевого сплава АМг6 // Там же. — 2003. — № 1. — С. 48–50.
5. Влияние способа сварки на сопротивление разрушению соединений алюминиево-литиевых сплавов 1420 и 1460 / Т. М. Лабур, Андр. А. Бондарев, А. В. Лозовская и др. // Там же. — 2001. — № 7. — С. 12–16.
6. Повышение прочности швов при дуговой сварке сплава 1420 с применением скандийсодержащих присадок / А. Я. Ищенко, А. В. Лозовская, А. Г. Поляцкий и др. // Там же. — 2002. — № 1. — С. 11–15.

Comparative analysis has been performed of mechanical characteristics of joints on aluminium alloys of different alloying systems, produced by consumable and nonconsumable electrode arc welding, using batch-produced and test welding wires alloyed with zirconium and scandium.