

УДК 620.22; 621.778; 669.1

О. В. Якивчук*, А. П. Самчук, А. В. Дурнопьянов

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

* yakivyuk.olga@yandex.ru

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук С. Б. Сидельников

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЛИННОМЕРНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Al–Mg, ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННЫХ СКАНДИЕМ

Приведены результаты исследования свойств прутков, полученных совмещенными методами из сплава 1570 и опытного сплава на основе системы Al–Mg с содержанием скандия 0,10–0,14 %. Проанализирована возможность использования прутков в качестве заготовок для изготовления сварочной проволоки. Определены механические свойства листов основного металла и сварных соединений, выполненных аргонодуговой сваркой с использованием полученной проволоки.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, переходные металлы, совмещенные методы, литье, прокатка, пруток, сварочная проволока, механические свойства, скандий, цирконий, отжиг.

O. V. Yakivyuk, A. P. Samchuk, A. V. Durnopianov

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF LONG-LENGTH SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM ALLOYS BASED OF THE Al–Mg SYSTEM ECONOMICALLY ALLOWED BY SCANDIUM

The results of a study of the properties of rods obtained by combined methods from alloy 1570 and an experimental alloy based on the Al–Mg system with a scandium content of 0.10–0.14% are presented. The possibility of using rods as billets for manufacturing a welding wire is analyzed. The mechanical properties of the base metal sheets and welded joints made by argon-arc welding using the obtained wire are determined.

Keywords: aluminum alloys, transition metals, combined methods, casting, rolling, bar, welding wire, mechanical properties, scandium, zirconium, annealing.

Для интенсивного развития автомобильной отрасли, судо- и авиастроения возрастает потребность в сварочной проволоке, которая используется для соединения конструкций. Особенно это актуально для судостроения, где листовые заготовки, полученные прокаткой, свариваются для получения деталей больших размеров для изготовления обшивки судов

В качестве материала для сварочной проволоки широко применяются сплавы на основе алюминия, особенно в тех случаях, когда важно снизить массу конструкции за счет применения материала с высокой удельной прочностью.

Наиболее значимыми показателями качества проволоки являются: геометрические характеристики, механические свойства материала, качество поверхности, структура металла, нарушения сплошности при технологических испытаниях, коррозионная стойкость [1–3].

Проволока марки СвАМг5 применяется наиболее часто. В первую очередь она предназначена для сварки алюминиево-магниевого сплава, авиалайнеров, а также для свариваемых тройных сплавов алюминий-цинк-магний. Однако области применения проволоки на основе системы Al–Mg ограничиваются тем, что сварной шов при эксплуатации не должен подвергаться действию температур, превышающих 80 °С [4].

Так как магналии, применяемые для производства сварочной проволоки, являются термически неупрочняемыми, повысить прочностные свойства таких сплавов возможно за счет комплексного легирования переходными металлами (ПМ), в частности скандием и цирконием. Однако достижение высоких прочностных свойств алюминиевых сплавов зачастую идет в ущерб их технологичности и делает малопластичными.

Технология получения готовых изделий, в особенности длинномерных, является многоцикловой, трудоемкой и включает множество промежуточных технологических операций (литье слитков, прессование или прокатку, волочение, термическую обработку). В работах [5, 6] было рассмотрено применение совмещенных методов обработки (объединение процессов литья-кристаллизации-формоизменения в одну непрерывную линию) для малопластичных сплавов. Полученные данным методом полуфабрикаты в виде длинномерных деформированных полуфабрикатов, обладают высокими пластическими свойствами за счет благоприятной схемы всестороннего сжатия при выдавливании и дополнительной знакопеременной деформации. Применение данных методов позволяет повысить производительность и энергоэффективность процесса за счет исключения многочисленных трудоемких операций, сократить производственные площади и повысить выход годного.

Разработка технологии получения проволоки из новых экономно легированных сплавов, имеющих высокие эксплуатационные характеристики и технологичность, позволит не только повысить надежность и ресурс конструкции, но и снизить ее массу и металлоемкость.

Учеными Сибирского федерального университета совместно с сотрудниками ОК РУСАЛ проведен ряд исследовательских и опытно-конструкторских работ [7–9], направленных на разработку новых сплавов системы Al–Mg с различным содержанием скандия, редкоземельных,

переходных металлов и технологий их обработки. В результате для нужд судоходства и автомобилестроения получены плоские деформированные полуфабрикаты из опытных сплавов на основе сплавов 5083 и 1570, комплексно легированных ПМ с целью снижения содержания скандия, при условии сохранения высоких эксплуатационных характеристик.

При сварке конструкций из таких полуфабрикатов очень важен коэффициент прочности сварного шва, который должен быть близок к коэффициенту прочности основного металла (табл. 1).

В качестве заготовок для получения проволоки использовали прутки диаметром 9 мм, полученные методом совмещенного литья, прокатки и прессования (СЛИПП) [6] из опытного сплава, с содержанием скандия 0,10–0,14 % и сплава 1570 с содержанием скандия 0,25 %.

Прочностные свойства полученных прутков сравнивали со значениями аналогичных полуфабрикатов, полученных дискретным прессованием из сплава АМг5 [10], применяемого для получения сварочной проволоки, и сплава 1570 системы Al–Mg–Sc [11], из которого изготавливают подавляющее большинство полуфабрикатов для отраслей транспортного машиностроения (табл. 1).

Таблица 1

Гарантированные прочностные свойства прутков в деформированном состоянии

Марка сплава	Система	Механические свойства			Коэффициент прочности сварного шва, $\sigma_{В св.шва} / \sigma_{В}$
		$\sigma_{В}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	
АМг5	Al–Mg	265	120	15	0,90–0,95
1570	Al–Mg–Sc	380	245	15	0,85–0,95
1570*		320	284	15	–
Опытный сплав*	Al–Mg+ПМ	315	248	16	–

* – прутки получены по технологии СЛИПП

Механические свойства прутков, полученных методом СЛИПП, наиболее близки по уровню к свойствам прутка из сплава 1570, полученного традиционным способом. Поэтому для последующего волочения в качестве заготовок использовали прутки, полученные методом СЛИПП. На цепном стане однократного волочения путем последовательных переходов с применением промежуточных отжигов получали проволоку диаметром 3 мм без видимых поверхностных дефектов (табл. 2).

Свойства проволоки, полученной из прутков, изготовленных по технологии СЛИПП, из опытного сплава в деформированном и отожженном состоянии (отжиг при температуре 350–400 °С и времени

выдержки 3 часа) не уступают проволоке из сплава 1570, в котором содержание дорогостоящего скандия больше практически в два раза.

Таблица 2

Прочностные свойства проволоки диаметром 3 мм

Марка сплава	Механические свойства проволоки					
	Деформированная			Отожженная		
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
1570	432	413	3	340	214	18
Опытный сплав	454	429	4	358	241	16

Сварку деформированных листовых полуфабрикатов толщиной 3 мм, полученных горячей и холодной прокаткой из опытных сплавов на более ранних стадиях исследований, проводили методом аргонодуговой сварки с применением неплавящегося электрода и полученной проволоки.

В табл. 3 приведены результаты определения прочностных и пластических свойств образцов из листов основного металла и сварных образцов. Образцы для испытаний из холоднодеформированных и сварных заготовок были ориентированы вдоль направления прокатки и подвергнуты отжигу в течении 3 часов при температуре 350 °С для снятия остаточных напряжений.

Таблица 3

Коэффициент прочности сварного шва и механические свойства основного металла и сварных соединений в отожженном состоянии

Марка сплава	Содержание Sc, масс. %	Механические свойства						Коэффициент прочности сварного шва, $\sigma_{B \text{ св.шва}} / \sigma_B$
		Листы			Сварной шов			
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	
1570	0,25	445	350	7	380	252	6	0,85
Опытный	0,10–0,14	443	358	9	377	250	6	0,85

Полученные характеристики прочности и пластичности образцов из опытного сплава находятся на уровне свойств сплава 1570. Полученный коэффициент прочности сварного шва 0,85 является достаточным для соединения листовых полуфабрикатов из исследуемых сплавов методом аргонодуговой сварки с использованием в качестве присадочного материала проволоки, полученной из опытного сплава с содержанием скандия 0,10–0,14 %.

Таким образом, введение скандия в количестве 0,10–0,14 в сплав системы Al–Mg обеспечивает высокий уровень механических свойств деформированных полуфабрикатов в виде прессованных прутков и

проволоки, при этом прочность сварного шва по отношению к прочности основного металла составляет 0,85.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 7871–75 Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. 14 с.
2. ASTM B211–03 Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Bar, Rod, and Wire. 10 p.
3. Филатов Ю. А. Структура и свойства деформированных полуфабрикатов из алюминиевого сплава 01570С системы Al–Mg–Sc для изделия РКК «Энергия» / Ю. А. Филатов, А. Д. Плотников // Технология легких сплавов. 2011. № 2. С. 15–26.
4. Сварка алюминия и его сплавов [Электронный ресурс] / ООО «МеталлИмпорт» – 2006. Режим доступа: <http://www.silumin.ru/infstsai>.
5. Новые технические и технологические решения при получении прутков из малопластичных сплавов алюминия совмещенными методами / С. Б. Сидельников [и др.] // Сборник трудов III международного конгресса «Цветные металлы –2011». Красноярск, 2011. С. 567–572.
6. Сидельников, С. Б. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов: монография / С. Б. Сидельников, Н. Н. Довженко, Н. Н. Загиров. Москва : МАКС Пресс, 2005. 344 с.
7. Handing ability of processing and properties of rolling products of Al–Mg system prudently doped with scandium / O. V. Yakivnyuk [et al.] // Non-ferrous metals and minerals 2016: collection of theses of reports. Krasnoyarsk, 2016. P. 262–263.
8. Research of rolling regimes and mechanical properties of cold-rolled, annealed and welded semi-finished products from experimental alloys of Al–Mg system, economically alloyed by scandium / V. N. Baranov [et al.] // Tsvetnye Metally. 2017. № 9. P. 83–88.
9. Development of methods and equipment for industrial mastering processes of obtaining long semi-finished products from alloys al-rem system using processes of combined machining / D. S. Voroshilov [et al.] // XVIII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, materials engineering, production engineering and physics». A collective monograph edited by Jarosław Boryca, Dorota Musiał, Series: Monografie Nr 68, Czestochowa. 2017. P. 290–295.
10. ГОСТ 21488–97 Прутки прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. 29 с.
11. Сплав 1570С – материал для герметичных конструкций перспективных многоразовых изделий РКК «ЭНЕРГИЯ» / А. В. Бронз [и др.] // Космическая техника и технологии. 2007. № 4 (7). С. 62–67.