

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ АМг6

*В.М. Ажажа, В.Я. Свердлов, А.А. Кондратов, Т.Ю. Рудычева*

*ИФТТМТ Национального научного центра  
«Харьковский физико-технический институт»,  
г. Харьков, Украина; E-mail: [sverdlov@kipt.kharkov.ua](mailto:sverdlov@kipt.kharkov.ua)*

На основе метода непрерывного литья разработан способ получения заготовок сложнолегированных сплавов на основе алюминия, серебра, меди. Непрерывно литая заготовка алюминиевого сплав АМг6 состоит из мелких зерен с поперечным размером  $\sim 15$  мкм и вытянутых в направлении продольной оси заготовки. Такая микроструктура благоприятна для пластической деформации заготовки. Методом волочения из заготовки была получена сварочная проволока, соответствующая стандартным требованиям, предъявляемым к коммерческим сварочным проволокам.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время алюминий (самый распространенный в природе металл) и его сплавы находят все большее практическое применение. Параллельно с этим все более актуальным становится задача развития сварки деталей из алюминиевых сплавов и получения сварочных материалов для этих целей. Наиболее широкое применение на практике получил метод электродуговой сварки с расходуемым электродом, в качестве которого используется проволока из определенного алюминиевого сплава. Учитывая широкую номенклатуру алюминиевых сплавов и их функциональное назначение, для каждого конкретного случая, желательно, подбирать сварочную проволоку оптимального химического состава. В связи с этим на практике возникает потребность в производстве опытных мелкосерийных партий сварочных проволок различного химического состава.

Проволоку для сварки алюминиевых сплавов изготавливают из сложнолегированных алюминиевых сплавов. Такие сплавы являются трудно деформируемыми. Поэтому для получения проволоки из таких сплавов разрабатывают специальные методы, позволяющие формировать микроструктуру, благоприятную для дальнейшей деформации. Одним из перспективных методов получения сварочной проволоки для алюминиевых сплавов является метод непрерывного литья. Несмотря на более чем вековую историю своего развития [1], метод непрерывного литья и сейчас остается одним из самых перспективных для получения мелкосерийных партий сварочной проволоки с высокими свойствами. В данной работе приведены результаты разработки способа получения сварочной проволоки АМг6 с использованием метода непрерывного литья.

### 1. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве исходного материала использовали горячепрессованный прутки  $\varnothing 70$  мм (Al 6Mg 0,6Mn). Процесс непрерывного литья осуществляли

в устройстве, схематически показанном на рис.1. Конструкция устройства обеспечивает высокие значения градиента температуры на фронте кристаллизации  $G_T \approx 100$  °C/см. Высокий градиент температуры на фронте кристаллизации сплава способствует уменьшению высоты твердожидкой зоны, которая определяется из условия  $h = \Delta T / G_T$ , где  $\Delta T = T_L - T_S$ ;  $T_L$  – температура ликвидуса, а  $T_S$  – температура солидуса сплава соответственно. Сила трения при вытягивании литой заготовки по поверхности кристаллизатора прямо пропорциональна высоте твердожидкой фазы. Уменьшение  $h$  позволяет уменьшить вероятность обрыва литой заготовки и повысить выход годной продукции.

Устройство [2] содержит емкость 1 с выходным отверстием, которая установлена в нагревателе 2. В донной части емкости 1, в его выходном отверстии установлена впускная часть кристаллизатора 3. Со стороны емкости кристаллизатор охвачен дополнительным нагревателем 4. Охлаждающее устройство 5 расположено на выходной части кристаллизатора и отделен от дополнительного нагревателя теплоизолирующим экраном 6. Вытягивание непрерывной литой заготовки осуществляется при помощи вращающихся прижимных роликов 7.

Исходный материал (сплав АМг6) размещали в емкости, нагревали с помощью нагревателя до температуры ликвидуса  $T_L$ . Сплав, попадая в кристаллизатор, подвергался дополнительному локальному нагреву дополнительным нагревателем выше  $T_L$  приблизительно на 100 °C. Затем перегретый металл входил в контакт с расположенным в кристаллизаторе затравочным кристаллом из сплава АМг6. Литую заготовку получали вытягиванием затравочного кристалла при помощи прижимных роликов. В средней части кристаллизатора, между дополнительным нагревателем и охлаждающим устройством, благодаря теплоизолирующему экрану создается наиболее высокий градиент температуры  $G_T$ . Именно в этом месте происходит направленная кристаллизация сплава. Высокое значение градиента

температуры  $G_T$  позволяет использовать такое устройство для получения методом непрерывного литья катанки сложнoleгированных сплавов на основе алюминия, меди и серебра.

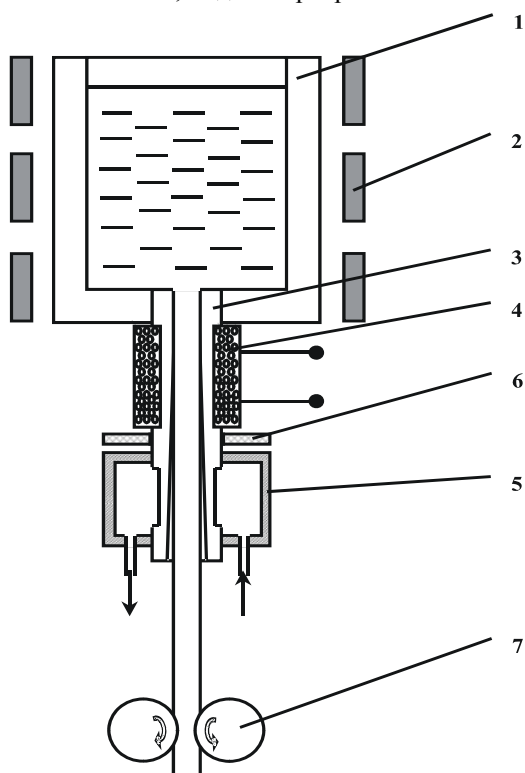


Рис. 1. Схема устройства для непрерывного литья

В данной работе методом непрерывного литья получали заготовки сплава АМг6 диаметром  $\varnothing 8$  мм. Скорость вытягивания заготовки составляла  $R \approx 20$  м/ч. Заготовки деформировали методом волочения при комнатной температуре с промежуточными отжигами  $250^\circ\text{C}/1$  ч до конечного диаметра  $\varnothing 2,0$  мм. Отжиги проводили в воздушной среде в печи типа СНОЛ с точностью поддержания температуры не менее  $\pm 5^\circ\text{C}$ .

Микроструктуру образцов исследовали с помощью оптического микроскопа Neophot-32.

Твердость образцов измеряли на твердомере ТК-2М.

Химический состав проволоки контролировался методом спектрального анализа. Результаты анализа приведены в таблице.

**Химический состав сварочной проволоки АМг6**

Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Zn
0,10	5,85	0,70	0,50	0,50	0,10

По химическому составу проволока соответствовала марке АМг6, ГОСТ 7871-75.

Изготовленная проволока использовалась для получения опытных сварных швов на материалах АМг6 методом аргонодуговой электросварки на Харьковском государственном авиационном производственном предприятии.

**2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

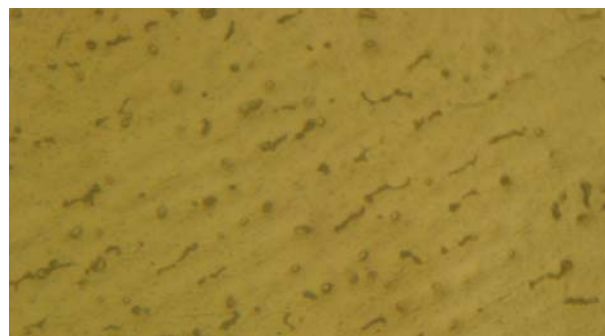
Структура непрерывно литой заготовки сплава АМг6 состоит из равноосных в поперечном сечении зерен с размерами  $\sim 15 \dots 17$  мкм. Границы зерен декорированы выделениями выродившейся эвтектики  $\alpha + \beta(\text{Al}_2\text{Mg}_3)$  размерами  $\sim 1-2$  мкм. Эвтектические включения распределены равномерно по объему заготовки и их объемная доля составляет  $v_f \approx 3\%$ .

В поперечном сечении зерна имеют ячеисто-дендритную морфологию, по форме напоминающую «мальтийский» крест (рис.2,а).

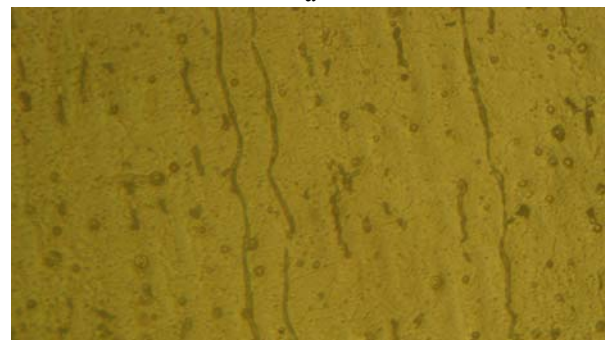
В продольном сечении зерна вытянуты вдоль направления движения заготовки при непрерывном литье (см. рис.2,б).

В процессе часовых термообработок при температурах  $100 \dots 450^\circ\text{C}$  существенных изменений в микроструктуре не наблюдали.

Зависимость твердости по Роквеллу от температуры часового отжига показана на рис.3. Подобную зависимость твердости от температуры отжига можно объяснить процессами снятия внутренних напряжений при температурах ниже температуры полного растворения  $\beta(\text{Al}_3\text{Mg}_2)$ -фазы (температура солвус), которая для сплава АМг6 согласно диаграмме состояния Al-Mg [3] находится вблизи  $300^\circ\text{C}$ . При более высоких температурах твердость сплава АМг6 определяется процессами дисперсионного старения и упрочнения вторичными выделениями  $\beta(\text{Al}_3\text{Mg}_2)$ -фазы. Исходя из полученной температурной зависимости твердости непрерывно литой заготовки сплава АМг6 температура  $250^\circ\text{C}$  была выбрана в качестве температуры промежуточных отжигов при получении сварочной проволоки.



а



б

Рис.2. Микроструктура непрерывно литой заготовки сплава АМг6,  $R=20$  м/ч;  $\times 300$ : а – поперечное сечение, б – продольное сечение

При пластической деформации волочением заготовки в провод происходило измельчение фазовых составляющих и удлинение зерен в направлении деформации (рис.4). Степень деформации по сечению заготовки была однородной, и измельчение поперечных размеров зерен было пропорционально степени деформации. Поперечный размер зерен в проволоке  $\varnothing 2,0$  мм составлял  $\approx 4 \dots 5$  мкм.

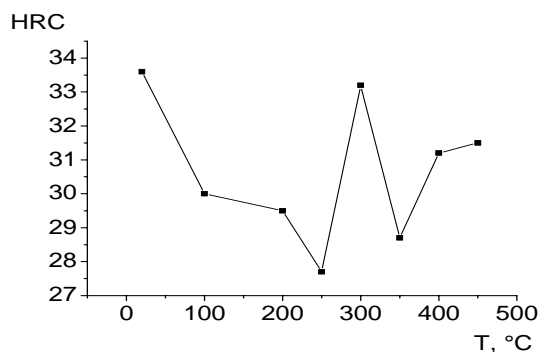
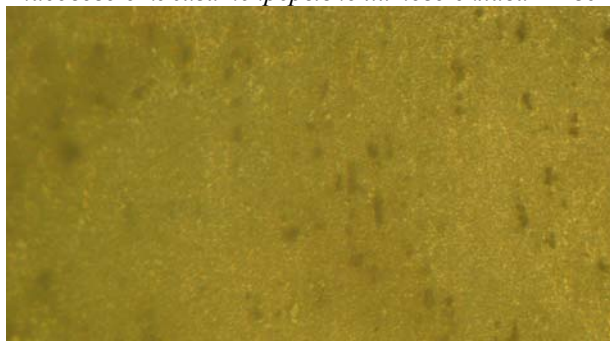


Рис.3. Зависимость твердости от температуры часового отжига непрерывно литого сплава АМг6



а



б

Рис.4. Микроструктура проволоки АМг6  $\varnothing 2,0$  мм Х300: а – поперечное сечение; б – продольное сечение

Полученная сварочная проволока из сплава АМг6 использовалась для изготовления сварных образцов методом аргонодуговой электросварки. Испытания сварных образцов показали значения предела прочности на разрыв  $\sigma_B = 33,5 \dots 35,0$  кг/мм<sup>2</sup> и угол загиба в градусах 140...145. Полученные результаты испытаний соответствуют требованиям, предъявляемым к коммерческим сварочным проволокам данной марки.

### ВЫВОДЫ

1. На основе метода непрерывного литья разработан способ получения заготовок (катанки) сплавов на основе алюминия, серебра, меди.
2. Разработанным способом получены деформируемые при комнатной температуре заготовки сплава АМг6, из которых была изготовлена сварочная проволока  $\varnothing 2,0$  мм.
3. Результаты испытаний сварных образцов, изготовленных аргонодуговой электросваркой, с использованием такой сварочной проволоки соответствуют стандартным требованиям.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Деклараційний патент України на корисну модель. №4463, 7 В22D11/00, В22D27/00. Від 17.01.2005. Опубл. 17.01.2005 / Пристрій для безперервного лиття заготовок із розплаву / В.М. Ажажа, В.Я.Свердлов, О.О. Кондратов // Бюл. №1.
2. Э.Германн. *Непрерывное литье*. М.: «Металлургиздат», 1961, с.1111.
3. М.Хансен, К.Андерко. *Структура двойных сплавов*. М.: «Металлургиздат», 1962, т.1.

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ДРОТУ АМг6

*В.М. Ажажа, В.Я. Свердлов, А.А. Кондратов, Т.Ю. Рудичева*

На основі методу безперервного лиття розроблений спосіб одержання заготовок складнолегованих сплавів на основі алюмінію, срібла, міді. Безперервно відлита заготовка з алюмінієвого сплаву АМг6 складається із дрібних зерен з поперечним розміром  $\sim 15$  мкм і витягнутих у напрямку поздовжньої осі заготовки. Така мікроструктура сприятлива для пластичної деформації заготовки. Методом волочіння із заготовки був отриманий зварювальний дріт, що відповідає стандартним вимогам, пропонованим до комерційних зварювальних дротів.

## THE APPLICATION OF THE METHOD OF CONTINUOUS CASTING FOR MANUFACTURING OF WELDING WIRE AMg6

*V.M. Azhazha, V.Ya. Sverdlov, A.A. Kondratov, T.Yu. Rudicheva*

The method of manufacturing semifinished item of high alloyed of aluminum, silver and copper alloys has been investigated on the basis of the continuous casting method. The sample of aluminum alloy AMg6 consist of small grains with the vior-cut dimension ~15mkm and which are stretched in the direction of longitudinal axis of the sample Such microstructure is favourable for plastic deformation of the sample. Welding wire which meets the demands of standards of commercial welding wires of this brand has been produced by the drawing from the sample.