

## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.777:669.231.7

Довженко Н.Н., Сидельников С.Б., Биронт В.С., Рудницкий Э.А.,  
Столяров А.В., Усков И.В., Лопатина Е.С., Ходюков Б.П.\*

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БЕССЕРЕБРЯНЫХ ПАЛЛАДИЕВЫХ СПЛАВОВ

При производстве ювелирных изделий из палладиевых сплавов (цепочки, серьги, кольца, броши и т.п.) достаточно широко используются деформированные полуфабрикаты в виде проволоки [1, 2]. Предыдущие исследования [3] показали, что серебряносодержащие сплавы палладия 850 пригодны для изготовления ювелирных изделий и полуфабрикатов методами микролитья, штамповки, сортовой прокатки и волочения. Однако при производстве ювелирных цепочек, когда сварка звеньев производится путем аргонодуговой сварки с высокими температурами нагрева металла в очаге сварки, их использование приводит к образованию дефектов в виде пор, что ведет к раскрытию сварного шва и разрушению цепочки. Кардинальным решением в этом случае для получения качественных сварных цепочек из палладиевых сплавов, на наш взгляд, является путь изменения химического состава сплавов за счет исключения из состава сплава серебра как легирующего компонента [3].

Для подтверждения данного предположения были проведены исследования, заключающиеся в разработке новых составов бессеребряных сплавов, отладке технологической схемы производства из них проволоки и получения цепочек со сваркой звеньев с применением аргонодуговой сварки.

При промышленном опробовании сплава второго состава, содержащего медь и хром в количестве 15% (по массе), было выявлено образование микротрещин на поверхности заготовки при достижении степени деформации 62%. Дальнейшая деформация до прутка сечением 1,05×1,05 мм (степень деформации 92%) приводила к «залечиванию» микротрещин. Однако при дальнейшей термической обработке после рекристаллизационного отжига, на этапе охлаждения прутка, произошло его разрушение, что связано с охрупчиванием сплава при использовании такого легирующего компонента, как хром.

Положительные результаты получены на сплаве второго состава с суммарным содержанием золота и меди в количестве 15% (по массе). Технология получения проволоки из этого сплава несколько отличалась от технологии, применявшейся для сплавов, содержащих серебро. Так, литье осуществлялось в горизонтальную, водоохлаждаемую медную изложницу высотой 60 мм. После удаления из центральной части усадочной раковины слиток разделяли на три части для последующейковки. Перед ковкой слиток подвергали гомогенизационному отжигу при температуре 900°C в течение 30 мин, а затем обрабатывали путем протяжки по схеме квадрат–прямоугольник–квадрат за несколько переходов. Протяжку исходного слитка осуществляли на пневматическом молоте с массой падающих частей 150 кг. По мере уменьшения поперечного сечения заготовки переходили на молот с массой падающих частей 80 кг. Величина общего укова составила 9.

Дальнейшую холодную деформацию проводили по разработанной ранее технологии [3], которая включала сортовую прокатку заготовки с размера 15×15 мм до размера 1,05×1,05 мм и волочение до конечного диаметра проволоки 0,3 мм. Полученный в результате сортовой прокатки прутки сечением 1,05×1,05 мм подвергали рекристаллизационному отжигу, график режима которого представлен на **рис. 1**. Защитная атмосфера обеспечивалась подачей аргона со скоростью 25 л/ч.

С целью изучения механических свойств экспериментального сплава по ходу волочения отбирали образцы проволоки со степенью деформации 42, 65, 82, 89 и 94%. Кривые зависимости временного сопротивления разрыву и относительного удлинения от суммарной степени деформации представлены на **рис. 2** и **3**.

Полученные данные были аппроксимированы зависимостью с помощью программного обеспечения Microsoft Excel, при этом величина достоверности аппроксимации составила  $R^2 = 0,9986$ , а формула имела вид

$$\sigma_{\varepsilon} = 0,001\varepsilon_{\Sigma}^3 - 0,2411\varepsilon_{\Sigma}^2 + 21,057\varepsilon_{\Sigma} + 395,31.$$

\* В работе принимали участие Н.А. Грищенко, И.С. Гоголь, О.О. Виноградов, О.В. Бабушкин.

Анализ полученных зависимостей показал, что экспериментальный сплав характеризуется достаточно высокими пластическими (удлинение до 36%) и прочностными (временное сопротивление разрыву до 750 МПа) свойствами. В процессе волочения упрочнение металла идет достаточно интенсивно, однако при этом деформация до 94% возможна без применения промежуточных отжигов. Для последующего цепевязания требовался



Рис. 1. Температурно-временной режим термической обработки прутка сечением 1,05×1,05 мм

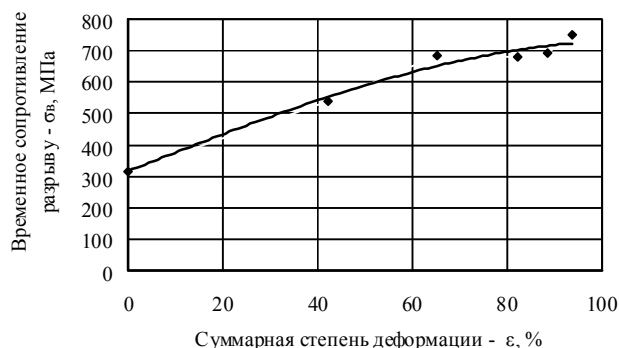


Рис. 2. Временное сопротивление разрыву экспериментального сплава палладия при растяжении в зависимости от степени холодной деформации



Рис. 3. Относительное удлинение экспериментального сплава палладия при растяжении в зависимости от степени холодной деформации

отжиг, который осуществлялся в непрерывной печи с атмосферой аргона. Параметры отжига являлись предметом исследований и варьировались в пределах: температура 750–800°C, подача аргона 250, 1000 л/ч, скорость протяжки оставалась неизменной  $v=35$  м/мин. Цепевязание проводили по режимам, указанным в **таблице**. Здесь же приведены варианты технологии отжига проволоки, использованной для цепевязания.

Испытания звеньев цепочек производили на механическом динамометре высокой точности модели А/71. Длина рабочей зоны образца 50 мм. Испытанию подвергались не менее трех образцов, полученных по одному режиму. Результаты испытаний также сведены в **таблицу**.

Анализ результатов испытаний на разрыв цепочек, полученных из отожженной проволоки при температуре 800°C с удельным расходом аргона 250 л/ч, показал неудовлетворительные результаты. Недостаточное количество аргона не позволяет полностью исключить окислительную среду в рабочем пространстве печи, что может приводить к насыщению кислородом поверхностных слоев проволоки. Взаимодействие с кислородом при аргонодуговой сварке не дает качественного провара звена, что приводит к снижению прочностных и пластических характеристик исследуемых цепочек. Варьирование режимов аргонодуговой сварки на проволоке, отожженной при данных условиях, практически не влияет на стабильность сварных

Номер образца	Режим отжига проволоки		Режим сварки цепочки		Результаты испытаний цепочки	
	Расход аргона при отжиге, л/ч	Температура отжига, °C	Время, мс	Сила тока, МА	Сила разрыва, Н	Удлинение, мм
1	250	800	2,5	145	48	20
2					48	19
3					58	17
4	250	800	2,0	236	42	30
5					52	27
6					42	29
7	1000	800	2,5	145	62	40
8					64	39
9					70	43
10	1000	800	2,0	236	68	41
11					72	44
12					60	40
13	1000	750	2,5	145	68	42
14					52	28
15					68	42
16	1000	750	2,0	236	60	40
17					64	38
18					72	45

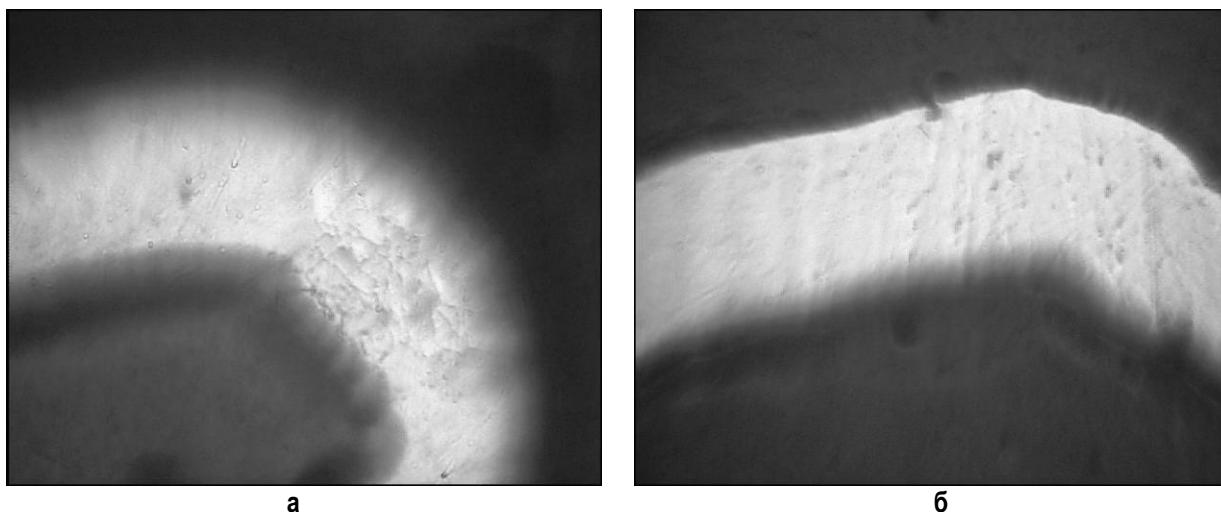


Рис. 4. Внешний вид сварного соединения образцов цепочек, полученных с применением различных режимов сварки (а – образец 7; б – образец 11),  $\times 120$

соединений от звена к звену. Так, сила разрыва провязанной цепи лежит в пределах 50 Н, удлинение цепочки незначительное и меняется от 17 до 30 м. Разрыв звеньев цепочки происходит без утонения концов сварного шва, звено разрушается по кромкам сварного шва (так называемое «хрупкое разрушение»).

Увеличение расхода аргона до 1000 л/ч при отжиге проволоки обеспечивает инертность атмосферы печи, что, в свою очередь, положительно сказывается на качестве сварных соединений при аргодуговой сварке цепочки. Экспериментальные данные показывают увеличение силы разрыва цепочки, которые лежат выше требуемого значения в 60 Н для цепочек, полученных из проволоки диаметром 0,3 мм. Удлинение цепочки также растет, что говорит о пластичном разрушении звеньев цепи, т.е. происходит постепенное утонение (*проволоки*) на концах сварного шва до момента его разрушения.

Снижение температуры отжига проволоки до 750°C может негативно отразиться на результате аргодуговой сварки, о чем свидетельствуют экспериментальные данные (образец № 14). Для внедрения в производство можно рекомендовать следующие режимы отжига проволоки, идущей

на цепевязание методом аргодуговой сварки: температура 800°C, подача аргона – 1000 л/ч, скорость протяжки  $v=35$  м/мин.

Проведенные металлографические исследования сварных соединений, на примерах образцов № 10 и 17 (рис. 4), показали, что пористость зон сварки полностью не исключается, однако степень поражения порами сварного соединения принципиально уменьшилась по сравнению с цепочками, изготовленными из сплавов, содержащих серебро [3].

Остаточная пористость уже не оказывает катастрофического влияния на прочностные характеристики готовых изделий, при этом разрывное усилие звеньев цепочки, изготовленной из проволоки экспериментального сплава, удовлетворяет предъявляемым техническим условиям.

Таким образом, в результате проведенной работы экспериментально исследованы технологические режимы получения проволоки из бессеребряных палладиевых сплавов 850 пробы, изучены прочностные и пластические свойства холоднодеформированных полуфабрикатов, полученных из этих сплавов, и даны рекомендации по выбору режимов аргодуговой сварки при производстве из них ювелирных цепочек.

#### Библиографический список

1. Разработка новых составов и технологий пластической обработки сплавов на основе палладия / Н.Н. Довженко, В.С. Биронт, С.Б. Сидельников и др. // Моделирование и развитие процессов ОМД: Межвуз. сб. науч. трудов. Магнитогорск, 2007. С. 263–266.
2. Материаловедение. Металловедение палладия и его сплавов: Учеб. пособие / В.С. Биронт, Н.Н. Довженко, С.Н. Мамонов, И.В. Тихов, Б.П. Ходюков. Красноярск: ГУЦМиЗ, 2007. 152 с.
3. Особенности получения и обработки ювелирных сплавов на основе палладия / Н.Н. Довженко, С.Б. Сидельников, В.С. Биронт, Э.А. Рудницкий, Б.П. Ходюков, А.В. Столяров // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2008. № 1. С. 63–68.