

УДК 621.791/.792 : 621.791.3 : 621.791.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УСТРАНЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ЛИТЫХ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ДУГОВОЙ ЗАВАРКОЙ И ПАЙКОЙ

© 2020 Д.М. Юдин, С.В. Харченко, С.С. Жаткин

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 12.05.0020

В статье представлены результаты исследований по устранению дефектов художественного литья литейной бронзы путем электродуговой сварки и пайки в Центре литейных технологий СамГТУ. Экспериментально было исследовано влияние типа и режима сварочной дуги, а также вида припоя на качество и структуру зон сварки и пайки дефектов художественного литья из бронзы БрО5Ц5С5. На основе исследований определены оптимальные режимы заварки и пайки дефектов литья из бронзы.

Ключевые слова: бронза БрО5Ц5С5, сварка, пайка, режимы сварки, режимы пайки, припой, электроды, присадочные прутки, сварочное оборудование.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-3-92-97

ВВЕДЕНИЕ

Художественное литье применяется для отливки заготовок, которые после обработки используются в качестве декоративных украшений и предметов искусства. Современное художественное литье применяется также для реставрации различных памятников и зданий.

В зависимости от размеров формы и сложности предмета литье может осуществляться либо полностью либо по частям. Исходя из задач и потребностей заказчика способы литья также могут быть различными. При этом можно отливать заготовки из различных металлов - меди, бронзы, стали, чугуна и др.

Как и во многих технологических процессах, при литье по выплавляемым моделям также могут возникать различного вида дефекты. Наиболее значимыми из них являются недоливы, раковины, рыхлоты, засоры и окисные пленки.

Устранение дефектов из литейной бронзы (недолив, усадочные и газовые раковины, поры, трещины), возникающих в отливках, актуально для изделий художественного и декоративного литья, выполняемых в центре литейных технологий (ЦЛТ) СамГТУ. При отливке художественных деталей бронзового состава выявляются дефекты, в большей части поверхностного характера. Одним из способов устранения такого рода дефектов является заварка или пайка. Художественное литье

из бронзы - дорогостоящее производство, вследствие чего целесообразно производить заварку или пайку незначительных по размерам дефектов, чем переплавка этих же изделий.

В данной работе приведены исследования исправления дефектов мелкосерийного или штучного художественного литья из бронзы БрО5Ц5С5 (ГОСТ 613-79) в ЦЛТ СамГТУ с помощью дуговой заварки и пайки.

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Химический состав материала для исследований приведен в таблице 1.

Температура плавления данного материала 977-985 °С. Толщина пластин в исследованиях составляла 6 мм.

В качестве присадки при сварке использовались прутки диаметром 3 мм из того же материала. При пайке в качестве присадочного материала были выбраны твердые припои на основе меди (таблица 2).

Дуговая сварка и пайка проводилась на сварочном инверторе СВАРОГ TIG 200P AC/DC, работающий как на постоянном, так и на переменном токе. Краткие характеристики аппарата приведены в таблице 3.

Сварка проводилась в среде аргона с вольфрамовым электродом диаметром 2,2 мм и на воздухе с графитовым электродом диаметром 10 мм. Сварка проходила с разделкой кромок заготовок и предварительным их подогревом до 350-450 °С. При сварке с графитовым электродом сила тока составляла 180 А, а при TIG-сварке вольфрамовым электродом сила тока составляла 65А и 160А.

Пайку вели в среде аргона с вольфрамовым электродом также с разделкой кромок заготовок

Юдин Денис Михайлович, студент.

E-mail: d.yudin2011@yandex.ru

Харченко Сергей Викторович, студент.

E-mail: serega-9710@mail.ru

Жаткин Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры литейных и высокоэффективных технологий, Самарский государственный технический университет (СамГТУ). E-mail: laser@samgtu.ru, sergejat@mail.ru

Таблица 1. Химический состав бронзы Бр05Ц5С5 (ГОСТ 613-79)

| | | | | | | | | | |
|--------|---------|--------|---------|-----------|-------|-------|--------|-------|-----------|
| Fe | Si | P | Al | Cu | Pb | Zn | Sb | Sn | Примесей |
| до 0.4 | до 0.05 | до 0.1 | до 0.05 | 80.7 - 88 | 4 - 6 | 4 - 6 | до 0.5 | 4 - 6 | всего 1.3 |

Таблица 2. Характеристики твердых припоев для пайки медных сплавов

| Наименование | Состав | Температура плавления, °С | Диаметр прутка, мм | Ток, А |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------|--------|
| Припой с содержанием 2% серебра | Ag - 2 % Cu - 91 % P - 7 % | 650-820 | 2 | 20-30 |
| Припой с содержанием 5% серебра | Ag - 5 % Cu - 89 % P - 6 % | 650-810 | | |
| Медно-фосфорный припой | Cu - 93 % P - 7 % | 715-805 | | |
| Оловянно-медный припой | Pb - 72 % Cu - 25 % Zn - 3% | 190 | | |

Таблица 3. Технические характеристики сварочного инвертора

| Характеристика | Значение |
|--|-----------------|
| Напряжение питающей сети, В | 220±15% |
| Диапазон регулирования сварочного тока, А | 5–200 |
| Способ возбуждения дуги | Высокочастотный |
| Базовый ток, А | 10–90 |
| Частота повторения импульса, Гц | 0,5–300 |
| КПД, % | 85 |
| Баланс полярности, % | 20–80 |
| Максимальная толщина свариваемого металла на переменном токе, мм | 10 |

под углом 45° и предварительным подогревом до 300 °С. После зачистки кромок паяемых материалов между ними выставлялся зазор в 1,5 мм. После прихватки пластин проводилась пайка при силе тока в 20-30 А.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Ниже приведены результаты исследований сварки образцов из бронзового сплава Бр05Ц5С5. На рисунке 1 приведена микроструктура исходного материала.

Хорошо проявляется высокая пористость исходной литой бронзы.

При сварке графитовым электродом наблюдаются значительные протяженные поры (рис. 2), сконцентрированные в основном в верхней части сварного шва.

Наличие таких дефектов, а также значительный разогрев материала дугой от графитового электрода ограничивает применение такого вида сварки при устранении локальных дефектов литья. Сварка с графитовым электродом в

большей степени применима для статуарного литья, нежели для устранения дефектов художественного литья.

Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом (TIG-сварка) характеризуется высоким качеством процесса соединения материалов в отличие от обычной дуговой сварки. Однако здесь также требуется правильный подбор режима.

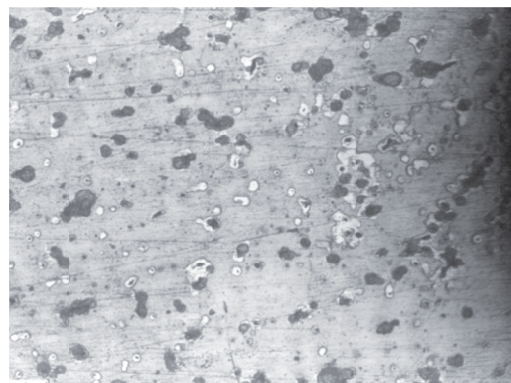


Рис. 1. Микроструктура Бр05Ц5С5 (x40)

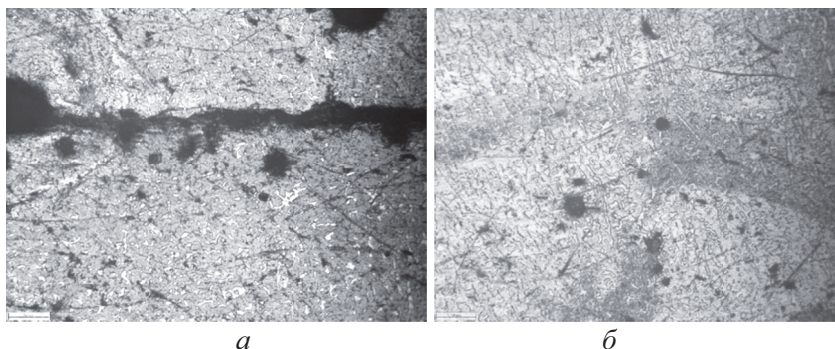


Рис. 2. Структура сварного шва при сварке графитовым электродом (x10):
а – верхняя часть сварного шва; *б* – нижняя часть сварного шва

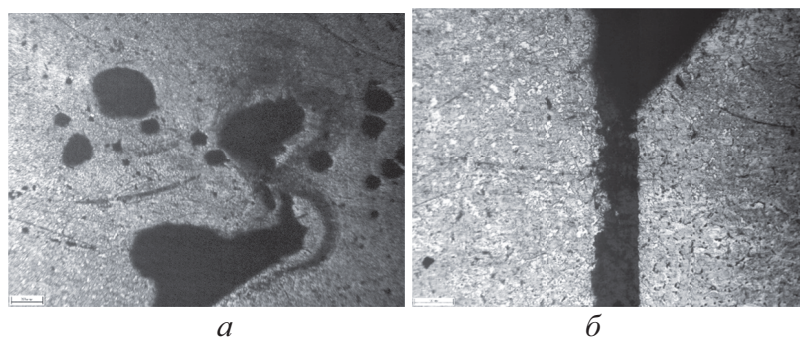


Рис. 3. Структура зоны TIG сварки при силе тока 65А (x10):
а – верхняя часть шва; *б* – корень шва

На рисунке 3 представлены результаты исследования структуры сварного шва, полученного при TIG-сварке с током дуги 65А. В данном режиме проплавление материала прошло лишь в верхней части свариваемых заготовок на незначительную глубину.

Хорошо видна значительная пористость верхней части сварного шва (рис. 3,*а*) и глубокий непровар (рис. 3,*б*). Скопления больших пор в сварном шве обусловлено незначительным прогревом материала при силе тока 65А и при ускоренном теплоотводе газы не успевают выйти из зоны плавления.

Для провара на всю глубину и минимизации количества пор сварочный ток был повышен до 160А (рис. 4).

После увеличения тока до 160 А зона провара значительно возросла и составила более поло-

вины от толщины заготовки. Так же пористость и газовые включения в структуре сварного шва значительно уменьшены. Измерения показали, что при силе тока 65А пористость достигала 70% на 1 мм², а при силе тока 160А – не более 30%

Для подтверждения исследований была выбран барельеф «Александр Невский», в котором имеются дефекты недолива и образования пор на поверхности (рис. 5).

Для исправления дефектов, обнаруженных после художественного литья, был выбран наиболее подходящий режим сварки, исходя из исследований, проведенных ранее. В результате анализа наиболее подходящим режимом для сварки барельефа толщиной 4 мм оказалось сила тока 95А.

Перед восстановлением данный барельеф был предварительно отделен от литниковой системы и зачищен (рис. 6).

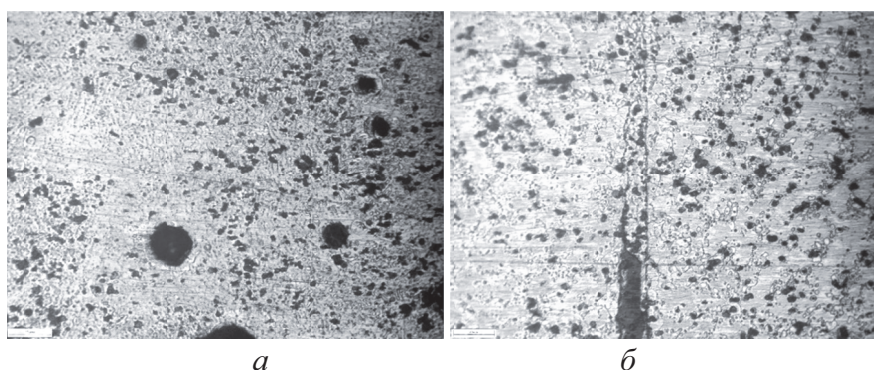


Рис. 4. Структура зоны TIG сварки при силе тока 160А (x10):
а – верхняя часть шва; *б* – корень шва



Рис. 5. Дефект недолива в барельефе «Александр Невский»

В ходе всех проделанных сварочных процедур по ликвидации литейного брака данный барельеф был подвергнут патинированию при помощи серы для придания монотонного цвета (рис. 7).

Аналогичным образом аргодуговой заваркой были устранены дефекты художественного литья из бронзы Бр05Ц5С5 на барельефе «Самарский Костёл», отлитый также в ЦЛТ Самарского государственного технического университета (рис. 8).

Устранение дефектов пайкой имеет ряд преимуществ перед сваркой, таких как: зона термического влияния минимальна, основной материал при этом не плавится. На рисунке 9 приведены зоны пайки заготовок из бронзы Бр05Ц5С5 с использованием различных припоев.

Первые два припоя (рис. 9 а, б) не обеспечивают полного заполнения зоны пайки, а медно-фосфорный припой без добавки серебра характеризуется в данном случае наихудшим смачиванием паяемых стенок (рис. 9а). Наилучшее качество пайки наблюдается при использо-

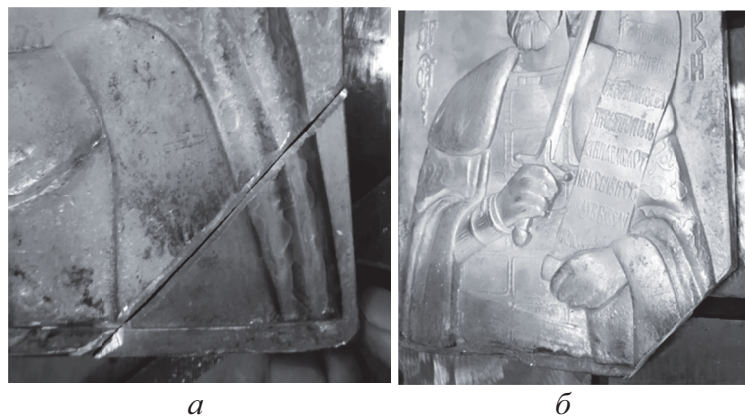


Рис. 6. Зачистка кромок и подготовка поверхности перед сваркой барельефа «Александр Невский»: а – зачистка кромок на недостающей части барельефа; б – подготовка поверхности основной части барельефа к исправлению дефекта



Рис. 7. Художественный барельеф «Александр Невский» после заварки дефектов и патинирования



Рис. 8. Художественный барельеф «Самарский Костёл» после заварки дефектов литья

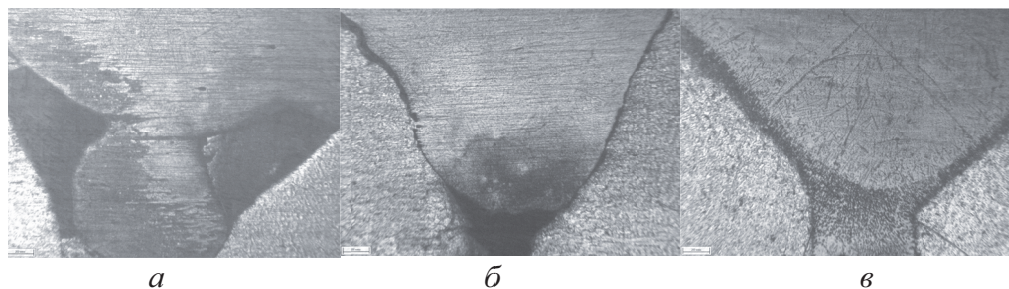


Рис. 9. Зоны пайки заготовок из бронзы BrO5Ц5C5 различными припоями (x4): а - медно-фосфорным припоем, ток дуги 20А; б - припоем с содержанием 2% серебра, ток дуги 25А; в - оловянно-медным припоем, ток дуги 20А.



Рис. 10. Дефекты недоливов в отливке «Голова лошади»



Рис. 11. Изделие после восстановления и механической обработки

вании оловянно-медного припоя (рис. 9, в). При этом обеспечивается хорошее смачивание стенок заготовок и максимальное растекание припоя по всей зоне пайки, что может быть связано с его низкой температурой плавления (табл. 2).

Для практической реализации исследований была выбрана художественная отливка «Голова лошади», в которой имеются дефекты недолива и образования углубления на поверхности у основания бюста лошади, которые представлены ниже (рис. 10).

Для исправления данных дефектов был выбран наиболее подходящий оловянно-медный припой, исходя из исследований, проведенных выше. После устранения дефектов и механической обработки, изделие было подвергнуто патинированию при помощи серной печени для придания монотонного цвета поверхности (рис. 11).

ВЫВОДЫ

На основе экспериментальных исследований установлено:

Для устранения дефектов художественного литья изделий из бронзы BrO5Ц5C5 рекомендуется использовать технологию дуговой заварки и пайки, что позволяет избежать дорогостоящего повторного литья.

Результаты исследований показали, что технологию сварки угольным электродом сле-

дует рекомендовать для заварки и сварки изделий статуарного литья больших размеров и площадей.

TIG сварка в инертном газе, показывает наилучшие результаты по заварке дефектов литья из бронзы BrO5Ц5C5. В этом случае при оптимально выбранном режиме сварки обеспечивается меньшее количество пор и снижается перегрев основного материала. Для свариваемых заготовок толщиной 6 мм наиболее лучшие результаты наблюдаются при токе дуги 160А.

Исследования устранения дефектов литья бронзы BrO5Ц5C5 дуговой пайкой показали, что наилучшие результаты обеспечиваются при использовании оловянно-медного припоя. В этом случае происходит лучшее смачивание припоем и его растекание по зоне пайки. Однако несоответствие цвета затвердевшего припоя и бронзового изделия вынуждает патинировать его. Данный метод рекомендуется для устранения дефектов художественного литья в виде пор и раковин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паркин А.А. Технология обработки концентрированными потоками энергии. Самара: СамГТУ, 2004.
2. Лапин И.Е. Неплавящиеся электроды для дуговой сварки: монография / И. Е. Лапин, В. А. Косович;

Волгоградский гос. техн. ун-т. - Волгоград: Поли-
техник, 2001. - 190 с.: ил. - Библиогр.: с.181-190.
- ISBN 5-230-03885-6

3. Маслов В.И. Сварочные работы: Учебник / В. И. Мас-
лов; Ин-т развития проф. образования. - М.: ИРПО:
Академия, 1998. - 234 с. - (Проф. образование).

RESEARCH OF PROCESSES FOR REMOVING DEFECTS IN ARTISTIC PRODUCTS USING ARC WELDING AND SOLDERING

© 2020 D.M. Yudin, S.V. Kharchenko, S.S. Zhatkin

Samara State Technical University, Samara

The article presents the results of research on the elimination of defects from bronze using electric welding and soldering in the central lithium technologies of SamSTU. The influence of the type and quality of welding on bronzes has been experimentally investigated. Based on the studies, the optimal modes of welding and soldering of defects from bronze were determined.

Key words: bronze, welding, soldering, welding modes, soldering modes, solder, electrodes, filler rods, welding equipment.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-3-92-97

Denis Yudin, Student. E-mail: d.yudin2011@yandex.ru
Sergey Kharchenko, Student. E-mail: serega-9710@mail.ru
Sergey Zhatkin, Candidate of Technics, Associate Professor
at the Department of Founding and High-Performance
Processes, Samara State Technical University (SamSTU).
E-mail: laser@samgtu.ru, sergejat@mail.ru