



МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ СВАРКИ ХРОМОВОЙ БРОНЗЫ

В. М. ИЛЮШЕНКО¹, Ю. Г. НОВОСЕЛЬЦЕВ², С. Л. БУСЫГИН²

¹ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

² Сибирский федеральный университет. РФ, 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26. E-mail: rector@kgtu.runnet.ru

Дуговая сварка изделий из хромовой бронзы сопряжена со склонностью металла швов к образованию горячих трещин. Приведены результаты исследований по изысканию мер предупреждения образования горячих микротрещин в металле швов хромовой бронзы БрХ08 больших толщин, выполненных плазменно-дуговой сваркой. Показано, что основной причиной образования дефектов в металле шва является подсос в плазменную дугу кислорода воздуха, что приводит к интенсивному окислению хрома в сварочной ванне и попаданию металла шва в зону максимальной хрупкости сплавов Cu–Cr. Учитывая, что одной шлаковой защиты большого объема ванны жидкого металла, образующейся при плазменно-дуговой сварке по слою флюса на мощных режимах ($I_{св} = 1000 \dots 1400$ А, $U_d = 48 \dots 55$ В), недостаточно для получения качественного шва, сделан вывод о целесообразности долегирования металла шва хромом и малыми добавками эффективного раскислителя — титана. Для этих целей разработана специальная присадочная проволока марки ППБрХТ 12-2, применение которой в сочетании с подобранным флюсом позволило успешно решить задачу промышленного изготовления сварных крупногабаритных изложниц кристаллизаторов электрометаллургических печей. Библиогр. 9, рис. 5.

Ключевые слова: хромовая бронза, плазменно-дуговая сварка, кристаллизация, структура, трещины

При изготовлении крупногабаритных сварных конструкций из хромовой бронзы БрХ08, таких как изложницы кристаллизаторов электрометаллургических печей, для получения качественных сварных швов необходимо обеспечить начальные тепловые условия разогрева металла для образования сварочной ванны. Ограниченные мощности обычной дуговой сварки не позволяют компенсировать отвод тепла в свариваемый металл и, как правило, требуют применения предварительного и сопутствующего подогрева. Данный недостаток исключен при разработке [1–3] процесса плазменно-дуговой сварки меди и хромовой бронзы, позволяющего обеспечить значительное удельное тепловложение в свариваемые кромок и регулировать энергетические и газодинамические параметры плазменной струи в широком диапазоне.

Для стабилизации плазменной струи плазмообразующий газ в плазматрон вводят тангенциально, что вызывает вихревое состояние газового потока, и подсос определенного количества воздуха в зону дуги. Это, в свою очередь, приводит к окислению жидкого металла, вследствие чего хром, находящийся в основном металле (ОМ) (0,8...1,2 %), выгорает в сварочной ванне до 0,1...0,2 % и металл шва попадает в зону максимальной хрупкости (рис. 1). В сформированном металле шва образуются горячие микротрещины (рис. 2), которые не обнаруживаются рентгенографическими, капиллярными и цветными методами контроля, но развиваются и проявляются при дальнейших технологических операци-

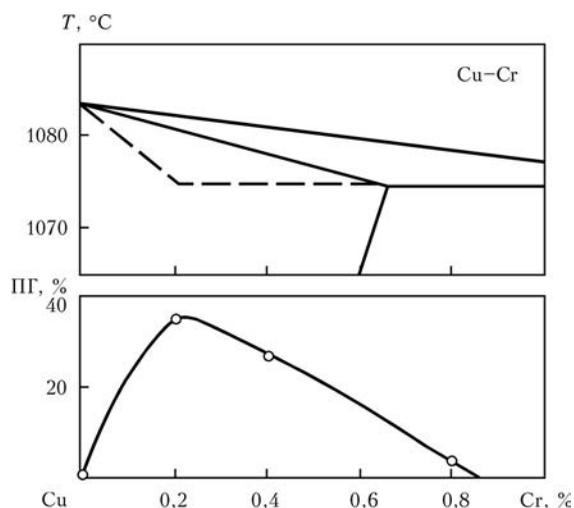


Рис. 1. Влияние хрома на порог горячеломкости (ПГ) сплавов системы Cu–Cr [4]

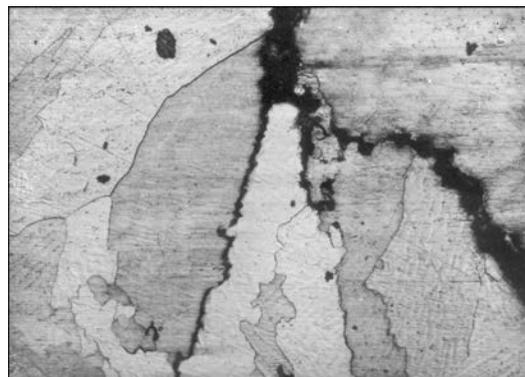


Рис. 2. Микротрещины в металле сварного шва бронзы БрХ08, $\times 300$



ях, сопровождаемых деформациями и нагревом изделия.

Оценка склонности к образованию трещин сплавов Cu–Cr с различным содержанием хрома, проведенная по методике, описанной в работе [5], на образцах типа «рыбий скелет», показала, что минимальной склонностью к образованию трещин обладает металл с содержанием хрома в пределах 0,5...1,0 % (рис. 3).

Известно, что запас технологической прочности при сварке (стойкость против образования горячих трещин) зависит от соотношения трех характеристик: температурного интервала хрупкости (ТИХ), деформационной способности в этом интервале и интенсивности нарастания упругопластической деформации по мере снижения температуры (темпа деформации).

Величина ТИХ определяется химическим составом сплава, дендритной ликвацией, размером и формой кристаллитов, скоростями охлаждения и деформации. Ориентировочно ее можно оценить по диаграмме состояния с учетом неравномерности кристаллизации и влияния примесей. Пластичность сплава в ТИХ зависит от соотношения объемов твердой и жидкой фаз, размеров и формы кристаллитов, характера распределения жидкой фазы, химической и соответствующей структурной микронеоднородности, скорости деформации. Темп деформации определяется термическим коэффициентом линейного расширения, жесткостью сварного соединения, характером распределения температуры (определяющим степень концентрации деформаций), а также формоизменением свариваемых изделий.

Анализ трещин, образующихся при плазменно-дуговой сварке меди и хромовой бронзы, показал, что они являются межкристаллитными с окисленной поверхностью и имеют кристаллизационный характер. Исследования, проведенные в ИЭС им. Е. О. Патона, показали, что кристаллизационные трещины вызваны наличием вредных примесей (висмут, теллур, сера, кислород и др.) [5, 6]. Вредное действие этих примесей обусловлено их общими физико-химическими свойствами: ограниченной растворимостью в меди, образованием легкоплавких эвтектик, поверхностной активностью по отношению к меди. Поэтому механизм влияния вредных примесей на склонность к образованию кристаллизационных трещин связан с эффектом адсорбционного понижения пластичности и прочности (механизм жидкометаллической хрупкости) [7].

При кристаллизации однофазного сплава на последних стадиях происходит резкое повышение концентрации вредных примесей и вследствие их поверхностной активности снижается работа зарождения трещин. При кристаллизации двухфазного сплава на последней стадии еще остается жидкость и обогащение вредными примесями не происходит. Поэтому для повышения стойкости к образованию кристаллизационных трещин медь необходимо легировать элементами, способствующими образованию двухфазного сплава, например, хромом в определенных концентрациях.

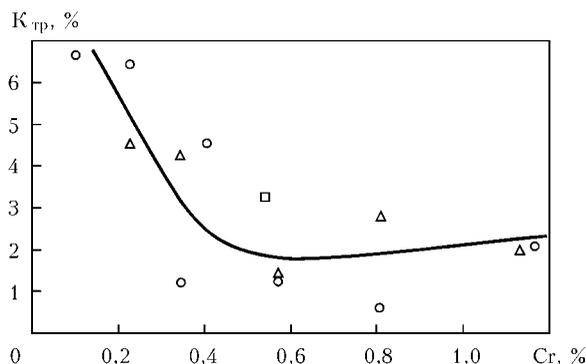


Рис. 3. Зависимость технологической прочности хромовой бронзы от содержания хрома

Хром ограниченно растворим в меди в твердом состоянии (при температуре эвтектики 1072 °С растворимость хрома достигает 0,65 %) и является одним из элементов, незначительно снижающих электро- и теплопроводность меди [8]. Поэтому при плазменно-дуговой сварке хромовой бронзы для предупреждения образования кристаллизационных трещин необходимо компенсировать угар хрома и долегировать металл шва таким образом, чтобы содержание хрома в нем было на уровне ОМ. Следует также отметить, что хром является эффективным модификатором (рис. 4), что уменьшает обогащение границ зерен вредными примесями.

Для компенсации угара хрома была создана специальная присадочная порошковая проволока ППБрХТ 12-2 [2], содержащая около 10...15 % Cr, чем обеспечивается необходимое долегирование металла шва хромом. Введение в проволоку 1,5...3 % Ti (эффективного раскислителя), способствует не только раскислению металла сварочной ванны, но и уменьшению угара хрома. Кроме того, как следует из результатов исследований [9], микролегирование швов хромовой бронзы БрХ08 титаном в количестве 0,04...0,07 % также повышает их стойкость к образованию трещин и увеличивает деформационную способность сварных соединений.

В условиях производства наиболее простым способом подачи присадочной проволоки в зону сварки является ее укладка вдоль стыка с последующей засыпкой слоя флюса.

Учитывая, что плазменно-дуговая сварка меди и хромовой бронзы больших толщин (до 40...50 мм)

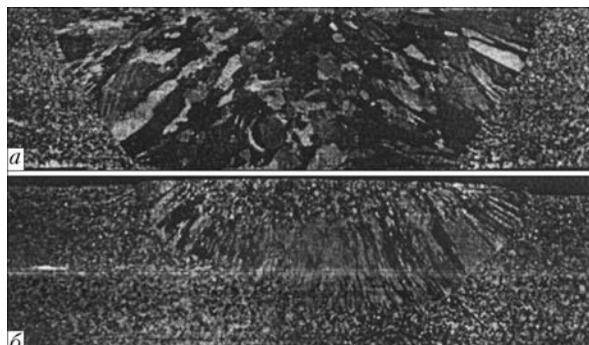


Рис. 4. Микроструктуры металла сварного шва бронзы БрХ08 с разным содержанием хрома: а — 0,2 %; б — 1,2 %



Рис. 5. Изложница кристаллизатора для вакуумной электро-дуговой выплавки титановых слитков (бронза БрХ08, толщина 40 мм)

выполняется на мощных режимах ($I_{св} = 1000...1400$ А, $U_d = 48...55$ В) и образующаяся ванна жидкого металла имеет значительные размеры (более 80×160 мм для металла толщиной 40 мм), защита такого объема жидкого металла от воздействия воздуха является непростой задачей. Решить ее дополнительной газовой защитой за счет конструкции плазмотрона, и без того достаточно сложной, не просто. Кроме того, увеличение расхода инертного газа с целью защиты расплавленного металла от воздуха вызывает выплескивание жидкого металла из ванны. В связи с этим плазменно-дуговая сварка проводится по слою флюса, высота которого 15...20 мм. Экспериментальным путем выбрана бинарная смесь флюсов марки АН-26 и АФ-4А в соотношении 10:1, где добавка хлоридного флюса, ошлаковывающая тугоплавкую оксидную пленку Cr_2O_3 , улучшает отделимость шлаковой корки.

На основании выполненных исследований была разработана промышленная технология плазменно-дуговой сварки хромовой бронзы больших толщин, которая успешно освоена при изготовлении уникальных сварных кристаллизаторов электрометаллургических печей (рис. 5).

1. *Усовершенствование* технологии плазменно-дуговой сварки изделий из меди и хромовой бронзы / В. М. Илюшенко, В. Е. Седов, В. А. Аношин и др. // Свароч. пр-во. — 1977. — № 11. — С. 31–32.
2. *Гуревич С. М.* Справочник по сварке цветных металлов. — Киев: Наук. думка, 1981. — 608 с.
3. *Новосельцев Ю. Г.* Технологические особенности плазменной сварки крупногабаритных конструкций из меди и ее сплавов. — Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 2008. — 152 с.
4. *Новиков И. И.* Горячеломкость цветных металлов и сплавов. — М.: Наука, 1966. — 300 с.
5. *Исследование* влияния примесей и ряда легирующих элементов на образование трещин при сварке меди / В. М. Илюшенко, В. А. Аношин, А. Н. Бондаренко и др. // Сб. докл. 1-й Всесоюз. конф. «Актуальные проблемы сварки цветных металлов». — Киев: Наук. думка, 1980. — С. 217–221.
6. *О влиянии* примесей на склонность к образованию трещин при сварке меди / В. М. Илюшенко, В. А. Аношин, А. М. Жердев, В. И. Карманчук // Сб. докл. 2-й Всесоюз. конф. «Актуальные проблемы сварки цветных металлов». — Киев: Наук. думка, 1985. — С. 335–337.
7. *Гликман Е. Э., Горюнов Ю. В.* Механизм жидкометаллической хрупкости и других проявлений эффекта Ребиндера в металлических системах // Физ.-хим. мех. материалов. — 1978. — № 4. — С. 20–30.
8. *Смирягин А. П.* Промышленные цветные металлы и сплавы. — М.: Metallurgizdat, 1956. — 560 с.
9. *Влияние* титана на пластичность металла шва при сварке сплава БрХ08 под флюсом / А. П. Шипулин, К. Г. Зобнина, Л. К. Босак, В. М. Илюшенко // Свароч. пр-во. — 1974. — № 4. — С. 25–27.

Поступила в редакцию 13.02.2013



X Международный конкурс сварщиков «Золотой кубок Бенардоса»

12-16 августа 2013

Южный, Одесская обл. (Украина)

На конкурс приглашаются сварщики из Украины и других стран, имеющие опыт работы.

Конкурс будет проходить в следующих номинациях:

- ручная дуговая сварка покрытым электродом
- дуговая сварка металлическим плавящимся электродом в активных газах
- дуговая сварка вольфрамовым электродом в инертных газах
- газовая сварка

Победители и призеры конкурса в личном и командном зачетах награждаются:

памятными кубками Бенардоса
дипломами Общества сварщиков Украины
ценными подарками и денежными премиями
международными сертификатами сварщика

Организаторы конкурса:

Общество сварщиков Украины
Одесское областное Общество сварщиков Украины
Одесский припортовый завод

Полная информация о конкурсе представлена на сайтах: www.tzu.key.ua и www.tzu.od.ua