

ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ НАПЛАВКА ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА НА СТАЛЬ 110Г13Л

Ю. М. КУСКОВ, Ф. К. БИКТАГИРОВ, Т. И. ГРИЩЕНКО, А. И. ЕВДОКИМОВ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Представлены результаты металлографического исследования металла опытных наплавки дробью из высокохромистого чугуна в токоподводящем кристаллизаторе образцов из стали 110Г13Л. Показаны возможность получения качественных биметаллических соединений и особенности формирования зоны сплавления металлов при минимальном и максимальном проплавлении основного металла. Библиогр. 10, табл. 1, рис. 6.

Ключевые слова: электрошлаковая наплавка, токоподводящий кристаллизатор, наплавочная дробь, высокохромистый чугун, сталь 110Г13Л, структура металла

Для изготовления различных изделий горноталлургического оборудования, подвергающихся абразивному изнашиванию, широкое распространение получила сталь 110Г13Л. Однако если в процессе эксплуатации истирающие усилия небольшие, либо толщина упрочненного слоя соизмерима с абразивным износом, преимущества данной стали не проявляются и она сопротивляется изнашиванию как обычная низколегированная сталь. Поэтому в этом случае для увеличения долговечности изношенных деталей, изготовленных из стали 110Г13Л, желательно не просто восстанавливать их размеры, а заменять изношенную часть материалами повышенной износостойкости. К таким материалам, в частности, относятся высокохромистые (15...30 % Cr) чугуны [1–4]. И хотя они характеризуются не только повышенной сопротивляемостью абразивному изнашиванию, но и достаточно высокими механическими свойствами (таблица), нанесение таких материалов методами дуговой наплавки практически невозможно. Такая задача может быть решена с помощью электрошлаковой наплавки (ЭШН).

Многочисленные работы по созданию оптимальной технологии восстановления деталей из стали 110Г13Л были выполнены в Донецком национальном техническом университете применительно к ЭШН высокохромистым чугуном зубьев ковшей карьерных экскаваторов [5–7]. При этом использовалась классическая схема наплавки размещенной в кристаллизаторе заготовки плавящимся в шлаке электродом. Авторы разработанной технологии ЭШН получили большой опыт эксплуатации наплавленных высокохромистым чугуном изделий и достаточно подробно изучили особенности зоны сплавления стали 110Г13Л и высокохромистого чугуна [8, 9]. По результатам этого опыта и исследований можно сделать следу-

ющие выводы: во-первых, получить качественное биметаллическое соединение стали и чугуна даже при электрошлаковой наплавке достаточно сложная задача; во-вторых, восстановленные по такой технологии изделия желательно эксплуатировать только при отсутствии значительных ударных нагрузок [6, 8].

Разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона технология электрошлаковой наплавки дискретным материалом в токоподводящем кристаллизаторе (ТПК) имеет определенные преимущества по воздействию на условия сплавления металлов и формирования их кристаллической структуры по сравнению со способами наплавки в обычных кристаллизаторах с использованием плавящихся электродов большого сечения. Эти преимущества определяются возможностью в более широких пределах варьировать технологическими параметрами наплавки, а также процессами инокулирования расплавленного металла (металлической ванны) наплавляемым материалом и вращения металлической ванны, обусловленного конструкцией ТПК [10].

Поэтому целью данной работы было исследование структуры наплавленного высокохромистого чугуна и зоны его сплавления со сталью 110Г13Л при ЭШН в ТПК с использованием в ка-

Свойства наплавленного и литого высокохромистого чугуна (~3 % C, 16 % Cr)

| Материал | Механические свойства | | | | Твердость HRC |
|--------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------|---------------|
| | σ_v , МПа | KCU_{20} , МДж/м ² | $\sigma_{изг}$, МПа | Стрела прогиба, мм | |
| Чугун наплавленный | 820 | 1,3 | 1650 | 2,9 | ~ 50 |
| Чугун литой | 420 | - | 280 | 1,7 | ~ 50 |

честве наплавочного материала дискретной при-
садки — чугунной дроби.

Наплавки выполняли в ТПК диаметром 180 мм. Основным металлом служили заготовки из стали 110Г13Л толщиной 40 мм. Дискретной при-
садкой являлась дробь диаметром 2,5...3,5 мм из высокохромистого чугуна (мас. %: 2,4С; 27Сr), полученная распылением воздухом струи жидкого металла. Производительность наплавки около 30 кг/ч.

Исследовали образцы, вырезанные из биметаллических заготовок, имеющих различную степень проплавления основного металла. Образец № 1 — с минимальным (1...2 мм) проплавлением и образец № 2 — максимальным (5...7 мм) проплавлением. Микроструктуру наплавленного слоя (высокохромистого чугуна) выявляли электролитическим травлением в 20 %-м водном растворе хромового ангидрида при напряжении 15 В в течение 5 с. Микроструктуру основного металла (стали 110Г13Л) выявляли травлением в 4 %-м спиртовом растворе азотной кислоты. Металлографические исследования проводили с помощью микроскопа «Эпиквант». Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 100 г. Твердость измеряли на приборе ТК-2М по методу Роквелла.

Результаты исследований. *Образец № 1.* Микроструктура наплавленного металла представляет собой зерна первичного аустенита, с расположенной по их границам хромисто-карбидной эвтектикой (рис. 1). Твердость наплавленного металла HRC 44...46. Наблюдаются также единичные зоны с отличающейся структурой размерами от 0,5 до 2...3 мм, расположенные примерно на расстоянии 5...6 мм от поверхности наплавленного слоя и 1...3 мм от зоны сплавления. По-видимому, эти зоны имеют одинаковые причины возникновения. Зоны, имеющие крупные зерна аустенита (рис. 2), возникли из-за наличия в дроби значительного количества гранул относительно

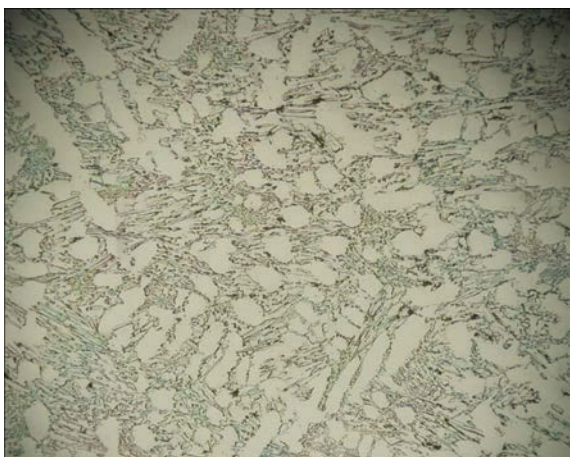


Рис. 1. Микроструктура ($\times 100$) наплавленного высокохромистого чугуна образца № 1

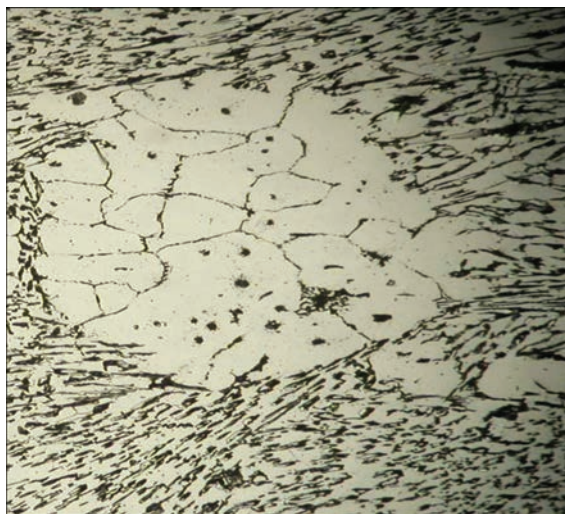


Рис. 2. Микроструктура ($\times 100$) включений с крупными зёрнами аустенита в наплавленном высокохромистом чугуне образца № 1

большого размера (≥ 3 мм), структура металла которых сохраняется при их расплавлении в случае недостаточного количества тепла, поступающего к их поверхности.

Зоны с микрокристаллической структурой (рис. 3) представляют собой расплавленные дробинки относительно малого диаметра, металл которых не успел растечься и смешаться с остальным наплавленным металлом. Появление зон обоих типов связано с имевшим место несоответствием массовой скорости подачи наплавочной дроби ее фракционному составу и электрическому режиму наплавки.

Микроструктура основного металла представляет собой крупные вытянутые зерна аустенита, по границам которых наблюдаются выделения карбидов. По мере удаления от линии сплавления размер и количество карбидов уменьшается. Можно предположить, что такие структурные изменения связаны как с термическим циклом наплавки, так и перемешиванием основного и наплавленного металлов.

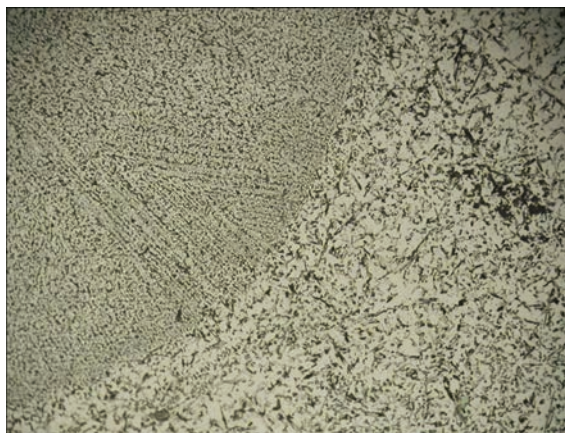


Рис. 3. Микроструктура ($\times 100$) включений с мелкокристаллическим строением в наплавленном высокохромистом чугуне образца № 1

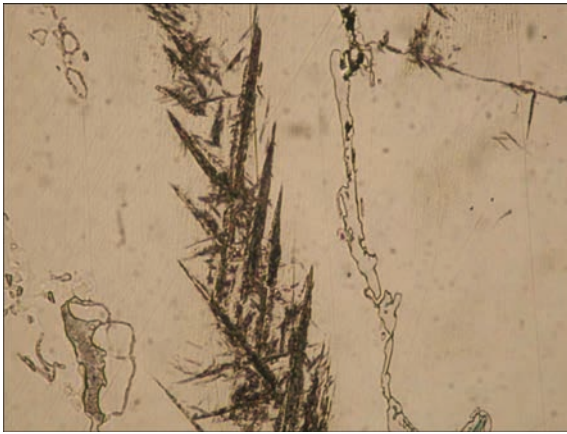


Рис. 4. Фаза с игольчатой структурой в зоне соединения основного и наплавленного металлов образца № 1 ($\times 500$)

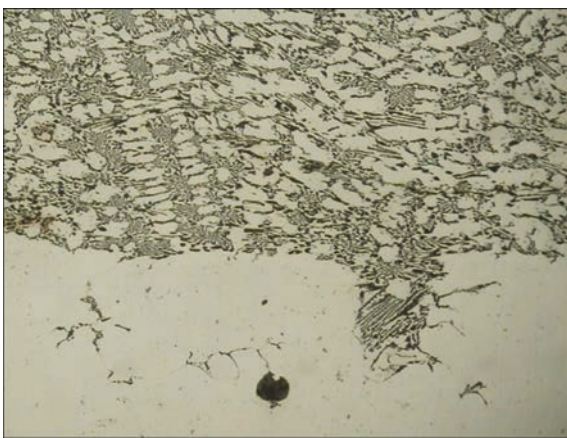


Рис. 5. Микроструктура ($\times 100$) зоны сплавления образца № 2 (без травления основного металла)

Биметаллическое соединение образуется путем плавного перехода наплавленного металла к основному, хотя в отдельных местах встречаются разрозненные выделения игольчатой фазы (рис. 4). Твердость зоны сплавления низкая и составляет всего $HRC 18...22$ (при твердости основного металла $HRC 12...15$). Это предполагает отсутствие значительных скоплений твердых и хрупких составляющих, а также позволяет считать эту зону способной сопротивляться повышенным ударным нагрузкам. Сравнение результатов данного исследования с результатами, полученными на образцах, наплавленных электродом большого сечения примерно такого же химического состава в обычном кристаллизаторе [10], показывает, что во втором случае достичь повышенных прочностных свойств соединения удастся только при дополнительном легировании чугуна марганцем (до 8 %), что ухудшает его износостойкость.

Образец № 2. Микроструктура наплавленного металла (при толщине наплавленного слоя около 20 мм) аналогична микроструктуре металла образца № 1. Значительные изменения наблюдаются в зоне сплавления основного и наплавленного

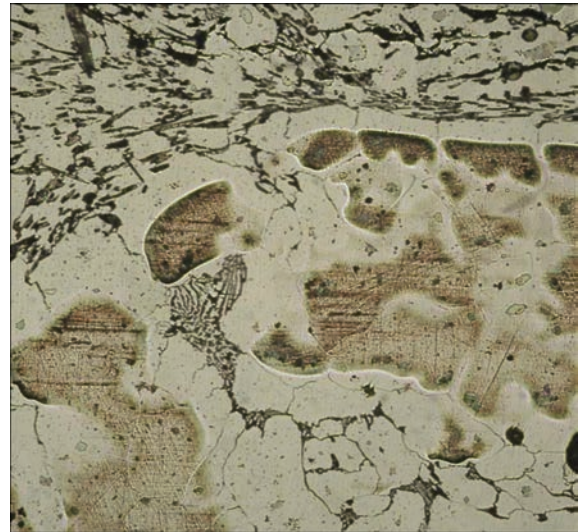


Рис. 6. Микроструктура ($\times 125$) зоны сплавления образца № 2 (после травления)

металлов. В этой зоне имеются локальные включения структурных составляющих разных размеров высокохромистого чугуна в металле основы (рис. 5), а также встречаются дефекты литейной стали в виде пор (округлые включения темного цвета). Вследствие значительного перемешивания стали и чугуна в зоне сплавления формируется большое количество разнообразных фаз (рис. 6). Тем не менее, твердость этой зоны относительно низкая — $HRC 17$. Следовательно, даже при значительном перемешивании основного и наплавленного металлов можно получать биметаллические соединения с достаточно пластичной переходной зоной.

Выполненные исследования показывают, что ЭШН деталей из стали 110Г13Л дробью из высокохромистого чугуна в ТПК обеспечивает минимальное проплавление металла основы и позволяет получать качественные биметаллические соединения с пластичной зоной перехода от стали к чугуну.

Список литературы

1. Гарбер М. Е. (1972) *Отливки из износостойких белых чугунов*. Москва, Машиностроение.
2. Цыпин И. И. (1983) *Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства*. Москва, Металлургия.
3. Жуков А. А., Сильман Г. И., Фрольцов М. С. (1984) *Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов*. Москва, Машиностроение.
4. Гаврилюк В. П., Тихонович В. И., Шалевская И. А., Гутько Ю. И. (2010) *Абразивостойкие высокохромистые чугуны*. Луганск, Ноулидж.
5. Пономаренко В. П., Шварцер А. Я., Стойко В. П. (1984) Свойства сплавов для электрошлаковой наплавки изношенных деталей. *Новые процессы наплавки, свойства наплавленного металла и переходной зоны*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, сс. 82–86.
6. Шварцер А. Я., Дорохов В. В., Пономаренко В. П. (1982) Развитие способов электрошлаковой наплавки зубьев ковшей экскаваторов. *Современные способы наплавки и их применение*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, сс. 70–77.

7. Шварцер А. Я., Валиц К. А., Стойко В. П. (1985) Технико-экономическая эффективность электрошлаковой технологии восстановления зубьев ковшей экскаваторов. *Наплавка. Опыт и эффективность применения*, сс. 62–64.
8. Пономаренко В. П., Шварцер А. Я., Строганова Г. В. (1985) Исследование зоны сплавления высокохромистого чугуна с высокомарганцевой сталью при электрошлаковой наплавке. *Металловедение и терм. обработка металлов*, **11**, 55–58.
9. Киселева И. В., Дорохов В. В., Шварцер А. Я., Герасимов Е. А. (1989) Регулирование протяженности переходной зоны методом электрошлакового обогрева. *Пробл. спец. электротехнологии*, **4**, 15–19.
10. Кусков Ю. М., Скороходов В. Н., Рябцев И. А., Сарычев И. С. (2001) *Электрошлаковая наплавка*. Москва, ООО «Наука и технологии».

References

1. Garber, M.E. (1972) *Castings from wear-resistant white cast irons*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
2. Tsyplin, I.I. (1983) *Wear-resistant white cast irons. Structure and properties*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
3. Zhukov, A.A., Silman, G.I., Froltsov, M.S. (1984) *Wear-resistant castings from complexly-alloyed white cast irons*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
4. Gavrilyuk, V.P., Tikhonovich, V.I., Shalevskaya, I.A., Gutko, Yu.I. (2010) *Abrasion-resistant high-chromium cast irons*. Lugansk, Knowledge [in Russian].
5. Ponomarenko, V.P., Shvartser, A.Ya., Stojko, V.P. (1984) Properties of alloys for electroslag surfacing of worn parts. *New processes of surfacing, properties of deposited metal and transition zone*. Kiev, PWI, 82-86 [in Russian].
6. Shvartser, A.Ya., Dorokhov, V.V., Ponomarenko, V.P. (1982) Development of methods of electroslag surfacing of excavator bucket teeth. Modern methods of surfacing and their application. *Ibid.*, 70-77 [in Russian].
7. Shvartser, A.Ya., Valits, K.A., Stojko, V.P. (1985) Technical and economical efficiency of electroslag technology for restoration of excavator bucket teeth. Surfacing. Experience and efficiency of application. *Ibid.*, 62-64 [in Russian].
8. Ponomarenko, V.P., Shvartser, A.Ya., Stroganov, G.V. (1985) Examination of fusion zone of high-chromium cast iron with high-manganese steel in electroslag surfacing. *Metallovedenie i Termich. Obrab. Metallov*, **11**, 55-58.
9. Kiseleva, I.V., Dorokhov, V.V., Shvartser, A.Ya., Gerasimov, E.A. (1989) Regulation of length of transition zone by electroslag heating method. *Problemy Spets. Elektrometallurgii*, **4**, 15-19 [in Russian].
10. Kuskov, Yu.M., Skorokhodov, V.N., Ryabtsev, I.A., Sarychev, I.S. (2001) *Electroslag surfacing*. Moscow, ООО Наука и Технологии [in Russian].

Ю. М. Кусков, Ф. К. Биктагиров, Т. І. Грищенко,
О. І. Євдокимов

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.
03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ ВИСОКОХРОМИСТОГО ЧАВУНУ НА СТАЛЬ 110Г13Л

Представлено результати металографічного дослідження металу дослідних наплавлень дріб'ю з високохромистого чавуну в струмопідвідному кристалізаторі зразків зі сталі 110Г13Л. Показано можливості отримання якісних біметалевих з'єднань і особливості формування зони сплаву металів при мінімальному і максимальному проплавленні основного металу. Бібліогр. 10, табл. 1, рис. 6.

Ключові слова: електрошлакове наплавлення, струмопідвідний кристалізатор, наплавляюча дріб, високохромистий чавун, сталь 110Г13Л, структура металу

Yu.M. Kuskov, F.K. Biktagirov, T.I. Grishchenko,
A.I. Evdokimov

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

ELECTROSLAG SURFACING OF HIGH-CHROMIUM CAST IRON WITH 110G13L STEEL

The paper presents the results of metallographic investigation of metal at test surfacing of 110G13L steel samples with high-chromium cast iron shot in current-supplying mould. Possibility of producing sound bimetal joints and features of formation of metal fusion zone at minimum and maximum penetration of base metal are shown. 10 Ref., 1 Tabl., 6 Fig.

Keywords: electroslag surfacing, current-supplying mould, surfacing shot, high-chromium cast iron, 110G13L steel

Поступила в редакцию 18.01.2018

Издательский Дом «Патон»

Предлагаем отпечатать Вашу статью, опубликованную в журнале «Автоматическая сварка» и на английском языке в журнале «The Paton Welding Journal», отдельным оттиском определенного тиража.

Оттиск статьи может быть оформлен в соответствии с пожеланиями. Размещение рекламы в нем также возможно.

Для получения дополнительной информации просьба обращаться в редакцию журнала: 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича 11, тел./факс: (38044) 200-82-77.
journal@paton.kiev.ua, www.patonpublishinghouse.com

