

УДК 669.187

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЛИТКА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ПЛАВКИ**

*И.В. Чуманов, М.А. Матвеева, М.А. Порсев*

В статье представлены результаты микроструктурного анализа переходной зоны биметаллического слитка полученного методом электрошлакового переплава. Для уменьшения химической неоднородности и протяженности зоны сплавления предложен ряд мер, направленных на уменьшение глубины жидкометаллической ванны и изменения химического состава переходной зоны.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав, биметаллический слиток, переходная зона, химический состав.

Для многих видов оборудования АЭС, нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов применение многослойных металлических композиций является единственным возможным способом достижения сочетания высокой коррозионной стойкости и необходимых механических свойств. Частный случай – биметаллы, с основным слоем из конструкционной стали и плакирующим из коррозионностойкой стали, находят применение в тех случаях, когда одновременно с высокими механическими свойствами требуется надёжная коррозионная стойкость металла [1].

Принципиально, электрошлаковый переплав (ЭШП) позволяет решить задачу получения биметаллической заготовки с высокой сплошностью соединения слоёв. Но переходная зона представляет собой сплав металлов, образующих слои слитка, и отличный по своим свойствам от сплавляемых металлов. Переходная зона представляет собой ещё один слой в многослойной композиции, при этом химический состав этого слоя непостоянен, то есть изменяется по высоте, и, соответственно, изменяются его свойства. Как показано в работе [2], протяжённость переходной зоны прямо пропорциональна объёму металлической ванны и примерно равна диаметру круглого слитка. Большая протяжённость переходной зоны часто приводит к образованию в этой зоне неблагоприятных структур, по свойствам резко отличающихся от свойств переплавляемых металлов, образующих составные части электрода. При этом толщина переходной зоны неравномерна по сечению слитка и её границы повторяют форму жидкометаллической ванны. Само по себе наличие переходной зоны затрудняет получение слоя металла с заданными свойствами требуемой толщины.

Работы по получению многослойных композиций методом ЭШП ведутся на кафедре «Общей металлургии» филиала ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ) в г. Златоусте уже давно [3, 4]. Для изучения зоны сплавления биметаллического слитка авторами был проведён экспериментальный пере-

плав на установке А-550 с использованием составного расходоуемого электрода, который по высоте включал в себя три разнородные части: нижняя – сталь 12ХН3А, средняя – сталь 12Х18Н10Т, верхняя – сталь 12ХН3А.

Полученный слиток был распилен по всей длине на 2 части на лентопильном станке Bomar Ergonomic 320.250DG. На рис. 1 представлен поперечный разрез слитка, протравленный 5 % раствором азотной кислоты в спирте. На данном изображении можно наблюдать ярко выраженную конусообразную ванну.



Рис. 1. Поперечный разрез слитка

Изучение микроструктуры переходной зоны велось на оптическом микроскопе С. Zeiss Observer.D1m.

Для изучения микроструктуры были подготовлены следующие образцы: образец 1 – соответствует структуре 12ХН3А (рис. 2), образец 2 – соответствует структуре 12Х18Н10Т (рис. 3), образец 3 – переходная зона, при вытравленной структуре 12ХН3А (рис. 4).

На рисунке 2 представлена микроструктура образца 1. На данном образце было произведено травление 12ХН3А 5 % раствором азотной кислоты в спирте. Анализ образца позволил сделать выводы о наличии дендритной структуры. Светлые зёрна –  $\alpha$ -фаза (феррит). Четко просматривается полосчатость, являющаяся следствием дендритного строения металла. Дендритные пакеты растут в разных направлениях, поэтому различна ориентация кристаллов и, следовательно, на изображении они выглядят по-разному. Те, что вытянуты и имеют тёмный чёткий фон – разрез дендритов продольный, параллельный наблюдателю. Те что, с более размытым фоном – под углом к плоскости шлифа.

На рисунке 3 показан образец 2, на котором структура, соответствующая стали марки 12Х18Н10Т. Наблюдаем явно выраженную дендритную структуру. Светлые полосы – феррит. В междендритном пространстве – перлит. Присутствуют неметаллические включения – сульфиды до 10 мкм, нитриды 2–5 мкм. Проведенный анализ последних на морфологию, показал наличие нитридов титана.

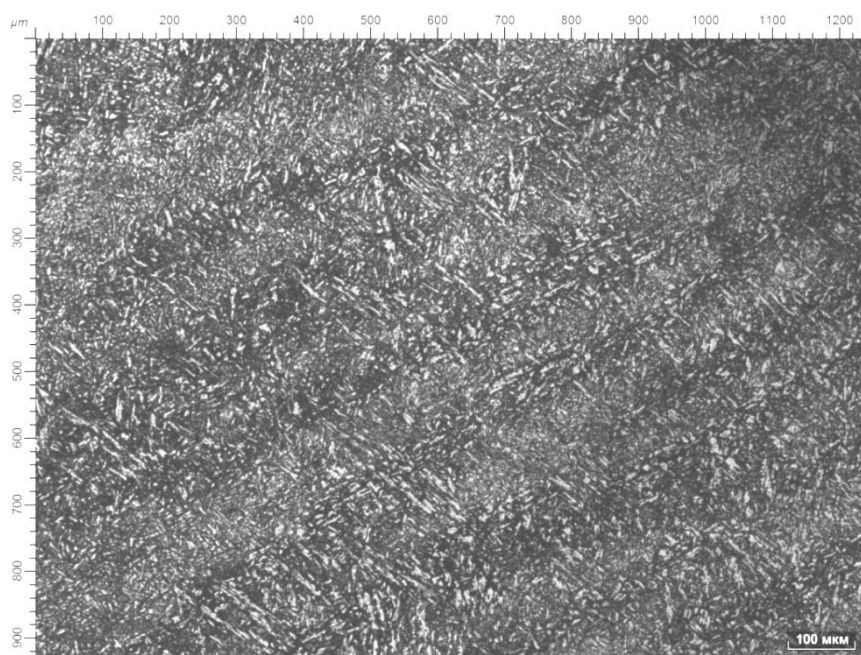


Рис. 2. Микроструктура образца 1 соответствует структуре стали марки 12ХН3А, травление 5 % раствором азотной кислоты в спирте,  $\times 130$

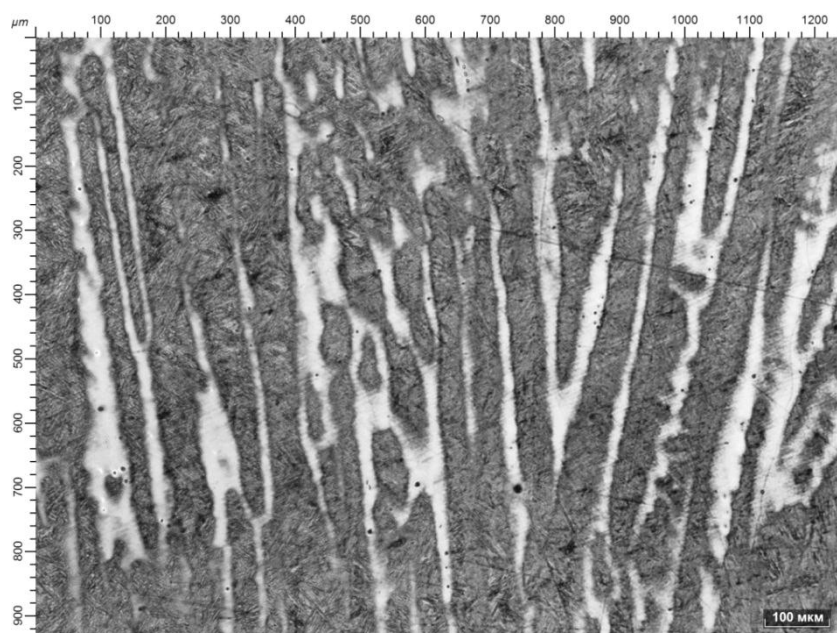


Рис. 3. Микроструктура образца 2 соответствует структуре стали марки 12Х18Н10Т, травление реактивом Обергоффера,  $\times 130$

На рис. 4 представлена переходная зона между материалами, на котором вытравлена сталь 12ХН3А. Зона сплавления не чёткая, размытая, в ней видны слои смешивания материалов. Общая протяжённость переходной зоны примерно 9 мм, что составляет  $1/7-1/8$  от диаметра полученного слитка. Переходная зона сплошная, без каких либо дефектов – пор, трещин, пузырей. Столь хорошее качество сплавления слоёв характерно для жидкофазных способов получения биметаллов.

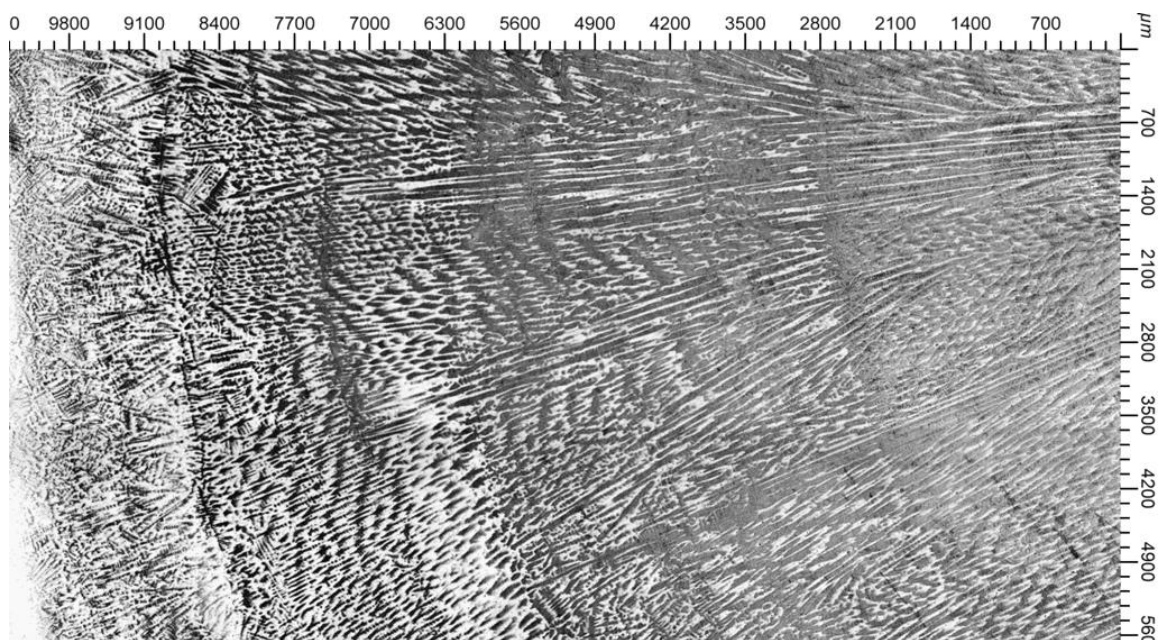


Рис. 4. Макроструктура образца 4 соответствует переходной зоне между сталями 12ХН3А и 12Х18Н10Т. Вытравлена сталь марки 12ХН3А,  $\times 15$

Анализ полученных результатов свидетельствует, что переходная зона в экспериментальном слитке ЭШП является довольно протяженной, с резким переходом между сплавляемыми материалами по её длине. Для уменьшения химической неоднородности и протяженности зоны сплавления необходимо принятие мер, направленных на уменьшение глубины жидкометаллической ванны и изменения химического состава переходной зоны путем легирования металлической ванны.

Среди технологических приемов, применяемых при реализации электрошлаковых технологий, есть ряд принципиально решающих поставленную выше задачу – введение в плавильное пространство порошков или газопорошковых смесей, вращение кристаллизатора, электромагнитное перемешивание [4, 5]. По мнению авторов, наиболее эффективно снижение протяженности переходной зоны можно достичь, используя технологию ЭШП с вращением расходуемого электрода вокруг своей оси в процессе плавки [6, 7]. Вращение электрода с определенной скоростью приводит к тому, что съем капель металла с его торца будет происходить под действием центробежных сил, капли металла будут двигаться по радиальной траектории и доставляться не в центральную, а в периферийную часть металлической ванны, ближе к стенкам кристаллизатора, тем самым выравнивая фронт кристаллизации. Вращение электрода вокруг своей оси в процессе переплава также позволяет решить задачу получения неглубокой и пологой жидкометаллической ванны, при этом реализация данной технологии не требует существенных изменений конструкции действующих установок ЭШП.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки (договор № 14.Z56.15.7690-МК).*

### Библиографический список

1. Кобелев, А.Г. Производство металлических слоистых композиционных материалов / А.Г. Кобелев, В.И. Лысак, В.Н. Чернышев, А.А. Быков. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 496 с.
2. Кобелев, А.Г. Материаловедение и технология композиционных материалов / А.Г. Кобелев, В.И. Лысак, В.Н. Чернышев, Е.В. Кузнецов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2006. – 368 с.
3. Чуманов, И.В. О возможности получения многослойных слитков электрошлаковым переплавом / И.В. Чуманов, М.А. Порсев // Электротехнология. – 2010. – № 4. – С. 13–17.
4. Чуманов, И. В. Особенности жидкофазного получения слоистого материала / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов, М.А. Матвеева // Металлургия машиностроения. – 2012. – № 2. – С. 10–12.
5. Патон, Б.Е. Электрошлаковые технологии в производстве биметаллических заготовок / Б.Е. Патон, Л.Б. Медовар, В.Е. Шевченко, В.Я. Саенко // Современная электротехнология. – 2003. – № 4. – С. 8–11.
6. Авторское свидетельство № 129473 от 9.11.59. бюл. № 12 за 1960 г. Производство двухслойных листов с применением электрошлаковой сварки / Б.Е. Патон, Б.И. Медовар, А.М. Макар.
7. Пат. № 340303 Способ электрошлаковой выплавки слитков / Л.А. Власов, В.И. Супацков, В.Ф. Бушуев. – 1995. Бюл. 8.
8. Чуманов, И.В. Получение трёхслойных слитков электрошлаковым переплавом / И.В. Чуманов, М.А. Порсев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2007. – № 13(85). – С. 19–20.