

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОИСТОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ЖИДКОФАЗНЫМ СПОСОБОМ

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

## THE POSSIBILITY OF OBTAINING A LAYERED COMPOSITE BY LIQUID-PHASE METHOD

*V.I. Chumanov, I.V. Chumanov, M.A. Matveeva*

Описаны технологические параметры получения композиционного материала с многослойной структурой методом электрошлакового переплава с введением углеродсодержащего компонента. Приведены данные исследований слоистого композиционного материала на оптическом и электронном микроскопе. Проанализированы свойства слоистой металлической композиции.

*Ключевые слова:* композиционный материал, многослойная структура, электрошлаковый переплав, технология получения, макроструктура, микроструктура.

The paper describes technological parameters for obtaining a composite material with a multilayer structure by electroslag remelting with the introduction of carbon-containing component. The data of investigations of a layered composite material by optical and electron microscope are presented. The properties of the layered metal composition are analyzed.

*Keywords:* composite material, multilayered structure, electroslag remelting, technology of production, macrostructure, microstructure.

Композиционные материалы уже прочно обновились во всех сферах технологии. Особо среди современных материалов можно выделить композиционные материалы со слоистой структурой. Чередование слоев различных материалов создает новый комплекс свойств композита. Наличие уникальных рабочих характеристик способствует разработке более совершенных конструктивных решений при создании современных машин, приборов и аппаратов.

Известно множество способов получения композиционных материалов со слоистой структурой. Среди них выделяют твердофазные и жидкофазные способы. Наиболее перспективными являются жидкофазные способы, поскольку они позволяют получить прочную связь составляющих композицию компонентов еще на стадии производства отливки.

Одним из возможных вариантов получения композиционного материала со слоистой структурой жидкофазным способом является использование электрошлаковой технологии, с помощью которой можно получить материал высокого качества с прочным соединением слоев. Электрошлаковый переплав обладает рядом преимуществ, которые позволяют получить металл высокого качества: плотная структура слитка, отсутствие усадочной раковины и пористости; высокое качество по-

верхности; возможность управления направлением и скоростью кристаллизации; возможность введения добавок по ходу процесса с высокой степенью их усвоения.

Проанализировав множество способов получения слоистого композиционного материала методом электрошлакового переплава, на кафедре общей металлургии филиала Южно-Уральского государственного университета в г. Златоусте был разработан способ получения композиционного материала с многослойной структурой посредством электрошлакового переплава, заключающийся в присадке в процессе переплава одинаковых порций добавок науглероживателя через равные промежутки времени [1].

С целью определения изменений, вызванных введением добавок, а также их влияния на свойства полученного металла был проведен переплав электродов из стали марки 30X13 с введением углеродсодержащего компонента.

Переплав электродов марки 30X13 диаметром 40 мм проводили на полупромышленной установке А-550 в кристаллизатор диаметром 90 мм под флюсом АНФ-6. В результате переплава было получено слиток диаметром 90 мм и длиной 300 мм. После зачистки и отжига слиток отковали на квадрат и термически обработали по режиму отжига [2].

В дальнейшем для проведения исследования из кованных прутков были вырезаны образцы. Схемаковки и вырезки образцов представлена на рис. 1.

Микроструктура образцов изучалась методами оптической микроскопии на микроскопе С. Zeiss Observer.D1m и электронной микроскопии на сканирующем микроскопе JOEL JSM-6460 LV в режимах вторичных и обратного рассеянных электронов. Анализировалась структура различных зон продольных сечений образцов. Исследование образцов с выявленной микроструктурой показало, что четкая граница между слоями отсутствует, при этом имеет место плавный переход от одного слоя к другому.

Из рис. 2 видно, что слои не имеют какой-либо неплотности в виде пор и трещин, четкой границы раздела нет и понятие переходной зоны в данном случае очень расплывчато. Наличие переходного слоя от структуры одного слоя к структуре другого позволяет предположить, что переходная зона не будет являться концентратором напряжений, а значит, возможность образования и роста трещины в этой зоне минимальна.

Получение прочной взаимосвязи и плавного перехода между слоями обусловлено способом получения композиционного материала, что характерно для литых слоистых композиций (рис. 3). Размытость границ также может быть результатом диффузии углерода из науглероживателя на разных стадиях получения материала: в процессе переплава, термической обработки иковки материала.

В ходе исследования образцов были обнаружены карбиды, располагающиеся по всему сечению, независимо от слоя. Характер распределения карбидов различен для разных слоев и зависит от количества карбидов и их размера. В темных слоях карбиды располагаются в виде резко выраженной полосчатости. Для светлых слоев характерно наличие карбидов, которые располагаются в виде полос на значительном расстоянии друг от друга. Полосы образованы тонкими цепочками карбидов или полосы имеют равномерное распределение в них карбидов. Переходные зоны характеризуются наличием коротких цепочек карбидов, которые располагаются друг от друга на значительном расстоянии.

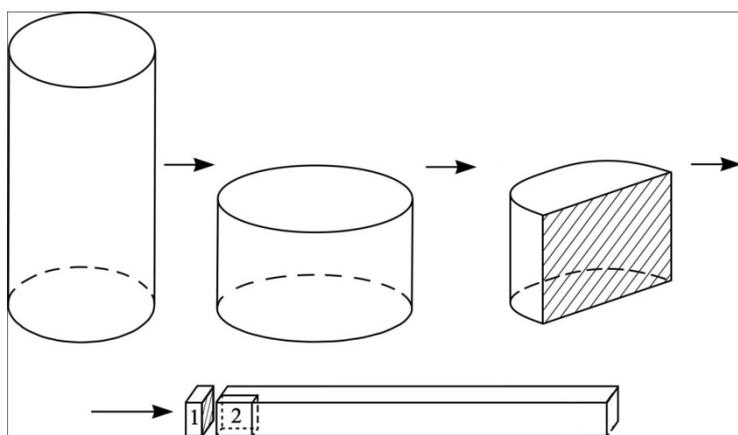
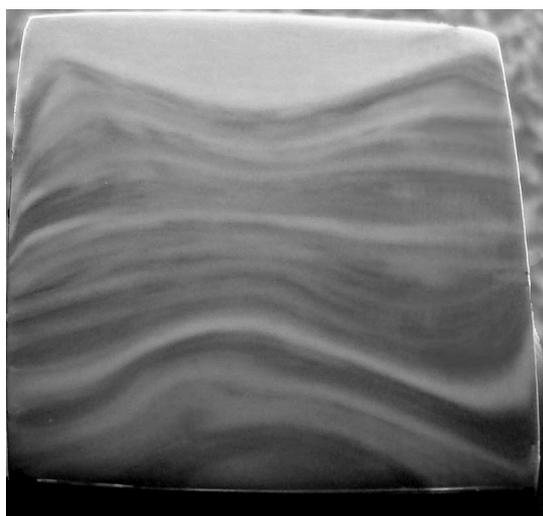
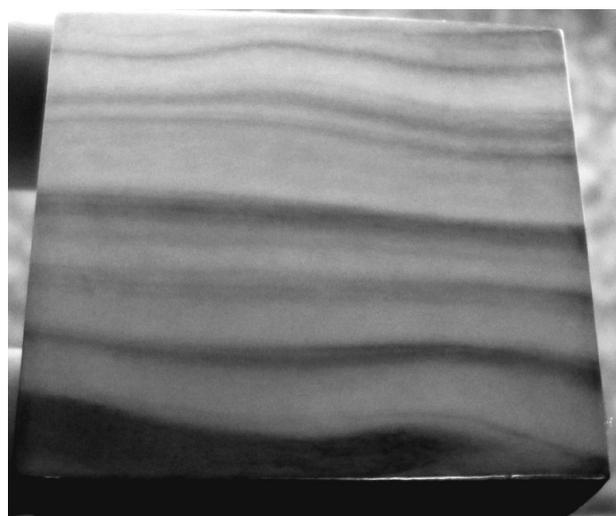


Рис. 1. Схемаковки и вырезки образцов



а)



б)

Рис. 2. Макроструктура продольного и поперечного образца слоистого композиционного материала, полученного методом электрошлакового переплава: а – поперечный шлиф; б – продольный шлиф



**Рис. 3. Переходная зона между слоями с различным содержанием углерода,  $\times 150$**

Исследования на электронном микроскопе показали, что карбидная фаза – это карбиды хрома. Таким образом, наличие четко выраженной и достаточно равномерно распределенной карбидной фазы позволяет утверждать, что в исследуемом материале имеет место дисперсионное упрочнение. Также наличие карбидной фазы предполагает высокую износостойкость.

Химический анализ слоев показал, что основное различие между слоями выражается в содержании в них углерода и хрома. Светлый слой имеет большее содержание хрома и меньшее углерода и, наоборот, темный слой в большей степени обогащен углеродом и в меньшей хромом. Следовательно, в процессе переплава с присадками добавок углеродсодержащего компонента полного усвоения состава не происходит и материал характеризуется наличием слоев различного химического состава [3].

Вышеизложенные данные позволяют утверждать, что слоистая структура, обусловленная чередованием слоев материала с высокими пластиче-

скими показателями и слоев, обладающих повышенной прочностью, дает преимущество полученному материалу в сравнении с однородным. Данное преимущество проявляется в предотвращении выкрашивания более хрупкой составляющей в процессе эксплуатации готового изделия, за счет удержания ее в более пластичной вязкой матрице.

Наряду с упрочнением материала, полученным в результате армирования его высокоуглеродистыми слоями, мы дополнительно получили дисперсионное упрочнение, обусловленное выделением карбидной фазы. Большое количество карбидов, обнаруженных в результате исследования, вместе с их достаточно равномерным распределением по слоям исследуемых образцов придает материалу повышенную износостойкость.

Полученный материал обладает явным преимуществом в сравнении с однородным материалом. Это преимущество обусловлено наличием слоистой структуры и проявляется в предотвращении выкрашивания более хрупкой составляющей в процессе эксплуатации готового изделия, за счет удержания ее в более пластичной вязкой матрице, а также реализацией преимуществ каждого из составляющих композицию компонентов.

#### **Литература**

1. Пат. 2163269 Российская Федерация, МПК7 С22009/18. Способ получения многослойного слитка электрошлаковым способом / В.И. Чуманов, В.Е. Роцин, И.В. Чуманов, Ю.Г. Кадочников. – № 99112625/02; заявл. 08.06.1999; опубл. 20.02.2001, Бюл. № 5. – 10 с.
2. Чуманов, И.В. Исследование композиционного материала с многослойной структурой полученного методом электрошлакового переплава / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов, М.А. Матвеева // *Электрометаллургия*. – 2011. – № 9. – С. 35–38.
3. Чуманов, И.В. Особенности жидкофазного получения слоистого материала / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов, М.А. Матвеева // *Металлургия машиностроения*. – 2012. – № 2. – С. 11–14

**Поступила в редакцию 30 июля 2012 г.**