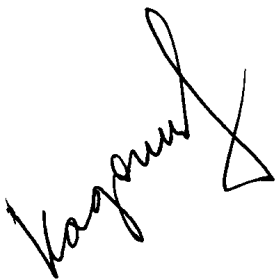


05.16.02
К136

На правах рукописи



Кадочников Юрий Геннадьевич

ПОЛУЧЕНИЕ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
СИСТЕМ Fe – С И Fe – С – Ni – Cr МЕТОДОМ
ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ПЛАВКИ

Специальность 05.16.02 — металлургия чёрных, цветных и редких металлов

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Челябинск
2001

Диссертация выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научные руководители

— заслуженный деятель науки России,
доктор технических наук, профессор
Рощин В.Е.

— кандидат технических наук,
профессор Чуманов В.И.

Официальные оппоненты:

— заслуженный деятель науки и техники
России, доктор технических наук,
профессор Гуревич Ю.Г.

— кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Голубцов В.А.

Ведущая организация

— ОАО «ЗМК» (Златоустовский металлургический комбинат).

Защита состоится 6 февраля 2002 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.298.01 в Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан «27» декабря 2001 г.

Учёный секретарь

диссертационного совета

доктор физ.- мат. наук профессор



Мирзаев Д.А.

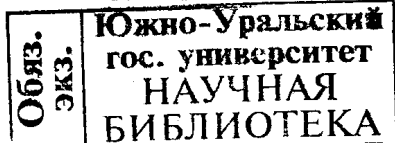
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для изготовления клинков холодного оружия в настоящее время обычно используют сталь стандартных марок, таких как 95X18 и 110X18М, обладающую высокой твёрдостью и износостойкостью в условиях умеренно агрессивных сред. Однако особый интерес и ценность представляют клинки, имеющие на поверхности характерный булатный узор, который отражает присущие таким клинкам высокие механические свойства. Булат – слоистый композиционный материал на основе железа и углерода, обладающий неравновесной структурой в слоях или волокнах с различным содержанием углерода. Характерный булатный узор в изделиях из такого металла получают применением определённых приёмов пластической деформации.

В литературе имеется обширный материал по получению булата на основе современных технологий. Много исследований посвящено также получению слоистых композиционных материалов, состоящих из двух или нескольких слоёв разнородных металлов, объединяющих в себе полезные свойства каждого из них и обладающих в то же время новыми качествами, отличными от качеств исходных металлов. Такие материалы находят применение в сельском хозяйстве, бумажной и перерабатывающей промышленности. Использование слоистых композиций с новым комплексом ценных свойств способствует разработке более совершенных конструктивных решений при создании современных машин, приборов, аппаратов. При этом часто целесообразно использовать слоистые материалы с большим количеством слоёв, поскольку слоистая структура повышает износостойкость.

Однако, несмотря на высокую техническую и экономическую эффективность применения слоистых композиционных материалов, их производство существенно отстаёт от потребностей. Помимо причин организационного характера это обусловлено и недостатками существующих технологических процессов производства слоистых композиционных материалов, которые в ряде случаев не позволяют получить многослойный металл требуемого качества в необходимых объёмах и по достаточно низкой цене.

Таким образом, целесообразна разработка современного способа получения композиционных материалов с большим количеством слоёв, обеспечивающего изготовление металла, близкого по свойствам к стали стандартных марок 95X18 и 110X18М, но обладающего слоистой структурой, которая после



соответствующей пластической деформации может приобрести структуру, характерную для булата.

Цель работы. Разработка и исследование технологии получения слоистых композиционных материалов систем Fe-C и Fe-C-Ni-Cr методом электрошлаковой плавки.

Для этого необходимо было решить следующие задачи:

1. Провести исследование существующих способов получения булата и слоистых композиционных материалов, на основании которого разработать технологию получения слоистых композиционных материалов методом электрошлаковой плавки с периодическим введением различных добавок, которая обеспечивала бы получение многослойной структуры с разным химическим составом металла в слоях.

2. Разработать математическую модель поведения в шлаковой и металлической ваннах вводимых в процессе электрошлаковой плавки металлических добавок, которая позволила бы уточнить параметры технологии в зависимости от комплекса свойств присаживаемых материалов, количества и свойств шлака, размеров шлаковой ванны.

3. Провести физическое моделирование процесса пластической деформации слоистого композиционного материала с целью определения рациональной схемы деформации обеспечивающей получение на поверхности металла характерного булатного узора.

4. Изучить механические свойства полученного слоистого композиционного материала и сравнить их со свойствами стали стандартных марок.

Научная новизна.

1. Создана математическая модель, описывающая процессы нагрева и плавления металлических частиц в шлаковой ванне и растворения их в металлической ванне наплавляемого слитка ЭШП.

2. На математической модели исследовано поведение добавок вводимых через шлак в металлическую ванну в процессе электрошлаковой плавки. Аналитическим путём определены размеры частиц и параметры технологии, обеспечивающие получение многослойного композиционного материала.

3. Методом физического моделирования определена схема пластической деформации слоистого композиционного материала, позволяющая получать характерный булатный узор на поверхности материала.

Практическая ценность работы.

1. Предложен способ получения многослойных слитков методом электрошлакового переплава (патент РФ № 2163269) и определены технологические параметры, обеспечивающие получение многослойного слитка.

2. На установке электрошлакового переплава А-550 получен композиционный материал, из которого после соответствующей пластической деформации и обработки изготовлены клинки для холодного оружия с характерным булатным узором.

3. Показано, что многослойный композиционный материал обладает более высоким комплексом механических свойств по сравнению со сталью близких по составу марок.

На защиту выносятся.

1. Результаты математического моделирования нагрева, плавления и растворения металлических частиц в шлаковой и металлической ваннах, прирабатываемых по ходу электрошлакового переплава в кристаллизатор.

2. Основные элементы технологии получения слоистых композиционных материалов систем Fe-C и Fe-C-Ni-Cr методом электрошлаковой плавки.

3. Результаты моделирования процесса пластической деформации многослойного материала, обеспечивающего получение на поверхности характерного булатного узора.

4. Результаты исследования механических свойств слоистого композиционного материала в сравнении со свойствами стали стандартных марок.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на X-й и XI-й Международных конференциях «Современные проблемы электрометаллургии стали» (Челябинск, 1998 г. и 2001 г.), на Международной конференции «От булата до современных композиционных материалов», Златоуст, 1999 г. и на VI-ом «Конгрессе сталеплавильщиков», Череповец, 2000 г.

Публикация результатов работы. По материалам диссертации опубликовано 2 статьи и 4 тезиса докладов, получен патент РФ № 2163269 на способ получения многослойных слитков электрошлаковым переплавом.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы (58 источников) и 2 приложений. Она изложена на 142 страницах машинописного текста, включающих 7 таблиц, 52 иллюстрации.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Раскрываются проблемы технологии изготовления клинков холодного оружия, которые возникают у производителей в современных условиях. Рассмотрены существующие способы изготовления слоистых композиционных материалов. Изучены их преимущества и недостатки.

Показана целесообразность разработки современного способа получения слоистых композиционных материалов, обеспечивающего изготовление металла, близкого по свойствам к стали стандартных марок 95X18 и 110X18М. Слоистая структура после соответствующей пластической деформации проявится на поверхности металла в виде характерного булатного узора.

Для уточнения параметров технологии получения слоистых композиционных материалов методом ЭШП необходимо провести математическое моделирование процессов поведения присаживаемых добавок при прохождении слоя шлака и при попадании в ванну жидкого металла.

Сформулированы цели и задачи исследования.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОВЕДЕНИЯ ПРИСАЖИВАЕМЫХ ДОБАВОК ПРИ ЭШП

Образование слоистой литой структуры возможно при условии, что присаживаемый металл за время прохождения слоя шлака и погружения в металлическую ванну наплавляемого слитка успевает расплавиться, но не успевает раствориться в металлическом расплаве. При реализации такого способа получения слоистых материалов наиболее сложным является подбор размера и количества присаживаемых частиц, которые обеспечивали бы выполнение указанных условий. Для определения этих параметров разработаны математическая модель процесса нагрева и плавления частицы присаживаемого металла в шлаковом расплаве и математическая модель процесса диффузионного растворения уже расплавившейся частицы в металлическом расплаве.

Математическая модель нагрева и плавления частицы в шлаковом расплаве описывает процесс распределения температуры между частицей, шлаковой корочкой, образующейся и растущей на частице, и шлаковым расплавом (задача Стефана). Математическая модель состоит из следующих уравнений:

1. Уравнения распределения температуры в частице модификатора

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{a_1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right);$$

2. Уравнения распределения температуры в шлаковой корочке на поверхности частицы

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{a_2}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right);$$

3. Уравнения распределения температуры в шлаковом расплаве

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{a_3}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right);$$

4. Граничных условий

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial r}(\tau, 0) = 0,$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial r}(\tau, l) = \lambda_2 \frac{\partial T}{\partial r}(\tau, l),$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial r}(\tau, X) - \lambda_3 \frac{\partial T}{\partial r}(\tau, X) = -\Delta H \frac{\partial X}{\partial r},$$

$$T(0, r) = T_{\text{расп}}, r > X;$$

5. Начальных условий

$$T(0, r) = T_0, 0 \leq r \leq l;$$

$$T(0, r) = T_0, l < r \leq X.$$

Полученные уравнения записаны в сферической системе координат с началом координат в центре частицы. Для обозначения различных фаз использовались: индексы $i = 1$ – частица, $i = 2$ – твёрдая корочка шлака, $i = 3$ – расплав; обозначения l – радиус частицы, X – радиус частицы с намерзшей корочкой, $T(\tau, r)$ – значение температуры на расстоянии r от центра частицы в момент времени τ , a_i и λ_i – температуропроводность и теплопроводность i -й фазы, ΔH – удельная энтальпия плавления шлаковой корочки, T_0 и T_p – начальная температура частицы и температура шлакового расплава.

Математическая модель процесса диффузионного растворения жидкой частицы модификатора в металлическом расплаве описывает процесс диффузии компонента (углерода) между частицей, прошедшей шлак, и металлическим

расплавом, что позволяет оценить время растворения частицы в расплаве. Математическая модель состоит из следующих уравнений:

1. Уравнения распределения концентрации компонента в расплаве

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D_c \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial c}{\partial r} \right);$$

2. Граничного условия

$$D_c \frac{\partial c}{\partial r}(r, 0) = 0;$$

3. Начальных условий

$$c(0, r) = c_{\text{нач. час}}, \quad 0 \leq r < l;$$

$$c(0, r) = c_{\text{расп}}, \quad r \geq l.$$

где $c = c(\tau, r)$ – концентрация диффундирующего компонента на расстоянии r от центра частицы в момент времени τ .

По уравнениям математических моделей составлены соответствующие разностные задачи, которые решали на компьютере.

С использованием математической модели проведены расчёты в широком интервале размеров частиц для оценки их оптимальной величины. Результаты расчётов приведены на рис. 1, *а* в виде зависимости времени нагрева поверхности частицы и шлаковой корочки до температуры плавления от радиуса частицы. График зависимости времени прохождения частицы чугуна через слой шлака от её радиуса приведён на рис. 1, *б*. Сопоставление графиков на рис. 1, *а*, *б* позволило определить оптимальный интервал радиусов присаживаемых частиц, который составляет 1...2 мм.

При попадании стружки в шлак она быстро оплавляется и принимает форму капли радиусом примерно 1 мм, что соответствует оптимальному размеру частицы. Для изучения закономерностей прохождения капель чугуна слоя металла проводили расчёты по математической модели процесса диффузионного растворения жидкой частицы в металлическом расплаве.

Результаты расчёта процесса диффузионного растворения жидкой частицы в металлическом расплаве представлены на рис. 2; из них следует, что даже за время 100 с. (это существенно превышает время движения частицы до фронта кристаллизации) концентрация углерода внутри частицы не достигает значений концентрации углерода в расплаве, т.е. частица радиуса 1 мм не успевает раствориться и достигает фронта кристаллизации нерастворённой, что отвечает условиям получения слоистого материала.

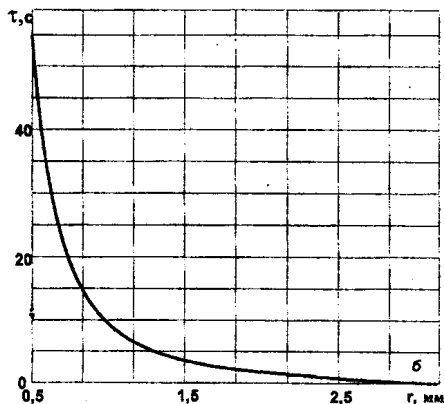
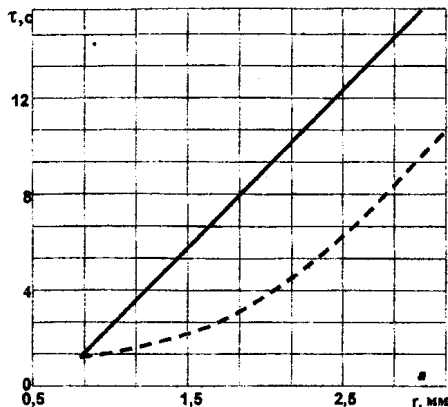


Рис. 1. Нагрев и плавление частицы в шлаковом расплаве:

- а – время нагрева поверхности частицы (—) и шлаковой корочки (----) до температуры плавления для частиц различных радиусов;
 б – время прохождения частиц чугуна через слой шлака высотой 55 мм

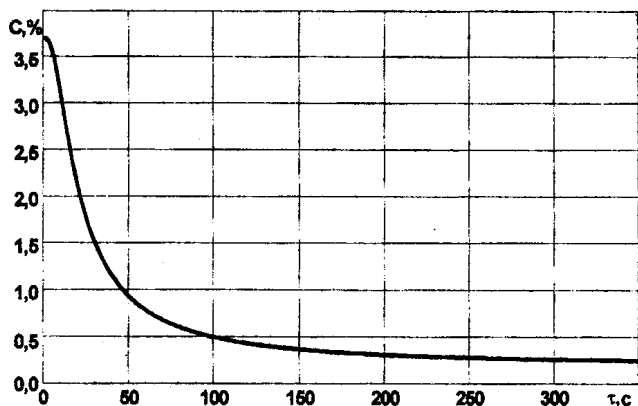


Рис. 2. Изменение содержания углерода в центре частицы чугуна

По результатам математического моделирования сделан вывод, что для получения чёткой литой слоистой структуры слитка в процессе изготовления слоистых композиционных материалов методом электрошлаковой плавки с периодическим введением добавок по ходу переплава необходимо присаживать углеродсодержащие и легирующие материалы (чугунную стружку и феррохром) в виде частиц радиусом не более 1,5 мм.

3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ Fe-C МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ПЛАВКИ

Для получения слоистых композиционных материалов предложен способ электрошлаковой плавки, в процессе которого по сравнению с другими способами возможно получение металла более высокого качества, введение добавок по ходу процесса и высокая степень их усвоения в металле, а также возможность управления процессами на фронте кристаллизации. Способ получения слоистых композиционных материалов методом электрошлаковой плавки заключается в том, что в процессе переплава электрода осуществляется периодическое введение добавок с одновременным кратковременным отключением подачи тока.

При подаче вводимых добавок в момент отключения тока происходит быстрая кристаллизация жидкой металлической ванны, в результате чего возможно получение строго определённого содержания добавок в образующемся слое и чётких границ между слоями.

В качестве расходующих электродов использовали прутки диам. 25 мм стали марки Ст3 и У7. Переплавы проводили под флюсом марки АНФ-6 (0,15...0,20 кг на плавку) в кристаллизаторе диам. 50 мм. В качестве добавок применяли стружку мягкого железа и чугуна марки Л4.

После наведения шлаковой ванны останавливали подачу электрода и в момент отключения тока присаживали стружку чугуна, тут же включали подачу тока и электрода. Затем подачу отключали, снова присаживали стружку чугуна и так повторяли от 10 до 80 раз.

Для того чтобы установить возможность получения характерного булатного узора после пластической деформации на поверхности металла необходимо провести физическое моделирование, по результатам которого могут быть сделаны выводы о возможности получения булатного узора и даны рекомендации по способам пластической деформации слоистого композиционного материала.

За основу моделирования способов пластической деформации взяты технологические приемы, применяемые при получении сварного булата в процессековки. Для моделирования процесса получения узора в процессековки использовали два куска пластилина разного цвета. В начале пластилин раскатывали на пластины толщиной около 3 мм, а затем из них формировали пакет толщиной

60 мм с чередованием светлых и тёмных пластин. Такая толщина пакета соответствует толщине лепёшки после вертикальной осадки на молоте слитка слоистого композиционного материала, состоящего из 20 слоёв. На рис. 3 показано моделирование процесса скручивания и неравномерного продавливания поверхности металла «крест на крест» при ковке на формирование узора. На рис. 4 показано моделирование процесса скручивания с последующим неравномерным по глубине поперечным продавливанием слоёв при ковке.



Рис. 3. Процесс получения узора при скручивании и продавливании «крест на крест»

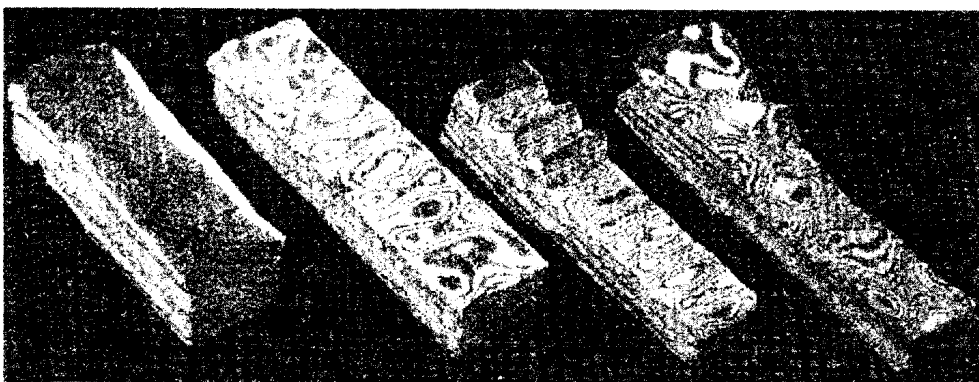


Рис. 4. Процесс получения узора после скручивания поперечным продавливанием

Узор, полученный на поверхности слоистого композиционного материала после пластической деформации соответствует узору сварного булата.

Таким образом, в результате физического моделирования установлена возможность получения характерного булатного узора на поверхности металла после соответствующей пластической деформации. Показано, что для получения узора целесообразно проводить не только вертикальную осадку слитка на молоте, но и осуществлять неравномерное продавливание слоёв либо «крест на крест» либо перпендикулярно образцу.

Для исследования полученного слоистого композиционного материала системы Fe-C подготовили макро- и микрошлифы из слитков стали Ст3 и У7, переплавленных с добавками стружки чугуна, после пластической деформации в соответствии с рекомендациями физического моделирования. Ковку осуществляли на ручном молоте с бойком массой 75 кг. Нагрев слитков под ковку производили до 750...800°C. В процессековки использовались рекомендации физического моделирования для получения узора на поверхности металла.

Сравнение химического состава полученных образцов с булатом Аносова показало, что наиболее близким по составу (0,95% углерода) и узору (рис. 5) получается слоистый композиционный материал на основе стали марки У7, изготовленный по предлагаемой технологии с введением стружки чугуна в процессе ЭШП.

Таким образом, в результате исследований методом ЭШП удалось получить слоистый композиционный материал системы Fe-C, близкий по химическому составу и узору на поверхности металла к булату Аносова.



Рис. 5. Макроструктура слоистого композиционного материала системы Fe-C

Большой интерес вызывает изготовление слоистого композиционного материала системы Fe-C-Ni-Cr с целью изготовления клинков холодного оружия. Такой металл должен обладать слоистой структурой, позволяющей получать характерный булатный узор на поверхности металла, а по своим свойствам приближаться к стали стандартных марок 95X18 и 110X18М.

4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ Fe-C-Ni-Cr МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ПЛАВКИ

Проводили эксперименты по переплаву электродов стали марки Ст3 и У7 с периодическим введением в процессе ЭШП гранулированного никеля и 65%-ного феррохрома. Переплав электродов диам. 40 мм проводили в кристаллизатор диам. 90 мм под флюсом АНФ-6. В процессе исследований меняли количество присаживаемых порций, массу одной порции и очерёдность присадок никеля и феррохрома. Увеличение массы одной порции присаживаемых добавок приводит к увеличению толщины образующегося слоя, что приводит к уменьшению количества слоёв в готовом слитке и трудностям при пластической деформации.

Из результатов проведённых экспериментов следует, что для получения одинаковых по толщине слоёв масса одной порции присаживаемых добавок должна быть не более 0,5 кг. Однако, возникают трудности получения металла, обладающего коррозионной стойкостью, так как приходится присаживать большое количество феррохрома, а это ведёт к увеличению толщины слоёв. При этом возможно образование дефектов в процессековки, связанных с большой разницей в количестве хрома по слоям, в результате чего слиток растрескивается.

Проведена серия экспериментов по получению слоистых композиционных материалов из стали коррозионно-стойких марок. На установке ЭШП А-550 переплавляли электроды диам. 40 мм стали марки 20Х13 в кристаллизатор диам. 90 мм под флюсом АНФ-6 с периодическим присаживанием по ходу плавки стружки чугуна и феррохрома марки ФХ800.

В результате исследований установлено, что для получения характерного булатного узора на поверхности металла после пластической деформации необходимо иметь слиток, состоящий из 20...40 слоёв толщиной не более 1 см. В дальнейшем по аналогичной технологии получили слоистый композиционный материал на основе стали марки 20Х13, состоящий из 40 слоёв.

Проводились эксперименты по получению слоистых композиционных материалов в процессе переплава стали 12Х18Н10Т с периодическим присаживанием в процессе плавки стружки чугуна. На рис. 6,а представлена макроструктура слоистого композиционного материала на основе стали марки 20Х13,

состоящего из 22 слоёв и макроструктура композиционного материала, на основе стали марки 12X18Н10Т состоящего из 20 слоёв (6,6).

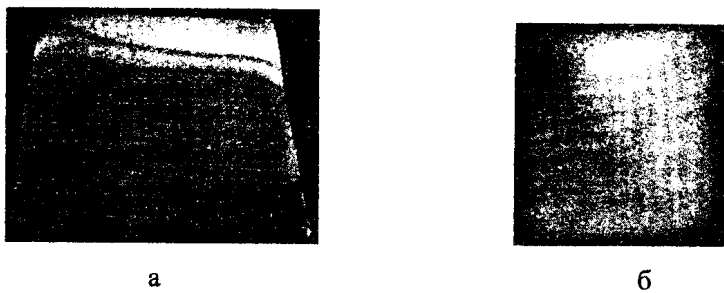


Рис. 6. Макроструктура образцов ($\times 1$)

В макроструктуре образцов хорошо просматривается слоистость в виде чередующихся светлых и темных полос. Эффект светло- и тёмнотравящихся полос создает неодинаковая травимость вследствие различной концентрации углерода: тёмнотравящаяся полоса соответствует большему содержанию углерода, что вызывает большую травимость, а светлотравящиеся участки имеют меньшее содержание углерода и меньшую травимость. Светлый слой соответствует переплавляемой стали, а тёмный слой получается в результате добавки чугушной стружки.

Из слоистых композиционных материалов, полученных по предлагаемой технологии путём периодического введения добавок в процессе электрошлакового переплава стали марки 20X13, изготовлены клинки холодного оружия, обладающие характерным булатным узором на поверхности металла. Сравнение среднего химического состава по содержанию углерода и хрома изготовленных клинков показало, что металл близок по составу к стали стандартных марок 95X18, 110X18М и булату Аносова.

Таким образом, показана возможность получения в процессе электрошлаковой плавки слоёв металла, отличающихся друг от друга химическим составом. При правильно выбранном тепловом режиме работы установки удается достичь хорошего соединения слоёв и отсутствия по границам слоев каких-либо дефектов. Наилучший результат достигнут при переплаве на установке А-550 стали марки 20X13 с присаживанием чугушной стружки и углеродистого феррохрома по ходу плавки. Полученный материал близок по химическому составу к стали стандартных марок 95X18 и 110X18М, но обладает слоистой структурой, которая после соответствующей пластической деформации проявляется на поверхности металла в виде характерного булатного узора.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУЧЕННЫХ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

С целью определения влияния слоистой структуры композиционного материала на механические свойства провели испытания полученных слитков в деформированном состоянии (ковка с квадрата 60 мм на квадрат 20 мм) на ударную вязкость (КСУ), относительное удлинение (δ), сужение (ψ), предел текучести ($\sigma_{0,2}$), предел прочности (σ_B), твёрдость (НВ). Полученные результаты сравнивали со свойствами стали стандартных марок, близких по химическому составу.

Результаты испытания механических свойств слоистых композиционных материалов системы Fe-C-Ni-Cr, полученных по предлагаемой технологии, показали, что металл обладает лучшими прочностными ($\sigma_{0,2}$, σ_B) и пластическими свойствами (δ , ψ , КСУ) по сравнению со сталью стандартных марок 20X13 и 110X18M, уступая стали марки 20X13 лишь по значению ударной вязкости. Большие значения ударной вязкости объясняются тем, что в многослойной структуре затрачено больше энергии на разрушение образца, чем в случае образца с гомогенной структурой (110X18M). Это объясняется большей длиной пути трещины при разрыве образца из многослойной стали. С увеличением количества слоёв значение ударной вязкости увеличивается.

Испытания механических свойств слоистых композиционных материалов проводили после различной термической обработки, в результате чего установлено, что самые большие значения прочностных свойств и твёрдости металла получают после закалки с 1100°C.

Исследование износостойкости опытных образцов показало, что наличие слоистой структуры увеличивает значение работы износа: 20X13 – 4,69 Дж/мг, 110X18M – 5,60 Дж/мг, 20X13 (20 слоёв) – 6,12 Дж/мг. Установлено, что при увеличении количества слоёв значение работы износа также повышается: 20X13 (40 слоёв) – 7,07 Дж/мг.

Таким образом, разработанная технология получения слоистых композиционных материалов методом ЭШП с введением углеродсодержащих и легирующих компонентов по ходу плавки позволяет получать металл с лучшими механическими свойствами по сравнению со сталью стандартной марки 110X18M, которая в настоящее время применяется для изготовления клинков холодного оружия, а также лучшей износостойкостью благодаря слоистой структуре.

ВЫВОДЫ

1. Проанализированы существующие методы получения слоистых композиционных материалов, в том числе булата. Выявлены их преимущества и недостатки. Установлено, что целесообразна разработка современного способа получения слоистых композиционных материалов, обеспечивающего получение металла требуемого качества в необходимых объёмах и по низкой цене.

2. Разработана математическая модель поведения вводимых в процессе электрошлаковой плавки добавок (стружки чугуна, частиц феррохрома), которая позволила уточнить параметры технологии. Полученные результаты дают представление о кинетике плавления частиц различного размера из рассмотренных материалов в шлаковой ванне и растворения этих частиц в ванне жидкого металла в процессе ЭШП. Установлено, что для получения слоистых композиционных материалов в процессе электрошлаковой плавки необходимо использовать добавки в виде частиц размером не более 1,5 мм.

3. Разработана технология получения слоистых композиционных материалов систем Fe-C и Fe-C-Ni-Cr методом электрошлаковой плавки с периодическим введением добавок по ходу плавки при одновременном отключении питания печи. На основе этой технологии разработан способ получения многослойных слитков электрошлаковым переплавом (патент РФ № 2163269).

4. Проведено физическое моделирование процесса пластической деформации полученного по предлагаемой технологии слоистого композиционного материала. Установлено, что после соответствующей пластической деформации на поверхности материала возможно получение характерного булатного узора.

5. Изучены механические свойства полученного слоистого композиционного материала и проведено их сравнение со свойствами стали стандартных марок 20X13 и 110X18M. Установлено, что металл, полученный по предлагаемой технологии, обладает лучшими механическими свойствами по сравнению со сталью марки 110X18M, а стали марки 20X13 уступает лишь по значениям ударной вязкости. Высокие значения ударной вязкости полученного материала обусловлены наличием слоистой структуры. Установлено, что с увеличением количества слоёв значение ударной вязкости увеличивается. Проведённые испытания на износостойкость показали, что металл со слоистой структурой имеет более высокие значения износостойкости по сравнению со сталью марок 20X13 и 110X18M и с увеличением количества слоёв увеличивается значение работы износа.

Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

1. Кадочников Ю.Г., Рошин В.Е., Чуманов В.И. Получение слоистых композиционных материалов методом электрошлаковой плавки // Современные проблемы электрометаллургии стали: Тезисы докладов X Международной конференции — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1998. — С. 136.

2. Кадочников Ю.Г., Чуманов В.И., Рошин В.Е. Получение композиционных материалов системы железо – хром – углерод методом электрошлаковой плавки // От булата до современных материалов: Международная научная конференция в честь 200-летия со дня рождения П.П. Аносова. — Златоуст- Курган: Изд-во ЮУрГУ, КГУ, 1999. — С. 35.

3. Способ получения многослойных слитков электрошлаковым переплавом. В.И. Чуманов, В.Е. Рошин, И.В. Чуманов, Ю.Г. Кадочников. Патент РФ № 2163269. Опубл. 20.02.2001. Бюл. № 5.— С. 299.

4. Чуманов В.И., Дудоров М.В., Кадочников Ю.Г., Ходонович Е.В. Получение слоистых материалов методом электрошлакового переплава // Известия вузов. Чёрная металлургия. — 2001. — № 8.— С. 33-35.

5. Кадочников Ю.Г., Рошин В.Е., Чуманов В.И. Получение слоистых композиционных материалов методом электрошлаковой плавки с введением феррохрома // Современные проблемы электрометаллургии стали: Материалы XI международной конференции — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. — С. 120.

6. Чуманов В.И., Чуманов И.В., Кадочников Ю.Г. Получение слитка композиционного состава методом электрошлакового переплава с вращением расходующего электрода // В кн. Труды VI конгресса сталеплавильщиков. Череповец. — 2000. — С. 316-318.

7. Чуманов В.И., Кадочников Ю.Г., Рошин В.Е. Получение слоистых композиционных материалов методом электрошлаковой плавки // Известия вузов. Чёрная металлургия. — 2001. — № 10.— С. 9-11.