РАЗДЕЛ XVI. МЕТАЛЛУРГИЯ

Лехов О.С.¹, Шевелев М.М.², Билалов Д.Х.¹

**Установка непрерывного литья и деформации для производства стальных
трехслойных биметаллических полос**

¹ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический
университет»

(Россия, Екатеринбург)

²ОАО «Уральский трубный завод»

(Россия, Первоуральск)

doi: 10.18411/sr-10-12-2020-49

idsp: sciencerussia-10-12-2020-49

Аннотация

Изложена технология получения стальных трехслойных биметаллических полос на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации. Установлены закономерности изменения температуры основной стальной полосы при ее прохождении через расплав металла плакирующего слоя. Определено напряженно-деформированное состояние металлов основной полосы и плакирующих слоев в очаге деформации при получении стальных трехслойных биметаллических полос. Приведены результаты исследования микроструктуры биметалла сталь 09Г2С – сталь 13ХФА – сталь 09Г2С, полученного на опытно-промышленной установке непрерывного литья и деформации.

Ключевые слова: установка, совмещенный процесс, непрерывное литье, боек, расплав металла, трехслойный биметалл, напряжение, плакирующий слой, межслойные образования, структура металла.

Abstract

The technology of obtaining steel three-layer bimetallic strips on the installation of a combined process of continuous casting and deformation is described. The regularities of changes in the temperature of the main steel strip during its passage through the molten metal of the cladding layer are established. The stress-strain state of the metals of the main strip and the cladding layers in the deformation zone during the production of steel three-layer bimetallic strips is determined. The results of a study of the microstructure of the steel 09G2S – steel 13XFA – steel 09G2S bimetal obtained at a pilot installation for continuous casting and deformation are presented.

Keywords: installation, combined process, continuous casting, anvil, metal melt, three-layer bimetal, stress, cladding layer, interlayer formations, metal structure.

Возрастающие потребности в биметаллах вызвали необходимость создания высокопроизводительных непрерывных процессов их производства и улучшения качества. Основные задачи при производстве стальных биметаллических полос высокого качества заключаются в обеспечении прочного соединения и заданного соотношения толщин слоев биметалла и получении однородной и мелкозернистой структуры металла плакирующих слоев. Изложенные выше задачи производства непрерывных стальных биметаллических полос могут быть успешно решены с использованием установки совмещенного процесса непрерывного литья и деформации [1-3].

Для оценки качества стальных трехслойных биметаллических полос проведены теоретические исследования с проверкой полученных результатов на опытно-

промышленной установке непрерывного литья и деформации ОАО «Уральский трубный завод» (рисунок 1).

1 – индукционная печь; 2 – электродвигатель постоянного тока;
3 – редуктор – синхронизатор; 4 – станина установки
Рисунок 1 – Участок непрерывного литья и деформации

Технология получения стальной трехслойной биметаллической полосы на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации включает две стадии.

Первая стадия процесса заключается в прохождении основной стальной полосы в твердом состоянии через расплав металла плакирующих слоев, который подается в медный водоохлаждаемый кристаллизатор, в котором образуется затвердевшая оболочка металла плакирующих слоев. Кроме того, при высокой температуре расплава металла плакирующих слоев на контактных поверхностях основной полосы могут появиться межслойные образования (окисные пленки, обезуглероженные и карбидные слои), которые снижают прочность соединения слоев биметаллической полосы.

Во второй стадии процесса биметаллической полосы происходит соединение основной полосы с выходящей из кристаллизатора затвердевшей оболочкой плакирующих слоев путем обжатия бойками трехслойного биметаллического слитка.

В качестве примера рассмотрим процесс получения биметалла сталь 09Г2С–сталь Ст.3–сталь 09Г2С на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации. Толщина основной полосы и плакирующих слоев соответственно 10 и 3

мм. Толщина оболочки плакирующих слоев на выходе из кристаллизатора–10 мм. Высота расплава металла плакирующих слоев в кристаллизаторе–600 мм. Скорость вытягивания биметаллического слитка из кристаллизатора–3 м/мин.

На первом этапе расчета следует установить закономерности изменения температуры основной стальной полосы при прохождении ее через расплав металла плакирующих слоев. Результат получен решением задачи нестационарной теплопроводности методом конечных элементов с использованием пакета ANSYS [1].

Расположение точек: $t1$ – на линии симметрии; $t2$ – на полосе; $t3$ – на расплаве

Рисунок 2 – Модель для расчета и положение точек, в которых дано изменение температуры во времени

Рисунок 3 – Изменение температуры в четырех точках (положение точек см. на рисунке 2) при коэффициенте контактной теплопередачи $10000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$

Установлено, что за время прохождения основной полосы через расплав металла плакирующих слоев в течении 10–15 с. ее температура составляет 900–1000 °C, т.е. не будет происходить оплавление полосы [1]. За этот промежуток времени толщина

стальной оболочки плакирующих слоев на выходе из кристаллизатора достигнет величины 10 мм, что позволит обеспечить заданную степень деформации плакирующих слоев и получить заданное соотношение толщин слоев биметаллической полосы.

На втором этапе расчета необходимо определить напряженно-деформированное состояние металлов основной полосы и плакирующих слоев при получении биметалла сталь 09Г2С – сталь Ст.3 – сталь 09Г2С на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации. Для расчета коэффициент трения между плакирующим слоем и бойком принят равным 0,3, а между плакирующим слоем и полосой – 0,6. Температура наружной поверхности оболочки плакирующих слоев равна 1200 °С, а внутренней поверхности оболочки – 1450 °С. Расчет выполнен для двух значений сопротивления деформации, равных 160 и 240 МПа и трех значений толщин плакирующих слоев: 2, 4 и 6 мм. Результаты получены решением задачи упругопластичности методом конечных элементов с использованием пакета ANSYS [2].

Установлено, что при обжатии стального трехслойного слитка происходит взаимное смещение основной полосы и плакирующих слоев, что способствует разрушению нежелательных межслойных образований и повышению прочности соединения слоев биметалла. Причем взаимное смещение слоев биметалла зависит от степени деформации плакирующих слоев и наибольшее смещение слоев величиной 2,86 мм имеет место при получении биметалла с плакирующими слоями толщиной 2 мм, при этом степень их деформации равна 80 %

Установлено, что при получении стального биметалла с плакирующими слоями толщиной 2 и 4 мм и при сопротивлении деформации основной полосы равной 240 МПа величина ее обжатия соответственно составляет 2,1 и 1,2 мм.

На рисунке 4 приведены закономерности распределения осевых SX и SY касательных SXY напряжений на линии контакта плакирующего слоя с бойком при получении биметалла с толщиной плакирующих слоев 4 мм.

Рисунок 3 – Характер осевых напряжений по осям OX (SX), OY (SY) и касательных (SXY) на линии контакта плакирующего слоя с бойком. Толщина плакирующего слоя – 4 мм. Трение между бойком и плакирующим слоем – 0,3

Установлено, что на контактных поверхностях биметалла с бойками возникают высокие сжимающие напряжения величиной 260 МПа, которые способствуют получению однородной и мелкозернистой структуры металла плакирующих слоев.

Для оценки результатов теоретического исследования на опытно-промышленной установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации ОАО «Уральский трубный завод» получены биметаллические полосы сталь 09Г2С – сталь 13ХФА – сталь 09Г2С толщиной 16 мм и шириной 120 мм (рисунок 4).

Следует отметить образование мелкодисперсной зеренной структуры плакирующего слоя из стали 09Г2С, в которой ферритная фаза разбилась на отдельные фрагменты, равномерно распределенной между зёрнами перлита (рисунок 4).

Рисунок 4 – Микроструктура стальных полос в зоне контактного взаимодействия биметаллической композиции при увеличении $\times 150$ (а) и $\times 750$ (б)

Из рисунка также следует, что в зоне контакта плакирующего слоя с основной полосой отсутствуют макродефекты и расслоения [3].

Заключение

При обжатии бойками установки биметаллического слитка происходит взаимное смещение его слоев в очаге деформации, что способствует разрушению межслойных нежелательных образований в зоне соединения слоев и повышению прочности их сцепления. Кроме того, высокие сжимающие напряжения на контактных поверхностях биметаллической полосы с бойками способствует получению однородной и мелкозернистой структуры металла плакирующих слоев.

1. Лехов О.С., Михалев А.В., Шевелев М.М. Исследование процесса получения трехслойных стальных биметаллических полос на установке непрерывного литья и деформации. Сообщение 1 // Изв. вуз. Черная металлургия. 2019. № 8. С. 594 - 599.
2. Лехов О.С., Михалев А.В., Шевелев М.М. Исследование процесса получения трехслойных стальных биметаллических полос на установке непрерывного литья и деформации. Сообщение 2 // Изв. вуз. Черная металлургия. 2019. № 10. С. 763 - 768.
3. Лехов О.С., Гузанов Б.Н., Михалев А.В., Шевелев М.М., Билалов Д.Х. Технология получения многослойных стальных полос на установке совмещенного процесса непрерывного литья и деформации// Сталь. 2019. № 11. С. 70-74.