

УДК 621.771.06:621.745.2

В.А. Хвист, А.Ю. Гридин, И.К. Огинский

**СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ В
ВАЛКОВОМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ
БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО АЛЮМИНЕВО-СТАЛЬНОГО КОМПОЗИТА
СПОСОБОМ ВАЛКОВОЙ РАЗЛИВКИ-ПРОКАТКИ**

В работе описаны мероприятия, принятые для решения проблемы стабилизации стальной полосы-заготовки в двухвалковом кристаллизаторе при получении биметаллических алюминиево-стальных полос способом валковой разливки-прокатки. Эффективность примененных решений проиллюстрирована результатами экспериментов, проведенных на лабораторной установке.

Ключевые слова: БИМЕТАЛЛ, ВАЛКОВАЯ РАЗЛИВКА-ПРОКАТКА, СТАБИЛИЗАЦИЯ, КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, СТАЛЬ-АЛЮМИНИЙ.

В роботі описані заходи, прийняті для вирішення проблеми стабілізації сталевий штаби-заготовки у двовалковому кристалізаторі при отриманні біметалічних алюмінієво-сталевих смуг способом валкової розливки-прокатки. Ефективність застосованих рішень проілюстрована результатами експериментів, проведених на лабораторній установці.

Ключеві слова: БИМЕТАЛ, ВАЛКОВА РОЗЛИВКА-ПРОКАТКА, СТАБІЛІЗАЦІЯ, КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ, СТАЛЬ-АЛЮМІНІЙ.

This paper describes the activities undertaken to solve the problem of steel strip stabilizing in a twin-roll crystallizer for obtaining the bimetallic aluminum-steel strips by method of twin-roll casting. The effectiveness of solutions is illustrated by results of experiments carried out at laboratory equipment.

Keywords: BIMETAL, TWIN-ROLL CASTING, STABILIZATION, COMPOSITE MATERIAL, STEEL-ALUMINUM.

Биметаллы – материалы, состоящие из двух слоев разнородных металлов, – представляют особый класс конструкционных материалов с широкими эксплуатационными и технологическими характеристиками. В основе их практического применения лежит возможность создания композитов с заранее заданными или даже уникальными свойствами. Они позволяют также экономнее использовать остродефицитные и дорогостоящие металлы и сплавы.

Преимущества биметаллов и их высокие потребительские характеристики предопределили развитие их производства и применения в различных отраслях промышленности. Ведущее место в производстве и потреблении многослойных материалов традиционно занимают коррозионностойкие биметаллы на основе алюминия или его сплавов и стали.

В многослойном композите слои, как правило, выполняют различные функции. Основной слой чаще всего изготавливается из менее дорогостоящего материала и выполняет функцию силового элемента, имея большую, чем плакирующий слой, толщину. Плакирующий слой из более

ценных и дефицитных металлов и сплавов может иметь высокую коррозионную стойкость, электропроводность, износостойкость и так далее, или выполнять функцию декоративного покрытия. Сочетание в одном материале различных свойств является основой эффективности использования биметаллов [1].

Биметаллический листовой прокат, плакированный коррозионностойкими сталями, широко используют взамен нержавеющей сталей и цветных металлов, а также для продления срока службы оборудования из черных металлов.

В нефтяном машиностроении двухслойная сталь применяется для изготовления реакторов отгонки бензина из сырой нефти, смесителей, реакторов для рафинирования, отстойников, теплообменников, насосов, ректификационных колонн, коксовых камер и другого оборудования, работающего в средах сернистой нефти, гудронов, мазутов, газосырьевых и газопродуктовых смесей, содержащих водород, сероводород и т.д.

В химическом машиностроении композиты применяются при изготовлении кристаллизаторов, конденсаторов, вакуум-аппаратов, реакторов, варочных котлов, автоклавов, теплообменников, вымывных резервуаров, реакционных колонн и другого оборудования [2].

В целлюлозно-бумажной промышленности биметаллы применяют для изготовления варочных котлов, корпусов и ванн сгустителей, смесителей для бумажной массы, резервуаров для отходов, теплообменников, резервуаров для различных жидкостей и др.

В легкой и пищевой промышленности - для производства оборудования молочных заводов, перегонных кубовых установок, резервуаров для брожения, поточных линий для изготовления полуфабрикатов, барабанных сушилок и т.д.

В судостроении коррозионностойкий биметалл находит применение в качестве материала для изготовления различных деталей опреснителей, цистерн, емкостей, деталей корпусных конструкций, переходников и т.д.

В связи с широкой применимостью биметаллов в настоящее время используется несколько основных способов их получения, таких как клинопрессовая сварка, сварка взрывом и деформационная сварка прокаткой. Выбор конкретного метода производства обуславливается формой исходной заготовки и геометрией готового изделия, а также необходимыми свойствами зоны соединения и экономическими показателями процесса.

Сущность клинопрессовой сварки заключается в соединении разнородных, резко отличающихся по твердости, материалов путем нагрева соединяемых изделий на воздухе или в защитной среде и последующем впрессовывании детали из более твердого материала в более пластичный [3]. На рисунке 1 показаны две возможные схемы реализации данного способа получения биметаллических изделий. Как видно из представленной иллюстрации, данный метод ориентирован в основном на соединение

трубчатых конструкций и служит для производства различных переходников. Для производства более востребованного в машино- и судостроении листового биметаллического продукта этот способ соединения разнородных материалов использован быть не может.

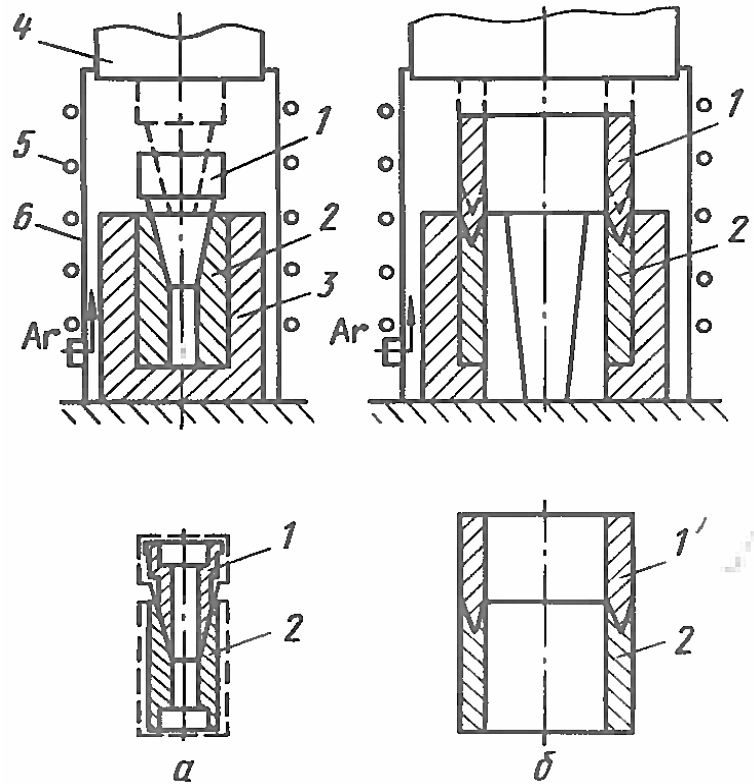


Рисунок – 1. Различные виды технологических схем клинопрессовой сварки трубчатых переходников малого (а) и большого (б) диаметра из разнородных материалов: 1 – деталь из более твердого материала; 2 – деталь из более мягкого материала; 3 – прессформа; 4 – шток прессы; 5 – нагреватель; 6 – корпус камеры

Более универсальной с точки зрения формы соединяемых заготовок из разнородных металлов является технология сварки взрывом. Процесс соединения материалов происходит за счет их высокоскоростного соударения, в ходе которого плакирующий слой метается на основу направленной энергией заряда взрывчатого вещества [4]. Качество сварки при данном способе производства многослойных композиций является наиболее высоким за счет образования на поверхности контакта специфического волнового рельефа, а также локального деформационного упрочнения материалов в приконтактных зонах. Однако у этого метода есть ряд существенных недостатков:

1. Повышенная опасность производства, связанная с использованием и хранением взрывчатых веществ.

2. Необходимость создания специально оборудованных и снабженных подъездными путями и транспортом полигонов, занимающих значительную площадь и, как правило, удаленных на некоторое расстояние от металлургических заводов.

3. Дискретность и локализация процесса, не позволяющая получать длинномерную композитную металлопродукцию.

Совокупность перечисленных недостатков приводит к высокой себестоимости изделий, изготовленных с применением технологии сварки взрывом, что ограничивает возможность их использования в гражданской технике.

Сварка прокаткой является наиболее высокопроизводительным и экономичным процессом получения биметаллов из перечисленных выше. Технология прокатки применяется для производства листов, полос, лент, фасонных профилей, прутков, проволоки как из разнородных металлов, так и из металлов, близких по химическому составу, но отличающихся по своим физическим и механическим свойствам [5]. Соединение компонентов биметалла происходит при их совместной горячей или холодной пластической деформации, осуществляемой в прокатных станах в вакууме или на воздухе.

Исходной заготовкой для получения биметалла служит пакет, состоящий из двух различных слоев металла в виде слябов и пластин. Для получения одного листа биметалла (рис.2а) обычно применяют одинарные пакеты, двойные симметричные пакеты – для получения двух листов биметалла (рис.2б) и тройные пакеты – для получения трех листов биметалла, два из которых двухслойные, а один трехслойный (рис.2в).

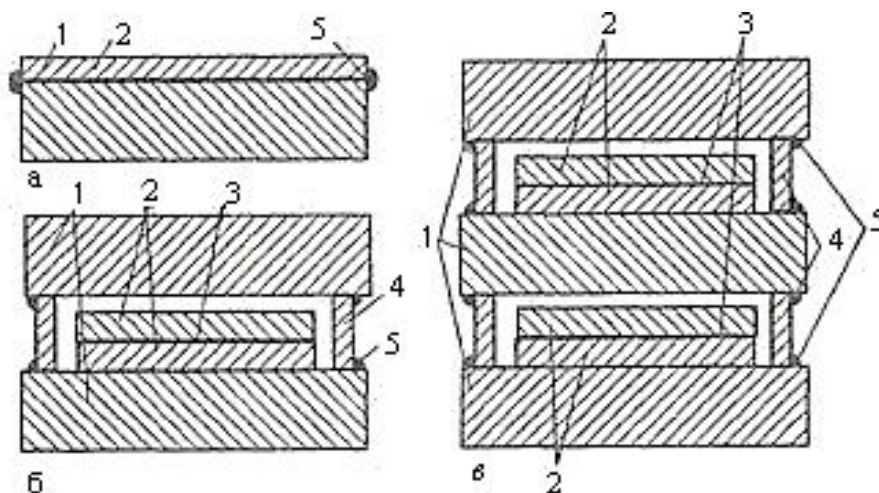


Рисунок – 2. Конструкции пакетов для сварки прокаткой:

- 1 – основной слой; 2 – плакирующий слой; 3 – разделительный слой;
4 – технологическая планка; 5 – сварной шов

Сварку прокаткой применяют для получения двух- или трехслойных биметаллов, состоящих из стальной основы и плакирующих слоев из цветных металлов, например сталь + медь, сталь + латунь, медь + алюминий, алюминий + титан, алюминий + сталь + алюминий. Для получения доброкачественного соединения слоев в биметалле требуется значительная деформация при сварке прокаткой и чистота соединяемых поверхностей, причем особенно важно отсутствие органических веществ.

При сварке прокаткой соединение образуется в условиях высоких давлений пластической деформации и малой длительности взаимодействия. На начальной стадии взаимодействия между листами разнородных материалов происходит смятие микронеровностей и увеличение контактных поверхностей, приводящее вследствие значительной деформационной вытяжки к утонению и частичному разрушению оксидных пленок. В местах контакта между образованными ювенильными поверхностями двух материалов возникают зоны схватывания, между которыми могут оставаться полости, содержащие газы, а также оксидированные участки исходной поверхности. Возможность дальнейшего увеличения числа и площади областей схватывания определяется развитием процесса адсорбции остаточных газов металлом. При дополнительной пластической деформации, по мере поглощения газа металлом и развитии диффузионных процессов, зоны схватывания расширяются, область контакта превращается в непрерывную межфазную границу.

Недостатком способа получения биметаллических листов продольной прокаткой является необходимость использования в качестве заготовки тонких полос для каждого из компонентов будущего плоского композита, изготовление которых по традиционным технологиям предусматривает большое число операций, включая разливку толстых слябов, многопроходную прокатку с промежуточными подогревами, обработку поверхности полупродукта травлением или механическим путем и т.д.

Новый перспективный метод изготовления двух- и трехслойных биметаллических полос с применением машин непрерывной валковой разливки-прокатки, обеспечивающий сокращение технологической цепочки, уменьшение энергозатрат и выбросов вредных веществ в атмосферу, реализован на практике в Институте технологий г. Осака [6, 7, 8]. Японским ученым удалось получить плоский композит, состоящий из двух различных алюминиевых сплавов. Эксперименты проводились для комбинаций сплавов 3xxx-, 4xxx-, 5xxx-, 6xxx- и 8xxx-серий. Однако процесс получения биметаллических полос из разнородных материалов – например достаточно востребованного алюминиево-стального композита – способом валковой разливки-прокатки до недавнего времени на практике реализован не был.

Таким образом, целью научно-исследовательской работы стала разработка технологии получения биметаллических алюминиево-стальных полос, включающей в себя основные и вспомогательные операции, необходимые средства управления процессом разливки-прокатки для создания качественного двухслойного композита с высокой прочностью соединения. В ходе проведения экспериментальных исследований была выявлена необходимость стабилизации положения стальной полосы, подаваемой в кристаллизатор. Целью данной статьи является освещение примененных конструкторских и технологических решений, призванных

обеспечить стабильность стальной полосы в зоне кристаллизации-деформации, а также оценка их эффективности. К мероприятиям, осуществленным для реализации поставленной цели, относится разработка вводной проводки, использование разматывателя для подачи стальной ленты, а также приложение заднего и переднего натяжения к твердой полосе и готовому биметаллическому продукту соответственно.

Впервые эксперименты в данном направлении были осуществлены в рамках сотрудничества между кафедрой обработки давлением Национальной металлургической академии Украины и Институтом материаловедения Ганноверского университета им. Лейбница. Базой для проведения исследований стала экспериментальная установка валковой разливки-прокатки, созданная в результате совместной работы украинских и немецких специалистов. Отличительными особенностями конструкции разработанной машины являются интенсифицированный теплоотвод, организованный по всей внутренней поверхности составных водоохлаждаемых валков; возможность осуществления разливки в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также при промежуточных положениях клетки. Для получения на установке литых полос с заданной поперечной клиновидностью предусмотрено отдельное перемещение нажимных винтов. Более подробная техническая информация об экспериментальной машине валковой разливки-прокатки приведена в работе [9].

Предлагаемый способ получения биметаллической алюминиево-стальной полосы состоит в следующем. Стальная лента толщиной от 0,2 до 1,5 мм и шириной от 50 до 200 мм с предварительно подготовленной поверхностью подается в пространство между вращающимися навстречу друг другу валками-кристаллизаторами непосредственно перед началом разливки. Предварительная обработка поверхности материала заключается в удалении с нее окисных пленок и локальных загрязнений. После позиционирования полосы через плоское сопло в зазор между одним из валков с одной стороны и стальной плоской заготовкой с другой стороны подводится расплав алюминия. Подготовленная поверхность стали обращена при этом к жидкому материалу. Расплавленный алюминий заполняет межвалковое пространство, прижимает стальную заготовку к поверхности второго валка, формируется зона кристаллизации-деформации постоянной протяженности, которая обеспечивает устойчивый процесс сквозного затвердевания расплава и его последующее пластическое формоизменение между водоохлаждаемым вращающимся инструментом. При значительных толщинах алюминиевого слоя между валком и стальной полосой с выходной стороны клетки вводится затравка, задачей которой является создание условий для заполнения зоны кристаллизации-деформации металлом в начальный момент разливки.

Процесс соединения компонентов биметаллической полосы предлагаемым способом носит диффузионный характер. Это обусловлено

действием высоких температур в зоне контакта, близкими в своих пиковых значениях к температуре плавления алюминия, а также давлением от пластической деформации металла, степень которой при валковой разливке-прокатке может достигать более 70%. При оптимальных условиях получения биметаллических алюминиево-стальных полос диффузионный слой должен быть сплошным, а его толщина не должна превышать 10 мкм. Соблюдение последнего требования снижает негативное влияние прочных, но хрупких интерметаллических Fe_xAl_y фаз и обеспечивает наилучшие свойства данной композиции материалов [10].

В качестве материалов для проведения исследований был выбран технический чистый алюминий, отвечающий спецификации EN AW-1070 (стандарт DIN EN 573-3:2007), а также аустенитная сталь X5CrNi18-10 (1.4301). Разливка осуществлялась в вертикальной плоскости, для чего клеть валковой разливки-прокатки была установлена в соответствующее горизонтальное положение.

В первой серии экспериментов стальная лента толщиной 0,5 мм и шириной 60 мм удерживалась вводными линейками и стабилизировалась за счет установки в качестве вводной проводки направляющих реек, которые были закреплены на станине клетки. Расстояние между рейками соответствовало ширине полосы и составляло 60 мм, длина направляющих равнялась 40 мм. Перемещение ленты по высоте не ограничивалось.

Дополнительным средством для удержания стальной полосы в поперечном направлении стало использование разматывателя, оснащенного механическим тормозом, который позволял регулировать величину заднего натяжения. В серии исследований с использованием стальной полосы размерами 0,5x60 мм устанавливалось заднее натяжение величиной 0 Н, 100 Н и 300 Н, а сам разматыватель был установлен на расстоянии 3 м от направляющих реек. Переднее натяжение осуществлялось вручную и находилось в пределах от 0 до 300 Н.

В ходе валковой разливки-прокатки биметаллических полос было установлено, что увеличение заднего и переднего натяжений положительно сказывается на стабилизации положения стальной полосы с валковым кристаллизаторе, однако относительно короткие неподвижные направляющие рейки не в состоянии удержать ленту от термических поводов, возникающих в исходно холодном плоском полупродукте при его контакте с алюминиевым расплавом, что, в конечном итоге, приводит к искажению формы стальной полосы и нежелательному попаданию жидкого компонента композита на ее лицевую поверхность. Очевидно, что качество такого биметаллического продукта становится неудовлетворительным.

Следующим шагом по повышению стабильности положения твердой плоской заготовки в зоне кристаллизации-деформации стала разработка конструкции вводной роликовой арматуры, включающей пару профилированных вертикальных и две пары гладких горизонтальных роликов (см. рис. 3). Узел вертикальных роликов выполнен с

возможностью регулирования расстояния между ними в зависимости от ширины стальной полосы.

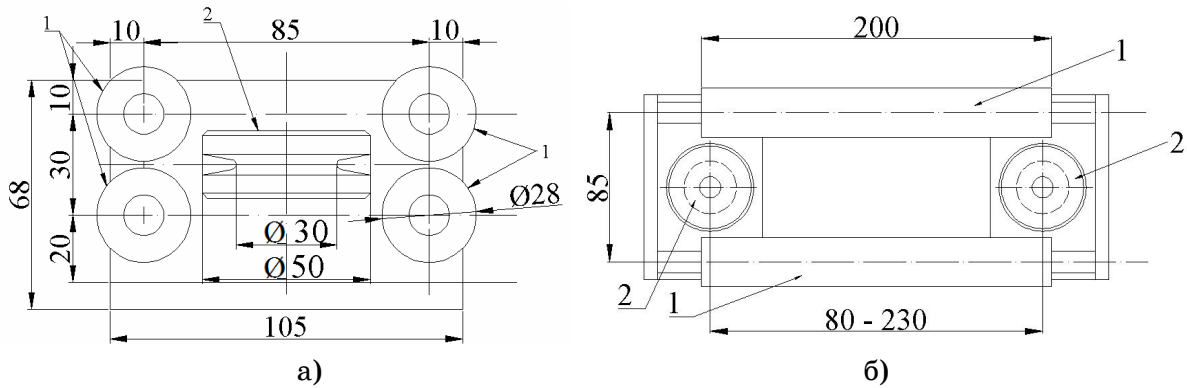


Рисунок – 3. Схема расположения пар направляющих роликов в вводной проводке: а – вид сбоку; б – вид сверху;

1 – горизонтальные валки, 2 – вертикальные калиброванные валки

Эксперименты по оценке эффективности использования роликовой вводной проводки проводились на стальной полосе 0,5x160 мм. Заднее и переднее натяжение устанавливалось на уровне 300 Н. Кроме того, разматыватель был перемещен ближе к машине валковой разливки-прокатки: расстояние от оси моталки до первой группы направляющих роликов составило 2 м.

Принятые меры оказались недостаточными для стабилизации положения стальной полосы в валковом кристаллизаторе. Термические поводки, по аналогии с предыдущей серией экспериментов, привели к попаданию расплавленного алюминия на лицевую сторону плоской стальной заготовки (см. рис. 4).

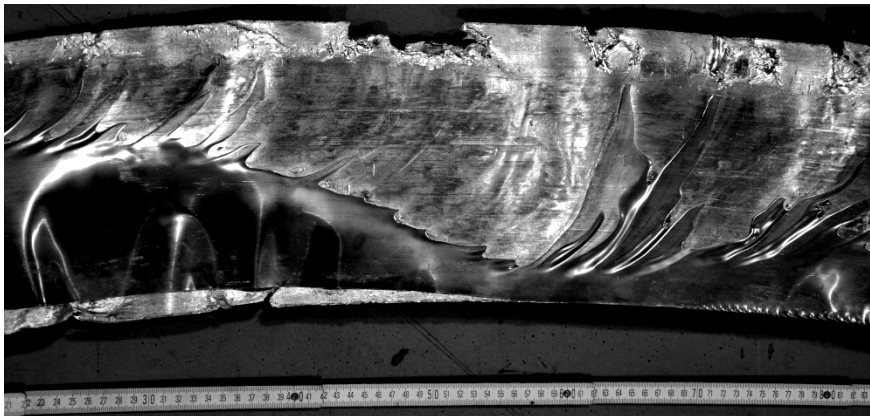


Рисунок – 4. Биметаллическая полоса, полученная после установки вводной проводки с тремя парами роликов

Одним из факторов, ответственным за данный негативный результат, можно считать относительно большое расстояние между зоной кристаллизации-деформации, где действуют термические напряжения, которые необходимо скомпенсировать, и вводной проводкой, которое составляет около 450 мм. За счет длинного плеча даже незначительные возмущающие силы приводят к возникновению момента, способного вызвать коробление и потерю стабильного положения полосы.

Компенсировать действие термических напряжений одной парой вертикальных роликов в проводке не представляется возможным.

Следующим этапом усовершенствования конструкции вводной роликовой арматуры стала установка второй группы направляющих роликов, аналогичной представленной на рисунке 3. Схема расположения групп направляющих роликов представлена на рисунке 5. Расстояние между двумя группами роликов выбрано таким образом, чтобы обеспечить возможность установки в данном промежутке устройства подогрева стальной полосы и составляет 400 мм. Дополнительной мерой стало увеличение заднего натяжения до 500 Н. Экспериментальная установка валковой разливки-прокатки с разработанной системой подачи стальной ленты для получения биметаллической алюминиево-стальной полосы показана на рисунке 6.

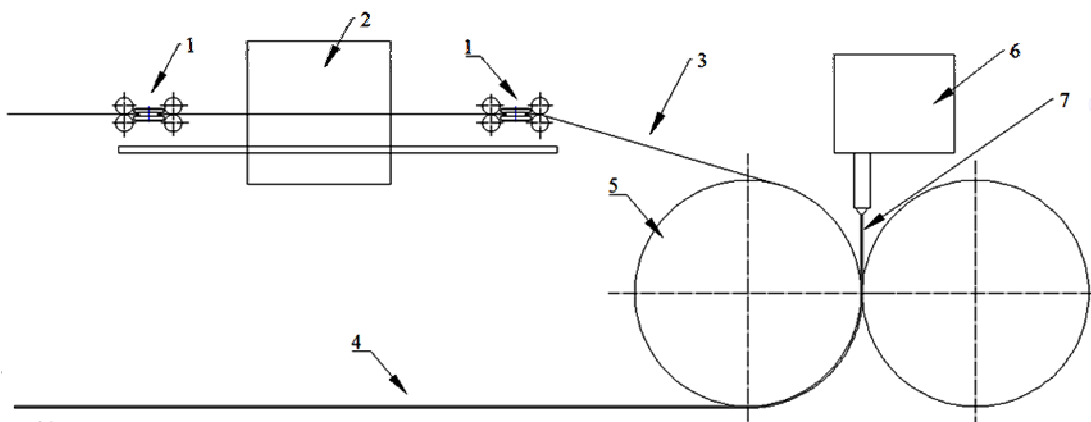


Рисунок – 5. Схема расположения двух групп направляющих роликов в системе подачи стальной полосы: 1 – направляющие ролики; 2 – место для расположения нагревателя; 3 – стальная полоса; 4 – биметаллическая полоса сталь – алюминий; 5 – водоохлаждаемые валки-кристаллизаторы; 6 – разливочный короб с соплом; 7 – жидкий алюминий

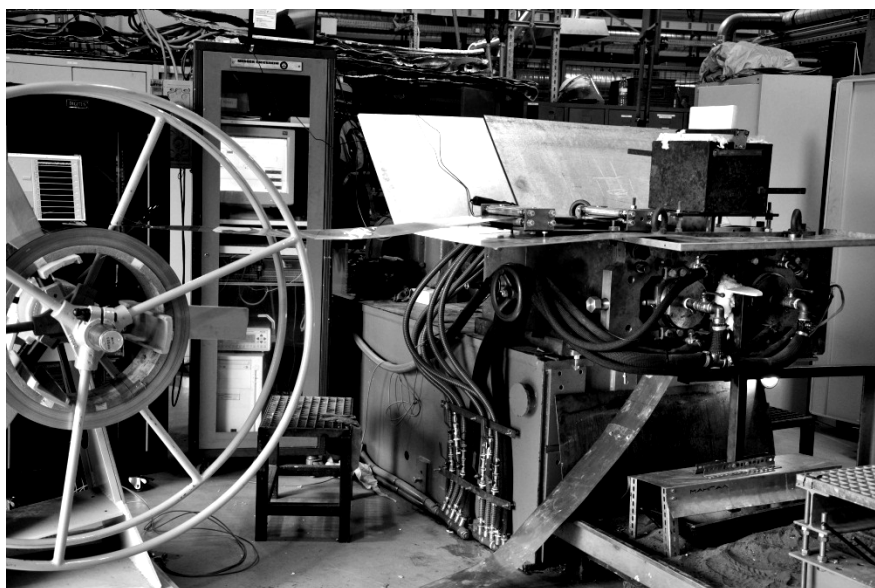


Рисунок – 6. Экспериментальная установка валковой разливки-прокатки перед экспериментом по разливке биметаллической алюминиево-стальной полосы

Принятый комплекс мер по усовершенствованию конструкции вводной проводки и увеличению натяжения позволил добиться стабилизации положения плоской стальной заготовки в валковом кристаллизаторе. Фотография биметаллической полосы со стороны, плакированной сталью, приведена на рисунке 7. В ходе разливки наблюдалась незначительная коробоватость стального слоя, что, однако, не привело к попаданию жидкого алюминия на лицевую поверхность стальной заготовки. Указанная коробоватость может быть устранена в ходе дальнейшей пластической деформации плоской продольной прокаткой с малыми обжатиями.



Рисунок – 7. Биметаллическая алюминиево-стальная полоса после принятия комплекса мер по ее стабилизации

Выводы

В ходе проведенных экспериментальных исследований технология валковой разливки-прокатки была впервые успешно использована для получения биметаллических полос из разнородных материалов на примере двухслойной алюминиево-стальной композиции.

Разработана и опробована система подачи стальной полосы в валковый кристаллизатор, обеспечивающая стабильность положения твердой плоской заготовки в зоне кристаллизации-деформации. Система включает в себя разматыватель с возможностью регулирования заднего натяжения и вводную арматуру, состоящую по меньшей мере из двух групп роликов, каждая из которых содержит пару профилированных вертикальных и две пары гладких горизонтальных роликов. Выявлен диапазон величин заднего натяжения (300 – 500 Н), который является достаточным для стабилизации положения стальной полосы в зоне кристаллизации-деформации для установки приведенного вида.

Проведенный комплекс мероприятий позволяет продолжить исследования в направлении развития технологии валковой разливки-прокатки биметаллических полос из разнородных материалов, в частности с целью анализа влияния параметров процесса на свойства получаемого композита и микроструктуру зоны диффузионного соединения.

Список литературы

1. Голованенко С.А., Меандров Л.В. Производство биметаллов. – М.: Металлургия, 1966. – 304 с.
2. Засуха П.Ф. Биметаллический прокат /Засуха П.Ф. и др. – М.: Металлургия, 1970. – 264 с.
3. Шоршоров М.Х., Клинопресовая сварка давлением разнородных металлов /Шоршоров М.Х., Колесниченко В.А., Алехин В.П. – М.: Металлургия, 1982. – 112 с.
4. Король В.К., Гильденгорн М.С. Основы технологии производства многослойных металлов. – М.: Металлургия, 1970. – 237 с.
5. Голованенко С.А. Сварка прокаткой биметаллов. Под ред. Э.С. Каракозова. М., Металлургия, 1977. – 160 с.
6. T. Haga, S. Suzuki A twin-roll caster to cast clad strip. – Journal of Materials Processing Technology, 138, 2003 – P. 366–371.
7. T. Haga, R. Nakamura, S. Kumai, H. Watari Clad strip casting by a twin roll caster. – International Scientific Journal, 2009. – P. 117–124.
8. R. Nakamura, T. Yamabayashi, T. Haga, S. Kumai, H. Watari. Roll caster for the three-layer clad-strip. – International Scientific Journal, 2010. – P. 112–120.
9. Гридин А.Ю., Огинский И.К., Данченко В.Н., Бах Фр.-В. /Экспериментальная установка валковой разливки-прокатки тонких полос //Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – № 5. – С. 46–51.
10. Stahl-Alu-Hybridplatte ist serienreif //Blech, Rohre, Profile. – 2011. – №1-2. – P. 28.

Получено: 10.01.2012 г.