

Особенности производства биметаллических полос сталь + бронза БрОФ 6,5-0,15 способом холодного плакирования

Фахриев Р.Р., А.В.Шапарев

*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева-КАИ» г.Набережные Челны, Россия*

*Аннотация:* Достоинствами способа производства биметаллических полос сталь + бронза БрОФ 6,5-0,15 способом холодного плакирования являются высокая производительность, автоматизация и механизация процесса, высокая культура производства. Однако практическое осуществление способа встречает ряд серьезных трудностей, т.к. трудность образования соединения металлов в холодном состоянии и в связи с этим необходимость специальной подготовки контактных поверхностей перед плакированием и необходимость использования больших единичных обжатий при плакировании, что требует применения специального деформирующего оборудования большой мощности.

*Ключевые слова:* плакирование, деформация, биметаллическая полоса

Холодное плакирование – это способ производства биметаллов путем совместной пластической деформации компонентов в холодном состоянии. Но при внедрении способа возникают трудности. Это, прежде всего, трудность образования соединения металлов в холодном состоянии и в связи с этим необходимость специальной подготовки контактных поверхностей перед плакированием и необходимость использования больших единичных обжатий при плакировании, что требует применения специального деформирующего оборудования большой мощности.

В результате проведенных экспериментов биметалл для вкладышей подшипников скольжения - сталь + бронза БрОФ 6,5-0,15 получали способом холодного плакирования. Для получения биметалла использовали холоднокатаную калиброванную сталь марки 0,8кп толщиной 6,2 мм, холоднокатаную отожженную омедненную с двух сторон бронзу БрОФ 6,5-0,15 толщиной 2,4 мм.

Исходные материалы подвергали обезжириванию в специальной установке, где холодные полосы проходят через трихлорэтиленовый пар, нагретый до 70 °С, который, конденсируясь, стекает вниз, растворяя жировые покрытия на поверхности полос. Обезжиривание в парах трихлорэтилена протекает в течение 4–5 минут. После обезжиривания по истечении не более 1,5–2 часов исходные материалы тщательно зачищали. Зачистка контактной поверхности бронзы осуществлялась двумя вращающимися стальными проволочными щетками, изготовленными из стальной проволоки диаметром 0,3 мм до металлического блеска. Скорость вращения щеток 1000 об/мин. Скорость движения бронзовой полосы 0,12 м/с. Давление щеток на обрабатываемую поверхность при очистке регулируется в пределах 0,5...0,8 МН /м<sup>2</sup>. Зачистка

стальной основы осуществлялась шлифовальной бесконечной лентой 3050×215 ТУ-У3.02-0022225-015-95 с зерном 50. Скорость движения стальной полосы 0,16 м/с. Омедненную бронзу и сталь зачищали с одной стороны в один пропуск.

Холодное плакирование осуществляли на двухвалковом стане 05 с диаметром валков 450 мм и длиной бочки 400 мм с обжатием 60–65%. Холоднокатаные полосы биметалла толщиной 3,1–3,2 мм подвергали промежуточному отжигу в туннельной конвейерной печи в среде защитного газа. Защитный газ - пропанбутановая смесь - подается в рабочее пространство печи из экзотермической газовой установки. Термообработка включала нагрев до температуры 610–630 °С и выдержку в течение 4 часов и последующее охлаждение в той же печи в защитной атмосфере до температуры 60 °С. Общее время термообработки составило 24 часа. [8]

Окончательную холодную прокатку полос до толщины 3,0 мм выполняли за один проход на двухвалковом стане 05, после которой прокатки полосы подвергали окончательной термообработке по режиму соответствующему промежуточной термообработке. Соединение слоев в биметалле прочное.

Механические свойства готового биметалла: предел прочности  $\sigma_{\text{тв}} = 350\text{--}400 \text{ Н/мм}^2$ ; относительное удлинение  $\delta = 38\text{--}42 \%$ ; твердость HRB - 65–70 для стального слоя; HRB - 70–75 для антифрикционного слоя.

Пример 2. Омедненную бронзу - медь + бронза + медь для плакировки получали способом холодного плакирования. В качестве исходных материалов использовали холоднокатаную отожженную медь марки М 1 ГОСТ 495-77 толщиной 1 мм и холоднокатаную отожженную бронзу марки БрОФ 6,5–0,15 толщиной 6,0 мм.

Исходные материалы подвергали обезжириванию, тщательной зачистке металлическими щетками: основной слой бронзы с двух сторон, а слой меди с одной стороны [3].

Холодное омеднение бронзы осуществляли на двухвалковом стане 05 с обжатием 65–70 %. Холоднокатаные полосы толщиной 2,6–2,8 мм подвергали промежуточному отжигу по режиму.

Окончательную холодную прокатку [3] омедненных бронзовых полос до толщины 2,4 мм выполняли за один проход на двухвалковом стане 05, после чего полосы подвергали окончательной термообработке.

Полученные холодным плакированием полосы с медным подслоем имеют сплошное и достаточно прочное соединение слоев. Микроструктура слоистого металла состоит из ориентированных в направлении прокатки зерен его составляющих, при этом на границе раздела слоев медь + бронза располагаются раздробленные участки закристаллизовавшихся расплавов (рис. 1). [1], [8]

Производство сталебронзового биметалла по толщине  $h = 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 2,9; 3,0; 3,1; 3,2; 3,3; 3,4; 3,5; 3,6; 3,8; 3,9; 4,0; 4,1; 4,2$  мм и ширине  $b = 120.180$  мм организовано по схеме:

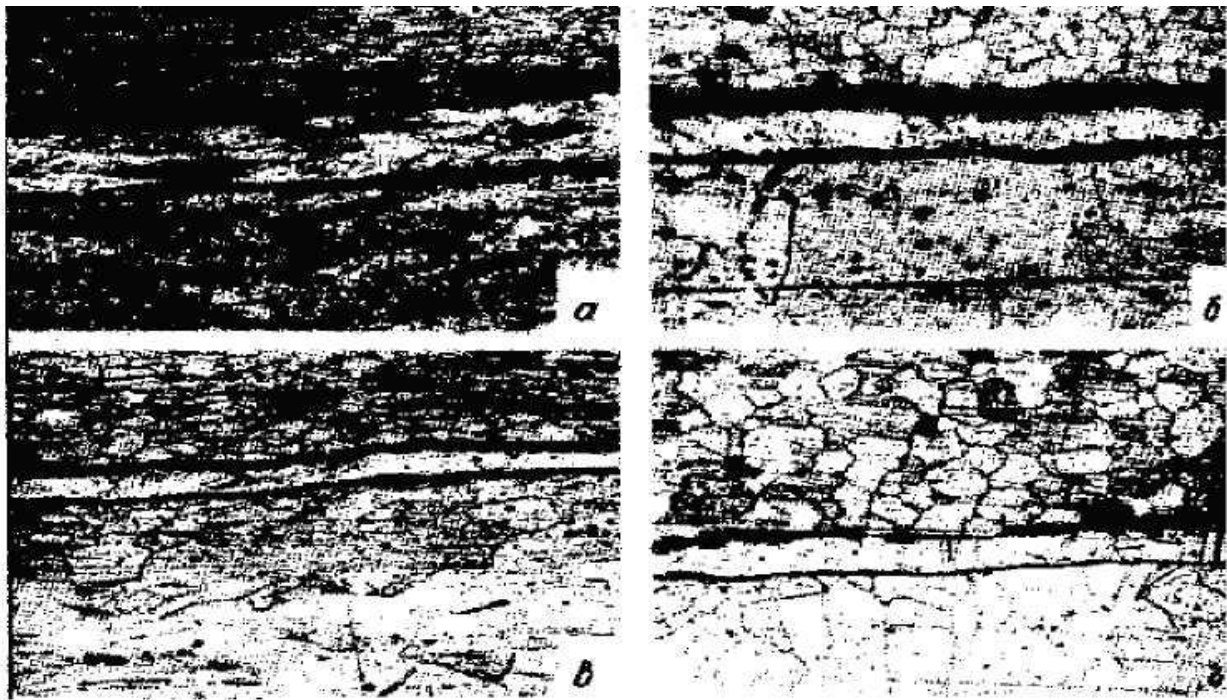


Рис. 1. Микроструктура биметалла сталь - омедненная бронза БрОФ 6,5-0,15 после холодного плакирования (а), промежуточного отжига (б), окончательной холодной прокатки (в) и окончательного отжига (г)  $\times 100$

1) омедненную бронзу - (медь - бронза БрОФ6,5-0,15 - медь) - получают по примеру 2;

2) биметалл - (сталь - омедненная бронза) получают по примеру 1. При этом толщина калиброванного стального подката выбирается следующих размеров:  $h_0 = 4,2; 4,4; 4,7; 5,0; 5,6; 6,2; 6,4; 6,8; 7,0; 7,2; 7,4; 7,6; 8,0; 8,2; 8,4; 8,6$  мм.

Таким образом, разработанный способ получения биметалла для вкладышей подшипников скольжения можно осуществить по технологической схеме и на действующем оборудовании по производству антифрикционного биметалла сталь - сплав АО20-1 с незначительным усовершенствованием оборудования. [8]

Проведение плакирования стали с использованием двухсторонней омедненной бронзы исключает изгиб биметаллических полос и обеспечивает равномерное соединение слоев при удовлетворительной прочности сцепления. Применение же при плакировании односторонней омедненной бронзы [2] приводит при прокатке к изгибу биметаллических полос. Кривизна биметаллических полос вызывает не только необходимость правки полос на роликовых правильных машинах, но и снижает прочность сцепления слоев. [8]

Кроме того, проведение промежуточной и окончательной термообработок биметалла при температуре 610...630 °С и в среде защитного газа связано не только с предупреждением окисления и снятием механических напряжений, но и с увеличением прочности сцепления слоев биметалла в 1,5-2 раза. [1] Это наглядно показано на рис.2.

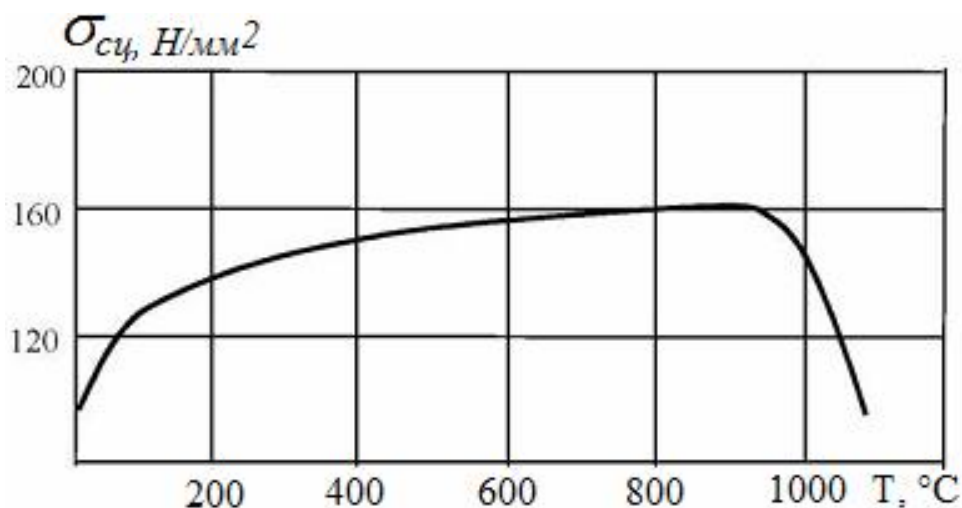


Рис.3. Зависимость прочности сцепления слоев холоднокатанного биметалла сталь 08кп + омедненная бронза БрОФ 6,5-0,15 от температуры промежуточного отжига (t = 4 ч)

Разработанный способ холодной прокатки позволяет значительно расширить сортамент антифрикционного биметалла для вкладышей подшипников скольжения высокого качества и повысить загрузку существующего прокатного оборудования при массовом производстве биметалла. Изготовленные из данного сталелатунного биметалла детали узлов трения тяжелонагруженных дизельных двигателей успешно прошли испытания и показали высокие эксплуатационные свойства [1],[8].

Таким образом, из анализа литературных данных следует, что подготовка контактных поверхностей перед холодным плакированием является одной из важнейших технологических операций. В связи с этим с целью совершенствования технологии холодного плакирования биметаллических полос латунь-сталь-латунь целесообразно выполнить ряд исследований по определению оптимальной шероховатости контактных поверхностей, влиянию наклепа и толщины упрочненного слоя на величину деформации схватывания, определить размеры образующихся мостиков сцепления, исследовать изменение межслойной шероховатости в процессе плакирования биметаллических полос.

Совместная пластическая деформация компонентов должна быть произведена с возможно большим обжатием для получения необходимой прочности соединения слоев, обеспечивающей смотку полосы в рулон без расслоения. Холодное плакирование чаще всего производят на прокатных станах кварто [1,8], хотя есть сведения и об использовании планетарных станов [1], [3].

В работах [1,8] величина относительного обжатия при холодном плакировании биметаллических полос латунь-сталь-латунь рекомендуется не менее 0,55, в работах [1], [2], [3] – в пределах 0,45 - 0,55, при этом меньшее значение относится к биметаллическим полосам шириной не более 100 мм. На величину деформации схватывания при плакировании оказывает влияние

соотношение толщин слоев [1], [8] а также давление в очаге деформации [8] и ряд других технологических факторов.

Применительно к биметаллическим полосам латунь-сталь-латунь влияние технологических факторов (давления в очаге деформации, натяжения, диаметра валков, коэффициента трения и др.) на схватывание металлов не исследовалось. Кроме того, в известных работах не объяснено влияние контактного давления, степени упрочнения поверхностного слоя, толщины и размеров блоков разрушения поверхностного слоя на величину деформации схватывания слоев биметаллических полос.

Кроме высокой прочности сцепления слоев, к биметаллическим полосам латунь-сталь-латунь предъявляется ряд требований по точности размеров, механическим свойствам и микроструктуре. Относительное обжатие при плакировании влияет на характер микроструктуры, величину рекристаллизованных зерен, механические свойства полосы, точность размеров [1], [3], [4]]. Для создания необходимых вытяжных свойств биметаллических полос оптимальная степень деформации находится в пределах 0,45-0,60. Большие обжатия приводят к чрезмерному измельчению рекристаллизованных зерен и увеличению анизотропии механических свойств материала [8]. Меньшие обжатия способствуют чрезмерному росту зерна феррита при отжиге и ухудшению поверхности после штамповки [8].

С целью измельчения зерна феррита, выравнивания и гомогенизации структуры иногда применяют предварительную нормализацию стали при температурах 900-920°C [1, 8], однако при этом углерод в структуре образуется в виде пластинчатого перлита, что может несколько ухудшить способность биметаллических полос к глубокой вытяжке [1]. Совместное влияние предварительной нормализации стали и степени деформации при плакировании на механические свойства биметаллических полос латунь-сталь-латунь в известных работах не исследовалось.

В работе [1] показано, что при холодном плакировании поперечная разнотолщинность полосы остается постоянной при различных профилировках рабочих валков, при этом не показано влияние степени деформации и натяжения на формирование поперечной разнотолщинности биметаллических полос, не исследовано влияние ряда факторов на сплющивание и прогиб валков, жесткость клетки при холодном плакировании. При больших единичных обжатиях затрудняется обеспечение требуемой точности размеров по длине биметаллических полос, что в последующем достигается при окончательной холодной прокатке [3], [8].

Диффузионный отжиг является необходимой технологической операцией при производстве биметаллических полос способом холодного плакирования, так как позволяет за счет процессов взаимной диффузии металлов увеличить прочность их сцепления до 150-160 Н/мм<sup>2</sup> [1], [3]. Диффузионный отжиг биметаллических полос латунь-сталь-латунь производят при температурах выше (680-720°) [1,2] или ниже температуры рекристаллизации стального слоя (450-500°C) [1, 3].

При температуре отжига 680-720°C происходит взаимная диффузия



металлов на глубину 15–20 мкм [8], полная рекристаллизация латуни и стали, сфероидизация или коагуляция цементита, рост зерен феррита до некоторой конечной величины [1]. Диффузионный отжиг при температурах выше 850°C приводит к интенсификации процессов межкристаллитной диффузии меди в сталь и снижению прочности сцепления слоев. При температуре отжига 450–500°C происходит увеличение прочности сцепления слоев до 100 – 120 Н/мм<sup>2</sup> за счет взаимной диффузии металлов [1], полная рекристаллизация латуни, снятие внутренних напряжений в стали. При этом возможна окончательная холодная прокатки биметалла с небольшими обжатиями на конечный размер, а полная рекристаллизация стального слоя происходит при окончательном отжиге при температуре 680–720°C [1]. Это позволяет за счет большей суммарной деформации уменьшить размер зерна феррита в готовых полосах и несколько увеличить пластичность стали [1]. Комплексное исследование формирования свойств биметалла 3 при использовании низкотемпературного индукционного отжига выполнено в работе [1].

Окончательная холодная прокатка биметаллических полос латунь-сталь-латунь допускается с относительными обжатиями не более 0,25 (если полосы подвергали низкотемпературному диффузионному отжигу). Если диффузионный отжиг производится при температуре выше температуры рекристаллизации стали, то окончательная холодная прокатка должна производиться с относительным обжатием не менее 0,25, иначе при окончательном рекристаллизационном отжиге образуются зерна феррита более 5-го балла и биметалл становится непригодным для глубокой вытяжки [8].

При окончательной холодной прокатке следует также обеспечить получение полос в требуемом поле допусков по толщине, что обеспечивается надежностью работы систем автоматического регулирования толщины полосы (САРТ) [102]. Кроме того, для повышения точности листового проката успешно используется прокатка и дрессировка полос в предварительно напряженных по буртам валках [1]. Прокатка и дрессировка биметаллических полос латунь-сталь-латунь в предварительно напряженных по буртам валках не исследовалась.

Окончательный отжиг применяется для формирования требуемых свойств и микроструктуры биметаллических полос и проводится в интервале температур 640–720°C [1]. Для улучшения пластичности биметаллических полос целесообразно производить отжиг при максимально возможных температурах, но не выше точки  $A_{c1}$ , поэтому верхнюю границу оптимальных температур ограничивают температурами 680–720°C [1], что является оптимальным для рекристаллизации и роста зерен феррита, сфероидизации и коагуляции цементита [1].

Дрессировка биметаллических полос применяется для устранения площадки текучести и предотвращения возникновения изломов при смотке и размотке полосы [1] и производится в гладких цилиндрических валках с относительным обжатием 1–2 % [1].

В промышленных условиях способ холодного плакирования освоен для получения биметаллических полос латунь Л90-сталь 11кп -латунь Л90

(биметалл 3 по ОСТ 3-6649-91) толщиной 0,90 мм при использовании технологической схемы с высокотемпературным диффузионным отжигом [1]. В настоящее время биметаллические полосы латунь Л90-сталь 18ЮА-латунь Л90 толщиной 2,0-3,2 мм (биметалл 1 по ОСТ 3-6648-91) и большая часть биметалла 3 по ОСТ 3-6649-91 производят устаревшим способом горячей поштучной прокатки пакетов.

Технологическая схема получения биметалла 1 толщиной 2,9 и 3,2 мм способом холодного плакирования с использованием высокотемпературного диффузионного отжига неприемлема для освоения в производственных условиях, так как для этого требуется стальная заготовка толщиной соответственно не менее 8,5 и 9,5 мм, для обработки которой требуется уникальное оборудование особо большой мощности. Производство биметалла 1 с применением низкотемпературного диффузионного отжига требует использования стальной заготовки толщиной 7,0 мм, что затруднено из-за недостаточной мощности некоторых узлов механического оборудования существующих цехов биметалла (валковых систем, отгибателей переднего конца полосы, натяжных станций, гильотинных ножниц и др.) [8].

В условиях действующих цехов предпочтительно использовать стальную заготовку толщиной не более 6,2-6,5 мм. Однако в этом случае известные технологические схемы для производства биметалла 1 толщиной 3,2 мм способом холодного плакирования оказываются неэффективными из-за недостаточной величины обжатию при плакировании и невозможности получения полос с прочным сцеплением слоев.

Поэтому целесообразна разработка технологической схемы производства биметалла 1 толщиной 3,2 мм, которая позволит:

- 1) исключить операции промежуточного отжига и окончательной холодной прокатки без ухудшения требуемых свойств и точности готовых биметаллических полос;
- 2) снизить исходную толщину стальной полосы до приемлемых размеров для обеспечения ее прохождения по основным технологическим агрегатам существующих цехов биметалла.

Разработка рациональной технологии производства биметалла 1 по ОСТ 3-6648-91 толщиной 3,2 мм способом холодного плакирования затруднена из-за отсутствия исследований по влиянию микрогеометрии поверхности, поверхностного и объемного упрочнения, направления и скорости зачистки контактных поверхностей, температуры отжига, содержания цинка в латуни, соотношения толщин стали и латуни на величину деформации схватывания стали с латунию; теоретических исследований по возможности прогнозирования прочности сцепления и деформации схватывания слоев биметаллов в зависимости от свойств контактных поверхностей и технологических факторов.

Библиографический список:

1. Совершенствование технологии производства биметаллических лент: монография/ Шапарев А.В., Савин И.А.; ЗАО «Университетская книга». Курск. 2015г. 214с.

2. Колмаков А.В., Плужников Ю.В., Пудовкин А.П. и др. Изготовление сталебронзового биметалла холодным плакированием. - Вестник Тамбовского государственного технического университета, выпуск № 4, т. 9, 2003, с. 697-703.

3. Гавариев Р.В., Леушин И.О., Савин И.А. Анализ влияния теплового баланса на показатель эксплуатационной стойкости пресс-форм для литья под давлением //Заготовительные производства в машиностроении. М. 2016. №1. С.7-9

4. Биметаллическая лента медь-сталь-медь -  
<http://www.bimetall.ru/cvetmet.php?idpage=21>.

5. Биметаллическая лента томпак-сталь-томпак -  
<http://www.bimetall.ru/cvetmet.php?idpage=21#2>

6. Биметаллические ленты со сплошным покрытием. —  
<http://www.bimetall.ru/print.php?idpage=17>.

7. Биметаллические ленты со сплошным покрытием из алюминия и его сплавов. – <http://www.bimetall.ru/print.php?idpage=22>.

8. Шапарев А.В. Совершенствование технологии производства холоднокатаных биметаллических полос сталь-латунь. Дисс. ... канд.техн.наук. - Магнитогорск, 1986. - 177 с.