



The results of experimental research of optimal modes of Plastic Forming coaxial layered metal blanks of the helical rolling of mill with a triple roll at the ends of pressurization of the package. Shown that the frontal surfaces of back pressure ensures the rational use of the base layer bimetal and improving the quality of the connection layer blanks at the expense of creating the conditions to the accumulation of compression strain in the weld zone.

В. В. КЛУБОВИЧ, В. А. КЛУШИН, В. И. МАРУСИЧ, В. А. ТОМИЛО, БНТУ

УДК 621.771.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОАКСИАЛЬНЫХ СЛОИСТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Коаксиальные слоистые металлические заготовки используют в малоотходных процессах пластического формообразования поковок для различных отраслей машиностроения. Заготовки с основным слоем из углеродистой стали и плакирующим слоем из стали с высокой стойкостью против абразивного износа экономически целесообразно использовать при изготовлении прокаткой рабочих органов почвообрабатывающей техники. Звездочки цепных передач наиболее рентабельно изготавливать из слоистых металлических заготовок радиальной штамповкой, а деталей зубчатых передач – объемной штамповкой и накаткой.

Предлагаемая технология производства коаксиальных слоистых металлических заготовок [1] улучшает известную технологию [2], которая включает укладку составляющих биметалла в пакет путем помещения стержневой составляющей, основной слой, в трубную составляющую, плакирующий слой, и горячую прокатку пакета.

При сборке пакета составляющих биметалла цилиндрическую заготовку из основного стального материала вставляют в трубную заготовку из материала покрытия, например нержавеющей стали, со свободной посадкой и образованием зазора между заготовками, равного 0,002–0,01 мм от наружного диаметра трубной заготовки. Затем заваривают один торец полученной биметаллической заготовки, подвергают ее холодному обжатию со степенью обжатия по диаметру, равному 0,3–15% и заваривают второй торец биметаллической заготовки. После заварки второго торца биметаллическую заготовку нагревают и деформируют по меньшей мере за один проход на стане ковки-прокатки в шаговом режиме. Известная технология обеспечивает повышение качества покрытия и прочности соединения слоев коаксиальных слоистых металлических заготовок.

Однако при такой технологии деформационная нагрузка, обеспечивающая соединение (сварку) основного и плакирующего слоев, прикладывается только в осевом направлении (продольная прокатка), что не всегда может гарантировать качественное соединение металлов. В связи с этим для повышения качества сварки используют тройное деформирование: волочение, радиально-ротационную ковку и ковку-прокатку, что обеспечивает должное качество и прочность соединения слоев биметаллического изделия за счет продольного и поперечного приложения деформационной нагрузки, но при этом значительно повышается себестоимость производства и снижается производительность изготовления слоистых металлических заготовок.

Кроме того, в процессе продольной прокатки пакета соединяемых металлов в большей степени деформируется основной слой металла, обладающий меньшим сопротивлением деформации, в связи с чем значительная часть металла выдавливается за пределы плакирующего слоя и идет в отход.

В предложенной нами технологии производства коаксиальных слоистых металлических заготовок укладку составляющих биметалла по длине осуществляют по переднему торцу пакета, который задают в прокатную клеть, а горячую прокатку – в трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки с подпором торцовых поверхностей проката.

Составляющие биметалла выполняют разной длины, при этом размер основного слоя биметалла (стержневой составляющей пакета) назначают исходя из условия постоянства его объема в момент укладки в пакет и после формирования слоистой металлической заготовки заданной длины.

Усилие подпора P_n торцовых поверхностей проката выбирают в пределах

$$(\sigma_{T1} - \sigma_{T2})F \leq P_n \leq (0,5 - 0,9)P_x,$$

где σ_{T1} – предел текучести основного слоя слоистого металлического композита в условиях его деформирования; σ_{T2} – предел текучести плакирующего слоя слоистого металлического композита в условиях его деформирования; F – площадь поперечного сечения основного слоя композита; P_x – осевая составляющая равнодействующей силы прокатки в валках.

Использование трехвалковой схемы поперечно-винтовой прокатки для производства коаксиальных слоистых металлических заготовок (вместо схем продольной, поперечной и поперечно-клиновой прокаток) имеет ряд преимуществ, основным из которых является наличие трех очагов деформации, создаваемых тремя валками, оси которых располагают под углом друг к другу и к оси прокатки (продольной оси заготовки).

Заготовка в процессе прокатки получает не только вращательное (поперечная прокатка), но и поступательное движение вдоль оси прокатки (продольная прокатка). Наличие трех очагов деформации позволяет передавать заготовке в 1,5 раза больший крутящий момент по сравнению с прокаткой двумя валками и соответственно интенсифицировать процесс прокатки и сварки слоев биметалла за счет создания более высоких сжимающих напряжений и значительного накопления деформаций в зоне сварки составляющих биметалла.

Переход от двухвалковой поперечной прокатки к трехвалковой прокатке сопровождается ростом нормальных контактных напряжений и снижением гидростатических давлений на оси заготовки.

Прокатка коаксиальных слоистых металлических заготовок на трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки с подпором переднего торца пакета (передней торцевой поверхности проката) способствует увеличению сжимающих напряжений и накоплению деформаций в зоне сварки со-

ставляющих биметалла за счет создания условий всестороннего сжатия его основного слоя. Подпор переднего торца пакета также предотвращает выдавливание основного слоя как более пластичного материала за пределы передней торцевой поверхности плакирующего слоя. Подпор переднего торца пакета осуществляют с усилием, обеспечивающим равномерное удлинение слоев биметалла в момент захвата пакета и на начальной стадии установившегося процесса прокатки.

Подпор заднего торца пакета проводят дискретно, в начальной стадии процесса прикладывают усилие к торцу плакирующего трубчатого слоя для осуществления задачи пакета составляющих биметалла в прокатную клеть и его захвата валками. В дальнейшем в установившемся процессе прокатки усилие подпора заднего торца пакета устанавливают равным усилию подпора переднего торца. На заключительной стадии, когда основной слой биметалла, удлиняясь, сравнивается по длине с плакирующим слоем, усилие подпора выдерживают в заданных пределах для минимизации потерь основного слоя и формообразования торцевой поверхности слоистой металлической заготовки, предотвращая при этом выдавливание основного слоя как более пластичного материала за пределы торцевой поверхности плакирующего слоя.

Технология производства коаксиальных слоистых металлических заготовок (рис. 1) включает в себя следующие операции.

1. *Защитка контактных поверхностей составляющих биметалла*

Контактные поверхности соединяемых металлов подвергают механической обработке. Цилиндрическую заготовку 1 (основной слой) и трубную заготовку 2 (плакирующий слой) подвергают очистке от загрязнений, оксидных и масляных пленок.

2. *Укладка составляющих биметалла в пакет*

Осуществляют укладку составляющих биметалла в пакет 3 с выравниванием составляющих

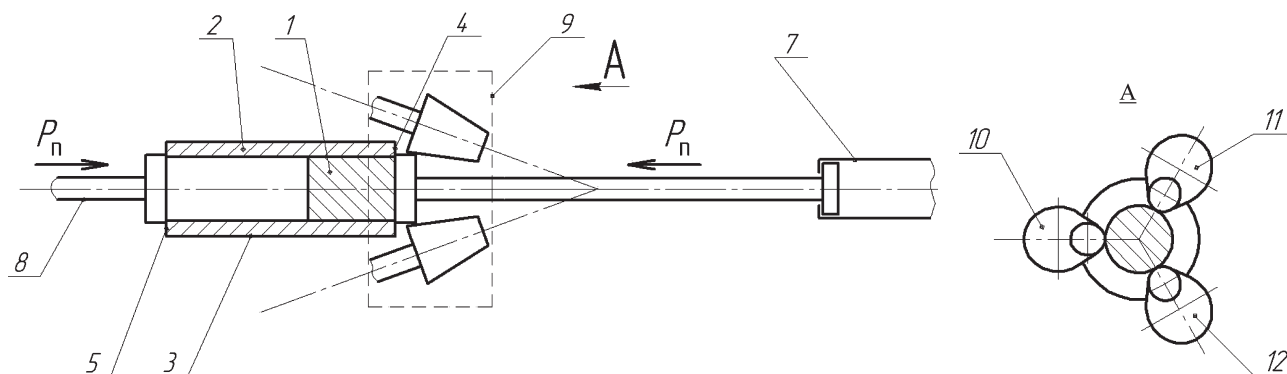


Рис. 1. Схема трехвалкового стана прокатки коаксиальных слоистых металлических заготовок

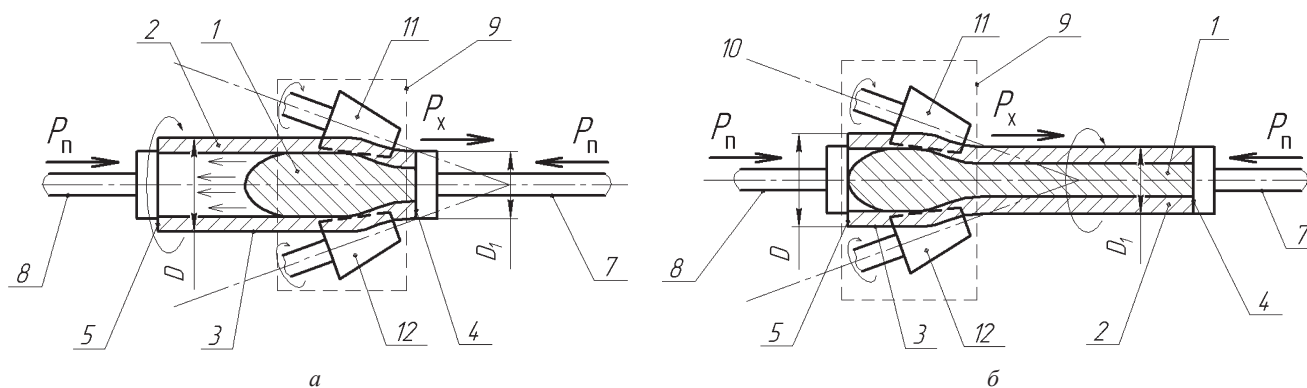


Рис. 2. Поперечно-винтовая прокатка слоистых металлических заготовок на трехвалковом стане с подпором торцов пакета: а – начальная стадия прокатки; б – конечная стадия прокатки

биметалла 1 и 2 по его переднему торцу 4, задний торец пакета 5 в этом случае является торцевой поверхностью трубного плакирующего слоя 2. Соединение слоев при укладке составляющих биметалла в пакет осуществляют по переходным посадкам или посадкам с натягом.

3. Нагрев пакета составляющих биметалла

Проводят нагрев пакета составляющих биметалла до температуры 900–1100 °С.

4. Прокатка в трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки

Выполняют горячую прокатку пакета составляющих биметалла в трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки в следующей последовательности.

Нагретый пакет 3 составляющих биметалла укладывают на приемный рольганг стана (на рис. 1 не показан) и к его торцевым поверхностям 4 и 5 прикладывают усилия противодействия P_n гидравлическими цилиндрами 7 и 8.

Включают стан и осуществляют вначале задачу пакета 3 биметалла в прокатную клетку 9 (рис. 2, а), образованную тремя коническими валками 10, 11 и 12, и затем последующую совместную прокатку составляющих биметалла (рис. 2, б).

В процессе деформации пакета 3 биметалла валками 10, 11 и 12 стана поперечно-винтовой прокатки осуществляют его постепенное обжатие от исходного диаметра пакета до диаметра готовой продукции – коаксиальной слоистой металлической заготовки. Деформацию осуществляют поперечно-винтовой прокаткой, при которой пакет 3 непрерывно обжимают, при этом он получает не только вращательное, как в поперечной прокатке, но и поступательное движение вдоль оси пакета, как в продольной прокатке, за счет конической формы валков и их расположения под углом друг к другу и к оси пакета.

Подпор переднего торца 4 пакета 3 в процессе прокатки способствует увеличению сжимающих

напряжений и накопленных деформаций в зоне сварки составляющих биметалла за счет создания условий всестороннего сжатия его основного слоя 1, как более пластичного материала, за пределы передней торцевой поверхности 4 плакирующего слоя. Деформацию основного слоя 1 на стадии захвата пакета 3 и последующей прокатки осуществляют путем выдавливания в направлении, обратном направлению прокатки.

На заключительной стадии процесса прокатки осуществляют деформирование концевой участка пакета 3, при этом основной слой 1 пакета, выдавливаясь в направлении, обратном направлению прокатки, не выходит за пределы торцевой поверхности 5 плакирующего слоя 2 благодаря действию усилия подпора, создаваемому гидроцилиндром 8.

В общем случае усилие подпора P_n не должно превышать осевую составляющую равнодействующей силы прокатки в валках P_x и в то же время не вызывать деформацию осадки пакета в момент его задачи в прокатную клетку и слоистой металлической заготовки (проката) в условиях ее деформирования прокаткой. Пределы значений усилия подпора $(0,5–0,9)P_x$ учитывают различные комбинации слоистых металлических заготовок по механическим свойствам их составляющих и технологическим режимам пластического деформирования.

После окончания процесса деформирования штоки гидроцилиндров 7 и 8 возвращают в исходное положение, готовое изделие удаляют из зоны прокатной клетки 9 стана.

Для проведения экспериментальных исследований формообразования слоистых металлических заготовок использовали модернизированный трехвалковый стан поперечно-винтовой прокатки (рис. 3).

Стан состоит из станины, клетки прокатной, основания, системы охлаждения инструмента, си-

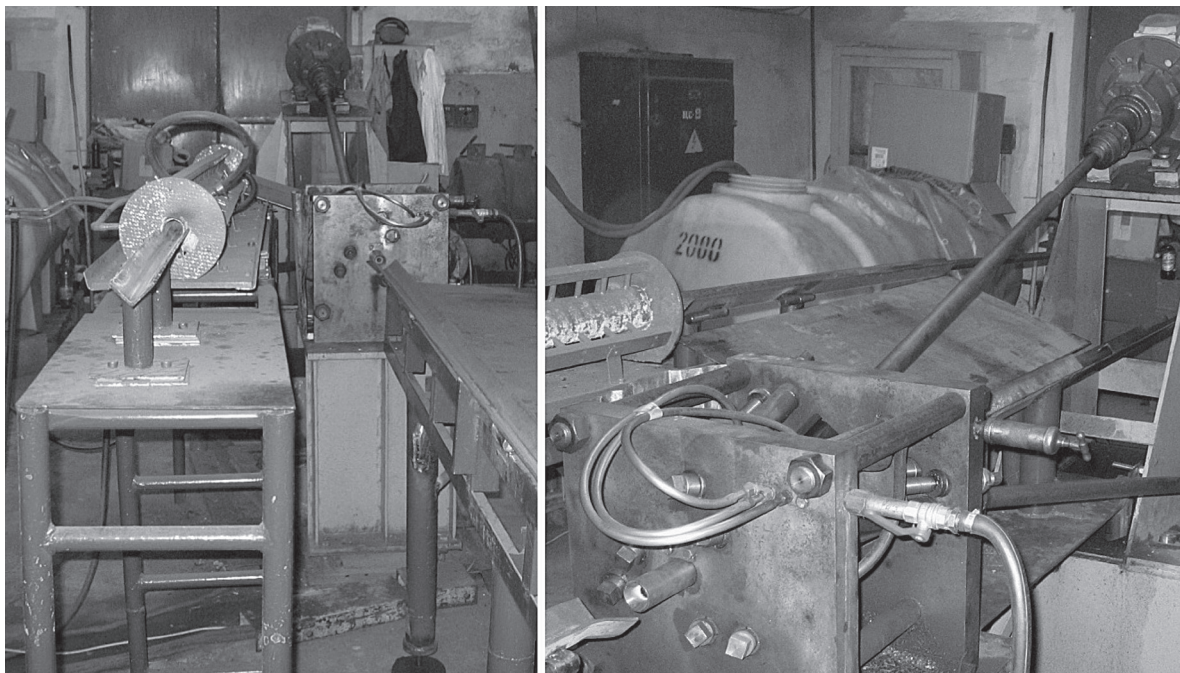


Рис. 3. Трехвалковый стан поперечно-винтовой прокатки

стемы смазки, привода, лотка загрузочного. Для нагрева заготовок стан укомплектован установкой индукционного нагрева УИН 007-100/Р с регулируемым выходом номинальной мощностью 100 кВт, с напряжением питания 380 В, 50 Гц и частотой преобразования от 8 до 16 кГц с воздушным охлаждением преобразователя и водяным индуктора [3].

Инструмент трехвалкового стана – валки прокатные из стали 4Х5МФС, с временным сопротивлением после термообработки $\sigma_B \approx 2000$ МПа, твердостью 50–54 HRC. Валки (рис. 4, таблица) имеют рабочую катающую поверхность, опорные шейки диаметром 24 и 30 мм и хвостовик для привода.

Калибровка валков трехвалкового стана поперечно-винтовой прокатки

Номер	Участок выхода		Деформирующий участок		
	L, мм	α , град	ϕ_1 , град	ϕ_2 , град	ϕ_3 , град
3	30	0	13	14	15
5	30	0	10	12	14
9	45	1	6°30'	9	0
10	40	0	7°30'	8°30'	10°30'
11	45	2	5°30'	8	0

Для проведения экспериментальных исследований формообразования слоистых металлических заготовок были подготовлены два варианта пакетов.

Первый вариант пакета: плакирующий слой – трубная заготовка из стали 03Х17Н14М3 с наружным диаметром 22 мм, толщиной стенки 2 мм (внутренний диаметр $18^{+0,21}$ мм) и длиной 180 мм; основ-

ной слой из стали 45 диаметром $18^{(+0,015/+0,002)}$ мм, длиной 180 мм.

Второй вариант пакета отличался от первого длиной основного слоя – 63 мм. Нагрев пакетов составляющих слоистой металлической заготовки в установке индукционного нагрева УИН 007-100/Р до температуры 950–1000 °С. Прокатку пакетов на трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки производили со степенью деформации 20–60%.

Прокатка пакета, выполненного по первому варианту без подпора переднего торца пакета, была осуществлена со значительными потерями металла основного слоя. Различие пластических свойств составляющих биметалла явилось причиной неравномерного распределения деформаций в слоях, в большей степени деформировался основной слой металла, обладающий меньшим сопротивлением деформации. Плакирующий трубный слой с исходного состояния (диаметр 22 мм, толщина стенки 2 мм и длина 180 мм) деформирован про-

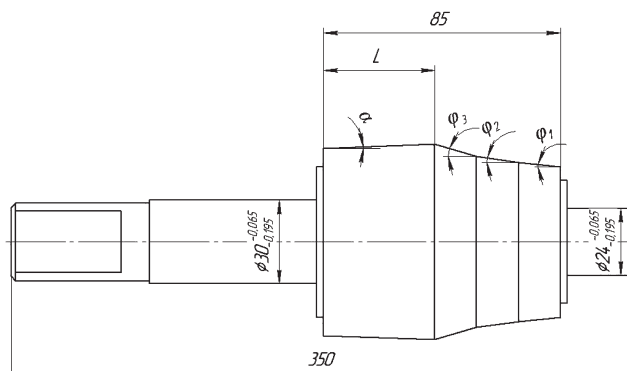
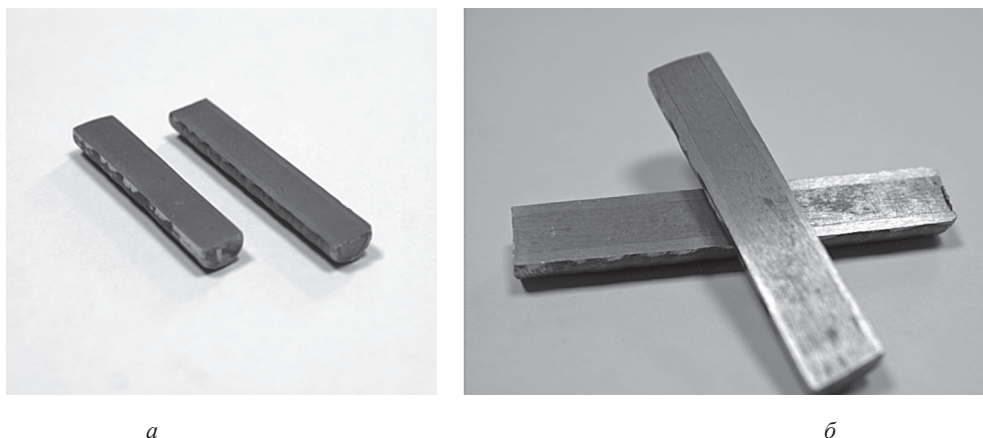


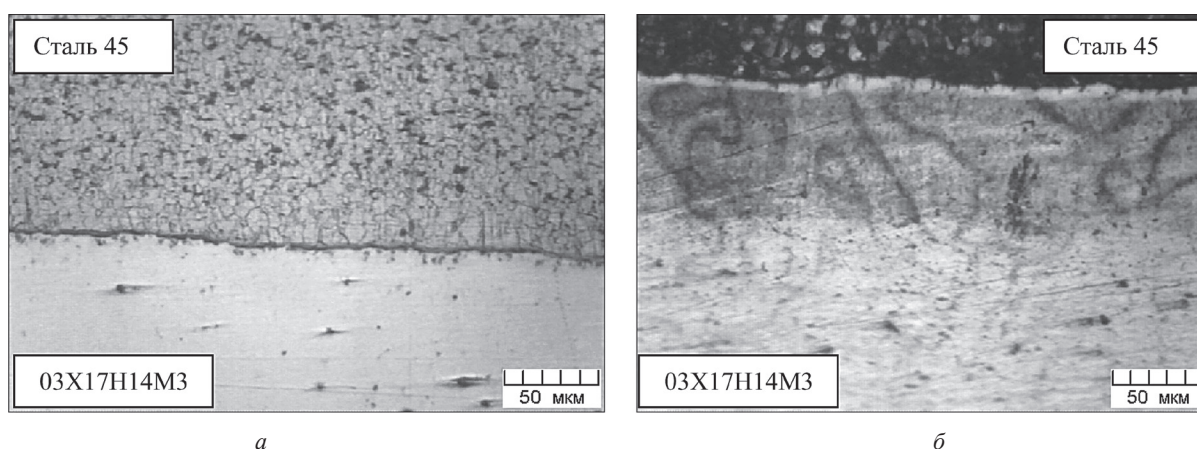
Рис. 4. Валок прокатный стана поперечно-винтовой прокатки



a

б

Рис. 5. Образцы слоистых металлических заготовок, полученные поперечно-винтовой прокаткой на трехвалковом стане: *a*, *б* – продольные шлифы слоистых металлических заготовок



a

б

Рис. 6. Микроструктура зоны деформационного шва между плакирующим слоем (сталь 03X17H14M3) и основным слоем (сталь 45): *a*, *б* – шлифы с различным временем травления

каткой до диаметра 14 мм и длиной до 250 мм, при этом толщина стенки на отдельных участках увеличилась до 2,5 мм. Соответственно основной слой при совместной прокатке деформировался с диаметра 18 мм до диаметра 9–10 мм, при этом за пределы плакирующего слоя в отход было выдвинуто более 60% металла.

Отмечено, что на концевых участках слоистых металлических заготовок, прокатанных без подпора переднего торца пакета, не происходит схватывания (сварки) составляющих биметалла. Возможной причиной указанного обстоятельства является то, что в случае совместной прокатки твердого плакирующего слоя в виде трубной составляющей и мягкого основного слоя в виде стержня, вставленного в трубную составляющую, в центральной части основного слоя возникают дополнительные растягивающие напряжения, уменьшающие сжимающие напряжения на границе слоев.

Прокатка пакета, выполненного по второму варианту на трехвалковом стане с подпором торцовых поверхностей проката, обеспечила рациональное, практически безотходное, использование ос-

новного слоя биметалла, повышение качества соединения (сварки) слоев металлических заготовок и высокую производительность процесса.

В процессе прокатки опытных образцов коаксиальных слоистых металлических заготовок (рис. 5) был установлен оптимальный режим нагрева пакета составляющих биметалла 950–1000 °С на установке индукционного нагрева УИН 007-100/Р и оптимальный режим деформации 20–60%.

Указанная температура нагрева обеспечила достаточно высокую пластичность пакета материалов в момент начала деформации, стабильность процесса прокатки при минимальном окислении наружной поверхности пакетов, минимальный рост зерна в момент завершения пластической деформации и деформационное соединение (кузнечная сварка) слоев биметалла при заданных режимах пластической деформации.

Анализ микроструктуры (рис. 6) показывает наличие межслойной границы между плакирующим (сталь 03X17H14M3) и основным (сталь 45) слоями, являющейся следствием диффузионных процессов, вызванных воздействием температуры

и многоциклической деформации всестороннего сжатия с накоплением деформаций в зоне сварки составляющих биметалла.

Таким образом, повышение качества соединения (сварки) слоев составляющих биметаллической заготовки по предлагаемой технологии обеспечивается в начальной стадии процесса за счет плотной упаковки слоев (по переходным посадкам) и деформации в условиях всестороннего сжатия (подпор переднего торца пакета) с накоплением деформаций в зоне сварки составляющих биметалла по мере формоизменения геометрических параметров проката. В установившемся процессе прокатки образование прочного соединения обеспечивается пластической деформацией поперечно-винтовой прокаткой со степенями обжатия 20–60% и кинематикой течения металла основного слоя, выдавливаемого в трубной составляющей биметалла в направлении, противоположном направлению прокатки. В процессе выдавливания основного слоя происходит его скольжение по контактной поверхности лакирующего слоя, что способствует разруше-

нию оксидных пленок на поверхности лакирующего слоя и созданию физического контакта и активных центров (локальных участков ювенильных поверхностей) для схватывания металлов. В заключительной стадии формирования коаксиальной слоистой металлической заготовки повышение качества соединения достигается за счет применения заднего подпора прокатываемого пакета, что так же как и в начальной стадии прокатки, обеспечивает условия всестороннего сжатия с накоплением деформаций в зоне сварки составляющих биметалла.

Определены оптимальные режимы горячей поперечно-винтовой прокатки при изготовлении коаксиальных слоистых металлических заготовок с лакирующим слоем из низкоуглеродистой стали 03X17H14M3 и основным слоем из углеродистой стали 45. Температура нагрева 950–1000 °С, степень обжатия за проход 20–60%, калибровка деформирующих участков рабочих валков под углом наклона 5°30' на длине 25 мм и углом наклона 8° на длине 15 мм. Калибровка выходного участка валков с углом наклона 1–2°.

Литература

1. Трехвалковый стан поперечно-винтовой прокатки: Пат. на полезную модель № 7445. Респ. Беларусь: МПК В 21Н 1/00 / В. В. Клубович, В. А. Клушин, В. И. Марусич, В. А. Томило, Е. В. Хрущев. Оpubл. 30.08.2011.
2. Способ изготовления биметаллических изделий: Пат. 2238180RU: МПК В 23К 20/04 / В. П. Востриков, К. И. Грамотнев, А. В. Садовский. Оpubл. 20.10.2004.
3. К л у б о в и ч В. В., Т о м и л о В. А., М а р у с и ч В. И. Прокатка трубных заготовок в трехвалковом стане // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: IV Междунар. науч.-техн. конф. (Мн., 19–21 октября 2009 г.). Мн.: ФТИ НАН Беларуси, 2009.