

УДК 621.721.01

Ершов С. В.
Мельник С. Н.
Гаврилин С. Ю.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ ФАСОННОЙ ПОЛОСЫ В ШПУНТОВОМ ЧЕРНОВОМ КАЛИБРЕ

Шпунтовые сваи широко применяются в строительстве и производятся во всех развитых странах мира. Профили шпунтовых свай имеют различную форму поперечного сечения (рис. 1). В зависимости от режима работы в ходе эксплуатации применяют тот или иной вид шпунтовых свай. Шпунтовые сваи П-образной формы (тип «Ларсен») предназначены для преграждения потока воды путем забивания шпунтового полотна в грунт на большую глубину. Шпунтовые сваи работают как консольные балки, нагруженные рассредоточенными силами. Основную нагрузку воспринимает полотно профиля. Суммарное воздействие сил создаёт изгибающий момент, под действием которого сваи могут деформироваться. Это приводит к разъединению свай в замковых элементах. Поэтому при производстве шпунтов особое внимание уделяют выполнению замковых элементов.

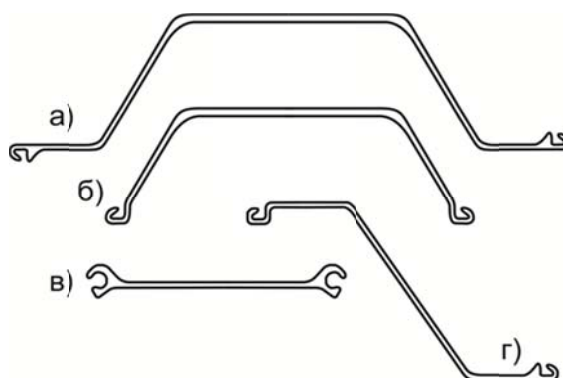


Рис. 1. Виды шпунтовых свай:

а – шляповидный (Hat-type sheet pile); б – П-образный (U-sheet pile); в – плоский (Straight sheet pile); г – Z-образный (Z-sheet pile)

Прокатка шпунтового профиля осуществляется на крупносортовых, рельсобалочных и универсально-балочных станах. Особенностью прокатки данного профиля является то, что формирование замковых элементов начинается с черновых проходов [1].

При прокатке шпунтовых свай всегда присутствует значительная неравномерность деформации по ширине полосы. Для производства фасонного профиля шпунтовой сваи типа «Ларсена» большое значение имеет форма и размеры исходной заготовки. В работе [2] была определена оптимальная форма заготовки, а также исследовано деформированное состояние металла при прокатке в разрезном шпунтовом калибре. В работах [3–4] рассмотрено исследование влияния обжатия и отношение площади стенки к площади замка на коэффициенты формоизменения профиля в первых по ходу прокатки калибрах, где происходит первоначальное формирования замков.

Из анализа литературы видно, что работы по исследованию деформированного состояния при прокатке шпунтового профиля в основном несут экспериментальный характер. Получены регрессионные зависимости течения металла, дана оценка влияния независимых факторов на коэффициенты формоизменения, рассмотрено влияние защемления на формоизменение металла при прокатке в первых формирующих шпунтовых калибрах.

Вместе с этим представляет интерес объяснение физики процесса и качественной картины течения металла.

Существует ряд работ, в которых описан экспериментальный метод исследования формоизменения металла [5, 6] – метод координатной сетки. Данный метод широко применяется в исследовании формоизменения в случаях прокатки сложных профилей. Для исследования формоизменения металла методом сеток в лабораторных условиях, как правило, в качестве материала заготовок выбирают свинец.

Целью работы является исследование деформированного состояния металла в очаге деформации при прокатке фасонной полосы в первом шпунтовом формирующем калибре с получением полей перемещений для анализа течения металла.

Для сопоставления результатов исследований прокатки фасонной полосы из стали и свинца был выбран проводимый ранее эксперимент, где в качестве материала образца использовалась сталь. Результаты этих исследований описаны в работе [3].

При проведении эксперимента был отлит в изложнице свинцовый образец. Данный образец был разрезан пополам и на одну из половин в поперечной плоскости. Была нанесена координатная сетка с размером ячейки 2×2 мм. Затем обе половинки были спаяны с помощью сплава Вуда. Полученный образец прокатывался в шпунтовом черновом калибре по схеме деформации, соответствующей рисунку 2. Прокатку проводили на обезжиренных валках с абсолютным обжатием по стенке $9,4$ мм. До и после прокатки было выполнено измерение координатной сетки, а также геометрических размеров (см. табл. 1) поперечного сечения полосы. Замер координат узлов сетки проводили, принимая за начало координат точку $O(0;0)$, которая совпадает с геометрическим центром поперечного сечения фасонной полосы. Узлы координатной сетки обозначали двумя индексами: i – строка (направление Ox), j – столбец (направление Oy).

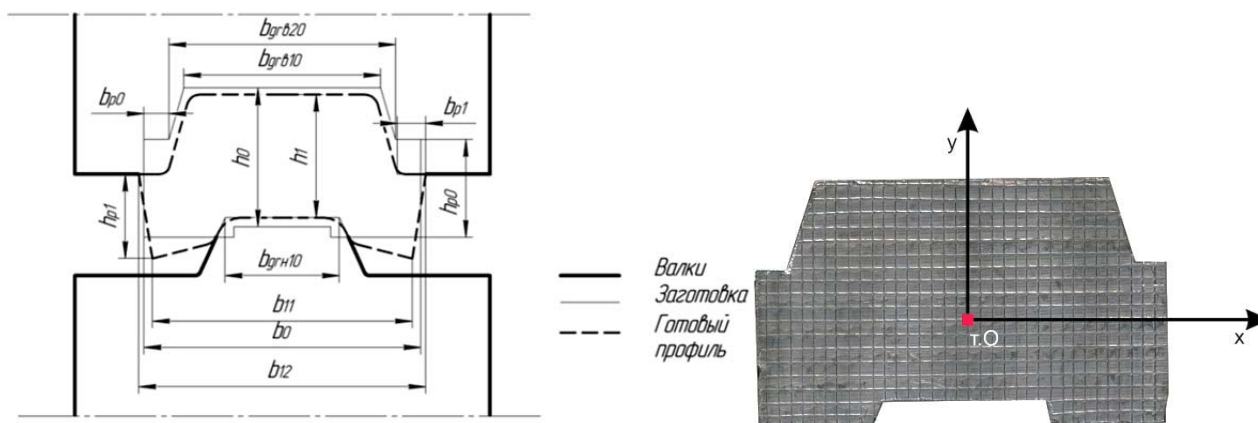


Рис. 2. Схема деформации и заготовка с нанесенной сеткой

Таблица 1

Геометрические размеры поперечного сечения полосы до и после прокатки

Тип материала	Размеры полосы									
	До прокатки					После прокатки				
	h_0 , мм	b_{gr10} , мм	h_{p0} , мм	b_{p0} , мм	b_0 , мм	h_1 , мм	h_{p1} , мм	b_{p1} , мм	b_{11} , мм	b_{12} , мм
сталь 3кп	39,7	28,2	29	4,5	75,5	30,9	23,7	7,3	75,1	83,1
свинец	39,6	30	29	4,8	75,5	29,2	22,1	6,2	68,2	79,8

После измерения координат узлов сетки рассчитывали абсолютные перемещения узлов сетки:

$$u_x = x_1 - x_0; \quad (1)$$

$$u_y = y_1 - y_0, \quad (2)$$

где x_0 и y_0 – координаты узлов сетки до деформации;

x_1 и y_1 – координаты узлов сетки после деформации.

Рассчитанные значения перемещения точек были использованы для определения поля перемещения в рассматриваемом очаге деформации.

На рис. 3 показано поле перемещений в векторном виде. Величина стрелок пропорциональна величине перемещений.

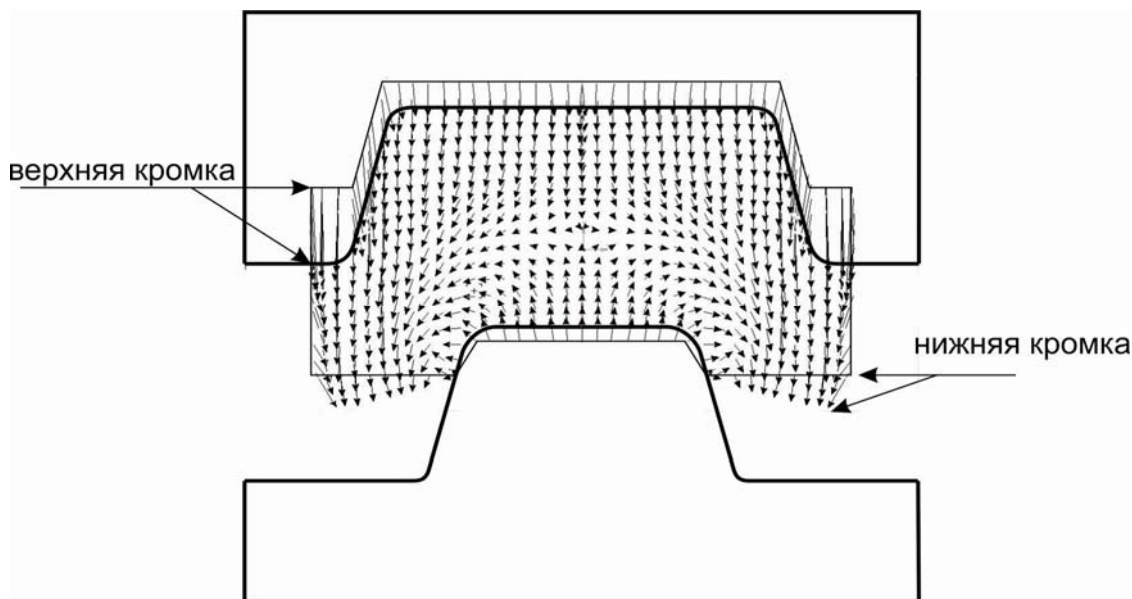


Рис. 3. Поле перемещения для прокатки фасонной полосы в первом формирующем шпунтовом калибре

Из рис. 3 видно, что большую часть объема металла смещает верхний валок. При этом максимальное вертикальное перемещение имеет объем металла от верхней и нижней кромок замкового элемента. Это объясняется в первую очередь тем, что верхний валок имеет большую контактную площадь с полосой по сравнению с нижним валком. Во вторых, касание верхнего валка по верхней кромке замкового элемента происходит быстрее, чем по остальной контактной поверхности из-за разности величины диаметров. Из более обжимаемой средней части профиля металл перетекает в замковые элементы. Обжатие полосы нижним валком определяется верхней горизонталью гребня и верхней частью его боковых граней. Смещаемый гребнем объем металла в большей степени течет вертикально к центру полосы, и в меньшей степени идет в замковые элементы. Вертикальное течение от гребня объясняется наличием широкой горизонтальной вершины, которая направляет металл в продольном направлении полосы. Горизонтальное течение от гребня (к замкам) затормаживается вертикальными потоками металла от верхнего валка. Это приводит к повороту боковой грани замкового элемента.

Изначально плоская боковая поверхности замкового элемента после прокатки принимает форму двойной бочки. Это вызвано тем, что металл, смещенный в области верхней кромки замкового элемента стремится к нижней кромке, но встречается с боковым потоком металла от нижнего гребня и потоком металла из центральной части полосы. Это приводит к локальному торможению вертикального перемещения в верхней части замка и формированию двойной бочки. При этом нижняя часть замкового элемента – нижняя кромка, поворачивается к гребню.

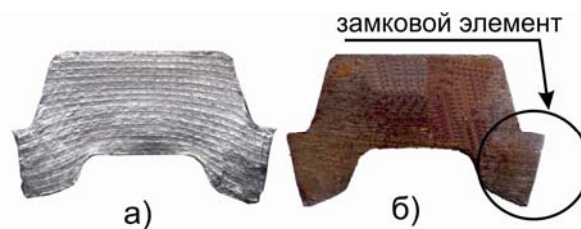


Рис. 4. Сопоставление геометрии свинцовой (а) и стальной полосы (б) после прокатки

Из сопоставления формы и размеров свинцовой и стальной полос после прокатки следует, что геометрия поперечного сечения образцов схожа. Однако следует отметить, что на свинцовом образце более выражен наплыв в зоне верхней кромки замкового элемента и двойная бочка, нежели на образце из стали. Данное явление повлияло на угол наклона боковой грани замкового элемента. Разница в углах составляет 3° .

ВЫВОДЫ

В ходе моделирования прокатки фасонной полосы в первом формирующем шпунтовом калибре были сопоставлены результаты исследования деформированного состояния. Сопоставление показало идентичность характера течения металла как в свинцовом, так и в стальном образцах. Построенное поле перемещения позволяет наглядно увидеть перемещение металла и объяснить течение металла при прокатке фасонной полосы в первом формирующем шпунтовом калибре.

Необходимо теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния для установления закономерностей течения металла от параметров очага деформации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ производства крупных фасонных профилей с вертикальной осью симметрии и отогнутыми краями / С. В. Ершов, С. Н. Мельник, В. В. Мосьпан, С. Ю. Гаврилин // *Сб. науч. тр. – Днепродзержинск : ДГТУ, 2012. – № 2 (17). – С 75–80.*
2. Мельник С. Н. Развитие метода расчета калибровки валков для прокатки крупных шпунтовых профилей: диссертация на соискание ученой степени кандидат технических наук : 05.03.05 / Сергей Николаевич Мельник. – Днепродзержинск, 2007. – 266 с.
3. Особенности формирования замковых элементов профиля шпунтовой формы при прокатке в первом проходе первого формирующего калибра / С. В. Ершов, С. Н. Мельник, В. В. Мосьпан, С. Ю. Гаврилин // *Металлургия и горнорудная промышленность. – 2011. – № 5. – С. 36–39.*
4. Ершов С.В. Особенности формоизменения металла при прокатке шпунтовой сваи в формирующем калибре с двусторонним обжатием замковых элементов / С. В. Ершов, С. Н. Мельник, В. В. Мосьпан, С. Ю. Гаврилин // *Обработка металлов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С. 182–187.*
5. Тарновский И. Я. Элементы теории прокатки сложных профилей / И. Я. Тарновский, А. Н. Скороходов, Б. М. Илюкович. – М. : *Металлургия*, 1972. – 352 с.
6. Тарновский И. Я. Деформации и усилия при прокатке полосы в крестообразном калибре / И. Я. Тарновский, Б. М. Илюкович, А. Н. Скороходов // *Изв. вузов. Черная металлургия. – 1963. – № 4. – С. 68.*

Ершов С. В. – д-р техн. наук, проф. ДГТУ;

Мельник С. Н. – канд. техн. наук, гл. калибровщик ПАО «ДМК»;

Гаврилин С. Ю. – аспирант ДГТУ.

ДГТУ – Днепродзержинский государственный технический университет, г. Днепродзержинск.

ПАО «ДМК» – Публичное акционерное общество «Днепровский металлургический комбинат им. Ф. Э. Дзержинского», г. Днепродзержинск.

E-mail: sgavrilyn@gmail.com

Статья поступила в редакцию 16.10.2012 г.