

РОЗДІЛ «ПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО»

УДК 621.771.01

МАКСИМЕНКО О.П., д.т.н., професор
ЕРШОВ С. В., д.т.н., професор
РОМАНЮК Р.Я., аспірант

Днепродзержинский государственный технический университет

РАВНОВЕСИЕ МЕТАЛЛА В ВАЛКАХ С УЧЁТОМ СРЕДНЕЙ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ

Введение. В работах [1-3] разработан новый метод определения продольной устойчивости процесса прокатки, заключающийся в расчёте средней результирующей горизонтальных контактных сил в очаге деформации. По величине и направлению этой силы можно дать оценку того, в каких условиях протекает процесс и возможен ли он при определённых параметрах.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является изучение закономерностей влияния внутреннего напряжённого состояния металла на продольную устойчивость прокатки, на кинематические параметры, а также на уточнение роли угла нейтрального сечения как регулятора равновесия сил в очаге деформации.

Ввиду того, что исходными данными при определении средней результирующей горизонтальных сил являются эпюры контактных напряжений, обратимся к результатам теоретического исследования по распределению давления $\frac{P_x}{2k}$ (k – сопротивление

чистому сдвигу пластически деформируемого металла) и удельных сил трения $\frac{t_x}{2k}$, приведённые в [4]. Заметим, что при решении дифференциального уравнения Кармана В.Я.Василёв воспользовался моделью трения, учитывающей как скольжение в очаге деформации, так и кулоновскую связь между контактными напряжениями. При прокатке в условиях, когда $R = 300$ мм, $h_0 = 0,3$ мм, $\alpha_y = 0,017$ рад и $f = 0,044$ (R – радиус валков, h_0 – начальная толщина полосы, α_y – угол захвата в установившемся режиме, f – коэффициент трения), результаты расчёта контактных напряжений имеют вид, показанный на рис.1, а, б.

Результаты работы. На графике рис.1, в приведено распределение контактных горизонтальных напряжений $\frac{q_x}{2k}$ в очаге деформации, рассчитанных согласно [3]. Кривая изменения текущей горизонтальной контактной силы

$$Q_x^* = \frac{Q_x}{2kRb} = \int_{\varphi}^{\alpha} \frac{q_x}{2k} d\varphi, \quad (1)$$

полученная в соответствии с формулой [3, формула (2)], приведена на рис.1, г.

В текущем сечении, например при $\varphi = \varphi_1 = 0,12$ рад, значение силы Q_x^* равно интегральной сумме горизонтальных сил на участке от $\varphi = \alpha$ до $\varphi = \varphi_1$ (рис.2), что соответствует площади под кривой $\frac{q_x}{2k}$ на этом участке (рис.1, в).

Как видно, сила Q_x^* на границах контактной зоны равна нулю (рис.1, з). Отсюда следует, что скорости v_0 и v_1 – скорости полосы на входе в валки и выходе из них соответственно – во времени остаются неизменными, т.е. процесс является стационарным.

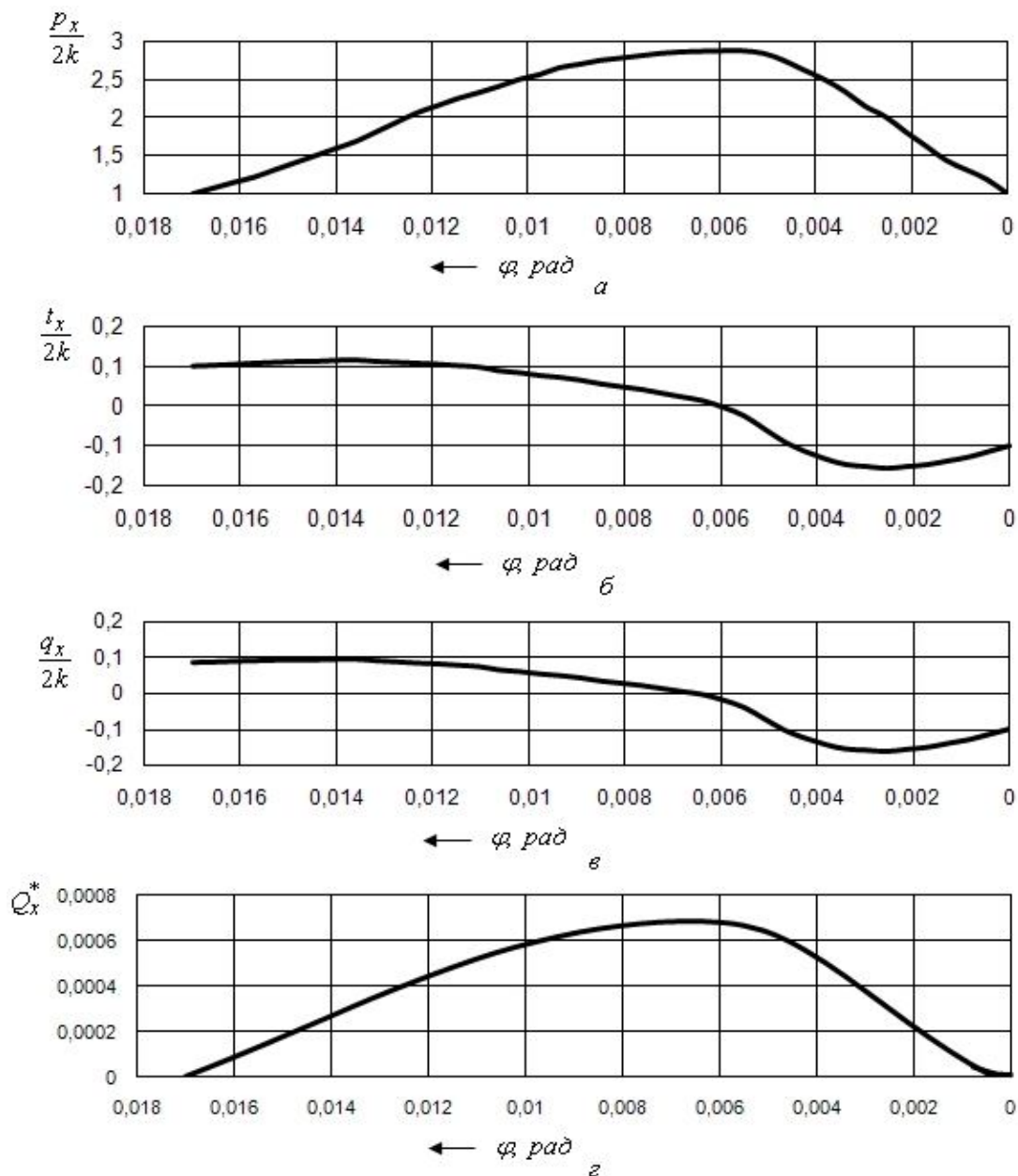


Рисунок 1 – Эпюры распределения контактных напряжений, продольного внешнего напряжения и текущей результирующей горизонтальных внешних сил

Заметим, что по длине зоны контакта полосы с валками текущая сила Q_x^* изменяется по определённому закону, следовательно, всегда можно получить среднее её значение Q_{cp}^* (рис.1, з).

Средняя результирующая горизонтальных контактных сил Q_{cp}^* , как показано в

в работах [1-3], является индикатором продольной устойчивости процесса прокатки. При положительном значении этой силы (направление соответствует движению полосы) процесс протекает устойчиво, при нулевом её значении прокатка ведётся в предельных условиях, если вектор силы Q_{cp}^* направлен противоположно движению металла – процесс невозможен.

При установившемся режиме деформации среднюю результирующую горизонтальных контактных сил можно выделить и при других моделях трения [1,2], действующих в контакте полосы с валками, а также обрабатывая экспериментальные эпюры контактных напряжений [3].

Подчеркнём, что эта сила получена в условиях стационарного процесса. Казалось бы налицо очевидное противоречие, т.к. не соблюдается равновесие контактных сил. Однако обратимся к вычислению продольных нормальных напряжений $\frac{\sigma_x}{2k}$. С учётом уравнения пластичности нетрудно рассчитать эти напряжения (рис.2, а), найти текущее значение горизонтальных внутренних сил в каждом сечении очага деформации (рис.2, б):

$$Q_{x\text{вн}} = \sigma_x h_x b = (p_x - 2k)(h_1 + R\varphi^2) b = 2kRb \left(\frac{p_x}{2k} - 1 \right) \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right);$$

или в безразмерной форме:

$$Q_{x\text{вн}}^* = \frac{Q_{x\text{вн}}}{2kRb} = \left(\frac{p_x}{2k} - 1 \right) \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right), \quad (2)$$

где b – ширина полосы,

и получить среднюю её величину $Q_{x\text{вн}}^*$.

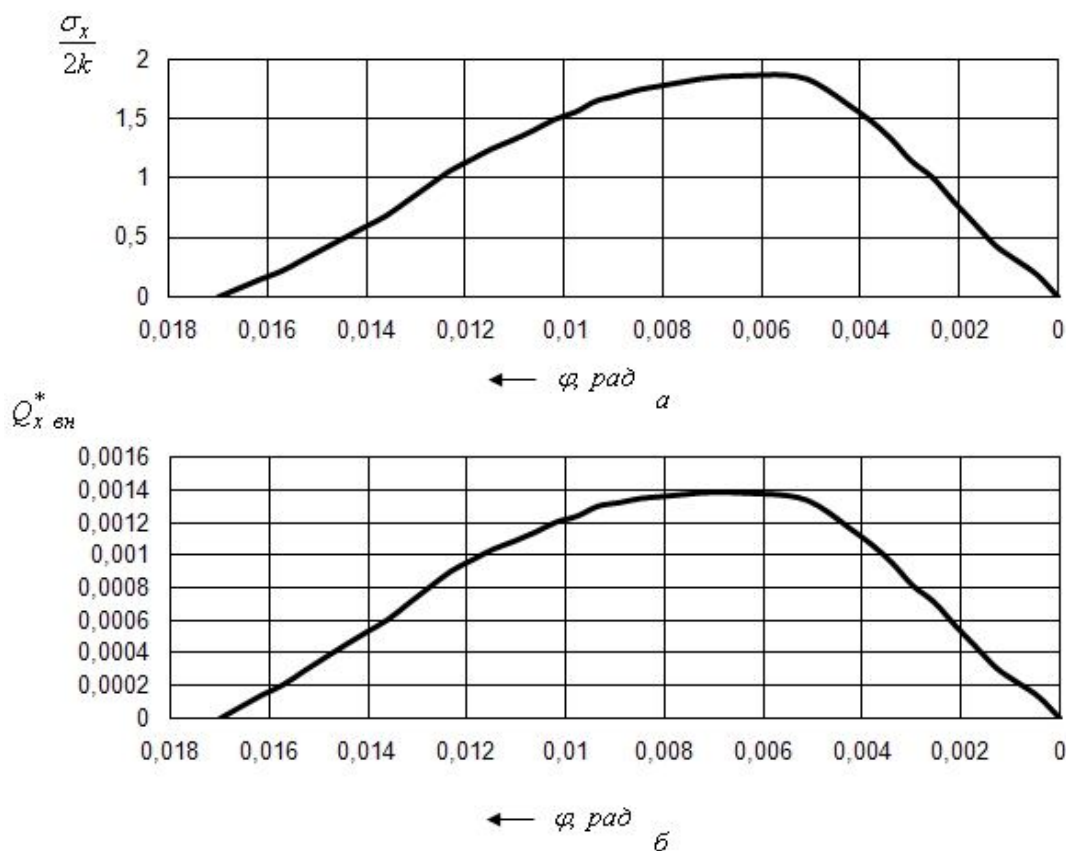


Рисунок 2 – Эпюры распределения внутреннего напряжения и текущей результирующей горизонтальных внутренних сил

Сравнивая текущие значения результирующих горизонтальных контактных и внутренних сил, приходим к равенству:

$$2Q_x^* = Q_{x\text{вн}}^*$$

или

$$2Q_{cp}^* = Q_{cp\text{вн}}^* \quad (3)$$

Следует заметить, что под воздействием результирующей силы $Q_{cp\text{вн}}^*$ на определённой части очага деформации возникает “попятное” движение металла, на что обращал внимание ещё В.Е.Грум-Гржимайло [5]. Если нанести вертикальные линии на поверхность полосы (рис.3, линия 1), то при входе в очаг деформации они изгибаются в направлении, противоположном движению металла (рис.3, кривая 2). Аналогичные опыты с вкрученными в подкат винтами проводил Н.Метц [6] и получил те же результаты. На основании изложенного выше можно заключить, что сила $Q_{cp\text{вн}}^*$ направлена противоположно движению полосы.

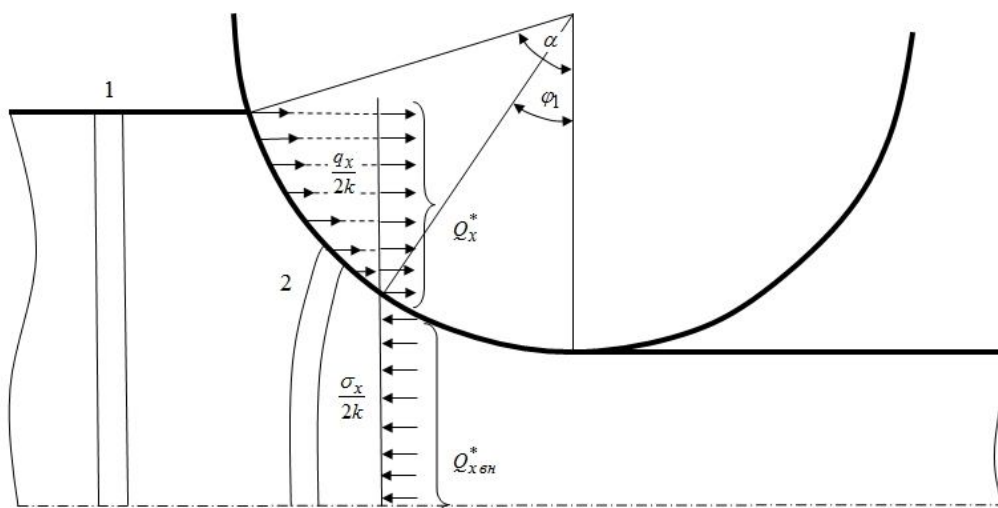


Рисунок 3 – Силы, действующие в очаге деформации при установившемся процессе прокатки

Анализируя выражение (3), необходимо подчеркнуть, что при данном значении угла нейтрального сечения γ втягивающие силы затрачиваются не только на преодоление выталкивающих, но и на уравнивание внутренних сил. В этом можно убедиться, если сравнить значения γ , полученные непосредственно из решения дифференциального уравнения равновесия Т.Кармана по эпюрам распределения удельных сил трения и по формуле Павлова-Экелунда при одинаковых условиях прокатки. Результаты вычислений приведены в табл.1.

Анализ полученных данных показывает, что угол нейтрального сечения, определяемый из эпюр всегда меньше, чем по указанной формуле. Это связано с тем, что при решении уравнения Т.Кармана в равновесии участвуют и внутренние силы деформируемого металла, а при расчёте по формуле Павлова-Экелунда только контактные.

Таблица 1 – Сравнение значений угла нейтрального сечения

№ п/п	Толщина полосы, мм		Угол захвата, α , рад	Радиус валков, R , мм	$\frac{l_d}{h_{cp}}$	Коэф. трения, f	Угол γ , рад		Относ. разница, %
	h_0	h_1					по эпюрам	по формуле Павлова	
1	0,3	0,21	0,017	300	20	0,044	0,006	0,0069	13,4
2	0,6	0,42	0,024	300	14	0,056	0,0072	0,0094	23,4
3	9	6,6	0,2	60	1,54	0,15	0,033	0,037	10,8
4	9	6,6	0,2	60	1,54	0,2	0,05	0,055	9,1
5	5	4,45	0,129	93	2,54	0,152	0,026	0,037	29,7
6	1,0	0,64	0,06	100	7,3	0,06	0,0078	0,0087	11,5
7	2,4	0,5	0,141	100	9,7	0,2	0,04	0,0456	12,3

Важно отметить, что угол γ изменяется таким образом, чтобы обеспечить равновесие сил (3). Если оно нарушилось, например, контактные силы $2Q_{cp}^*$ стали больше $Q_{cp\text{ вн}}^*$, то возникает избыточная сила в направлении прокатки. Она приведёт к ускорению и увеличению скорости полосы, что вызовет рост угла γ и, в конечном счёте, к восстановлению равенства (3).

Следовательно, регулирующая роль угла нейтрального сечения заключается в поддержании равновесия между результирующими горизонтальными силами на контакте и внутри деформируемого металла. Других, горизонтально направленных сил в очаге деформации не действует. Кроме того, согласно (3) внутренние силы, оказывая влияние на значение γ , влияют и на кинематические прокатки.

Таким образом, как показало исследование, при устойчивом процессе прокатки на контакте металла с валками всегда действует результирующая сила Q_{cp}^* в направлении движения полосы. Тогда принятое в теории положение о том, что, действующие на контакте силы взаимно уравновешены, является спорным. Равновесие в очаге деформации действительно соблюдается, но с учётом внутренних сил. Отсюда следует, что при установившемся процессе общая равнодействующая контактных сил наклонена в сторону движения полосы. Только в предельном случае прокатки, когда $Q_{cp}^* = 0$, она принимает вертикальное направление. Очевидно, что с учётом силы Q_{cp}^* плечо момента будет отличаться от величины, равной $\psi \cdot l_d$ (ψ – коэффициент плеча момента; l_d – геометрическая длина очага деформации), что будет являться объектом дальнейшего исследования.

Выводы. Показано, что равновесие в очаге деформации имеет место только с учётом внутренних сил пластически деформируемого металла. Втягивающие металл в валки силы затрачиваются не только на преодоление выталкивающих, но и на уравновешивание внутренних сил. В связи с этим определённое влияние на угол нейтрального сечения оказывает напряжённое состояние прокатываемого металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максименко О.П. Влияние режима трения на устойчивость прокатки при однозонном скольжении металла в валках / О.П.Максименко, Р.Я.Романюк, А.А.Никулин // Изв. вуз. Чёрная металлургия. – 2008. – № 6. – С.26-29.

2. Максименко О.П. Теоретический анализ захватывающей способности валков в установившемся режиме прокатки. / О.П.Максименко, А.А.Никулин, Р.Я.Романюк // Изв. вуз. Чёрная металлургия. – 2008. – №10. – С.32-34.
3. Максименко О.П. Исследование средней результирующей горизонтальных сил в очаге деформации при прокатке / О.П.Максименко, Р.Я.Романюк // Изв. вуз. Чёрная металлургия. – 2009. – № 10. – С.22-24.
4. Василев Я.Д. Развитие теории контактных напряжений при прокатке / Я.Д.Василев // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Том 5. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: Системні технології. – 2002. – С.86-96.
5. Грум-Гржимайло В.Е. Прокатка и калибровка / Грум-Гржимайло В.Е. – Л.: “Кубуч”, 1933. – 127с.
6. Метц Н. Опытное исследование горячей прокатки железа / Н.Метц // Вопросы металлургии. – 1926. – №1-2. – С.12-17.

УДК 621.771.01

ЕРШОВ С.В., д.т.н., профессор
МЕЛЬНИК С.Н.*, к.т.н., гл. калибровщик
МОСЬПАН В.В.*, гл. прокатчик
ГАВРИЛИН С.Ю., аспирант

Днепродзержинский государственный технический университет
*ОАО Днепровский металлургический комбинат им. Дзержинского

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНЫХ ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ КОРЫТНОГО ТИПА С ОТОГНУТЫМИ КРАЯМИ

Введение. Локомотивом потребления крупных фасонных профилей является строительная и машиностроительная отрасли. С ростом развития данных отраслей растет и требование к техническим характеристикам фасонных профилей. Также требуется снижение металлоемкости профиля, снижение энергетических и материальных затрат на освоение новых профилей.

Производство фасонных профилей корытного типа с вертикальной осью симметрии и отогнутыми краями [1] осуществляется на крупносортовых, рельсобалочных и универсально-балочных станах. К крупным профилям данной группы следует отнести: шпунтовая свая корытного типа «Ларсен», металлическая шпала и сортовой металл для крепления горных выработок СВП, а также близкий по форме к данной группе швеллер стальной горячекатаный.

К конструкции приведенного ряда профилей предъявляют особые требования, а именно: повышенный момент сопротивления, возможность работы в условиях на изгиб.

Отличие от профилей СВП профиля металлической шпалы и шпунтовой сваи типа «Ларсен» заключается в отсутствии замковых (кулачковых) элементов. Сходство заключается в выборе общих способов прокатки – корытный, балочный.

Разработкой методов расчета калибровки валков швеллерной стали занимались многие исследователи: А.Н.Скорыходов, И.Я.Тарновский, Б.М.Илюкович, Б.В.Меркин, М.М.Штернов, Б.П.Бахтинов, Д.И.Старченко, Б.Б.Диомидов, Н.В.Литовченко, А.П.Чекмарев, М.М.Геллерман, Г.В.Бергеман, А.А.Чичкан.

В работах М.М.Штернова, Б.П.Бахтинова основой для разработки методов расчета калибровки швеллера является принятие равенства коэффициентов деформации стенки и фланцев $k_c = k_\phi = k$. [2]. Авторы дают рекомендации для выбора общего коэффициента деформации:

$$\kappa = (B_p / 2b_1)(H_p / H_1), \quad (1)$$

где B_p и H_p – ширина и высота разрезного калибра;

b_1 – толщина основания фланца готового профиля;

H_1 – высота чистового калибра.

Для определения остальных коэффициентов деформации рекомендуют использовать те же принципы и формулы, что и при расчете калибровок для двутавровых балок.

Метод развернутой калибровки швеллера впервые был разработан Д.И.Старченко. Стоит отметить, что усовершенствование методики расчета развернутой калибровки валков было сделано Б.М.Илюковичем, И.М.Кочетовым и другими специалистами [2].

Однако в литературе имеются способы прокатки (рис.1), которые резко отличаются от указанных выше, например, работа [9], где получение профиля основано на переменном изгибе стенки.

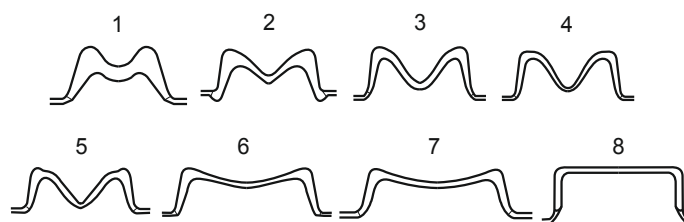


Рисунок 1 – Схема прокатки швеллера С10" на Алчевском меткомбинате «АМК»

При прокатке П-образных профилей в первых формирующих калибрах неравномерная деформация неизбежна и, как правило, большие обжатия происходят до тех пор, пока металл имеет высокую температуру и его сопротивление деформации незначительно. В зависимости от способа калибровки, типа стана и выбранной схемы прокатки крупных фасонных профилей корытного типа применяют разрезные калибры разной формы. В работе [5] авторы указывают на то, что величина угла пересечения внутренних граней фланцев оказывает большое влияние на условия заполнения металла разрезного калибра. С уменьшением данного угла сокращается расход энергии на прокатку, уменьшается вытяжка, ухудшается заполнение фланцев. Применение же острых углов приводит к значительному утолщению фланцев, что может привести к получению складок и затруднению захвата полосы валками. Использование в разрезном калибре притупленного гребня дает возможность увеличить коэффициент вытяжки, сократить общее число фасонных калибров и обеспечить требуемые условия захвата полосы.

Из приведенного выше анализа видно, что многие ученые и специалисты проводили работы по исследованию формоизменения металла в калибрах стандартного швеллерного профиля. Каждый из них внес свой вклад в разработку способов прокатки и методов построения калибровки валков для швеллерной стали.

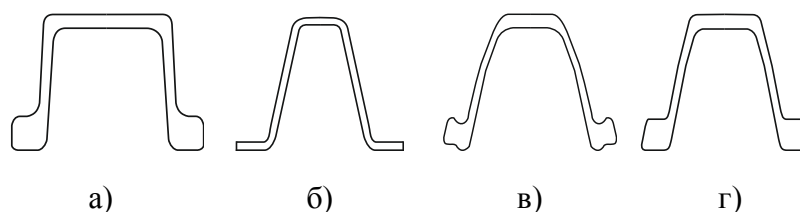
Иная ситуация наблюдается при исследовании формоизменения металла в калибрах крупных фасонных профилей корытного типа с отогнутыми краями. Нет однозначности среди исследователей в выборе схемы деформации в черновых калибрах и отсутствии формализации методов построения формирующих калибров.

Постановка задачи. В связи с изложенным выше требуется выполнить анализ существующего производства крупных фасонных профилей корытного типа с отогнутыми краями, таких как: шпунтовая свая корытного типа «Ларсен», металлическая шпала и профиль СВП для крепления горных выработок.

Результаты работы. Производство крупных профилей корытного типа налажено на меткомбинатах СНГ, таких как: Новокузнецкий, Нижнетагильский, Алчевский, меткомбинат «Азовсталь», Днепровский меткомбинат им. Дзержинского и другие.

Применение профилей для крепления горных выработок имеет отраслевое значение. Из существующих видов профилей (рис.2) для шахтной крепи на сегодняшний день в СНГ широко используется профиль СВП.

Согласно ГОСТ 18662-83 профиль СВП имеет 6 профилеразмеров. Производство данного профиля в Украине осуществляется на трех предприятиях: АМК (Алчевском меткомбинате), Евраз ДМЗ им. Петровского [12] и меткомбинате «Азовсталь», в России – Кузнецком и Нижнетагильском меткомбинатах. На Кузнецком, Нижнетагильском и меткомбинате «Азовсталь» основные принципы разработки калибровки и схем прокатки профиля СВП аналогичны. Метод расчета для построения калибров СВП для перечисленных меткомбинатов подразумевает разбивку профиля на расчетные элементы [3]. В данных схемах прокатки используется специальная заготовка для каждого профилеразмера, два последовательно расположенных разрезных калибра, применение чередования закрытых и полузакрытых калибров. В 8 фасонных калибрах выполняется постепенное уменьшение размеров элементов сечения раската и значительное уменьшение высоты. Отношение размеров исходной заготовки и готового проката составляет от 1,27 до 1,5 (для СВП17, СВП33 соответственно).



а) профиль ШП; б) гнутый экономичный профиль; в) профиль КГВ; г) профиль СВП

Рисунок 2 – Виды профилей для крепления горных выработок, производимых в СНГ

При освоении профиля СВП на АМК изначально за основу взяли калибровку меткомбината «Азовсталь», однако из-за особенности технологического оборудования была изменена схема прокатки. При расширении сортамента был выбран другой подход к схеме прокатки, который заключался в использовании общей заготовки для двух профилеразмеров: СВП14-СВП17 (70 × 190 мм.), СВП19-СВП22 (70×210 мм). Соответственно отношение сторон заготовки составило $H/B = 0,37$ (полосовое начало). Однако предчистовые и чистовые калибры у каждого профилеразмера были свои.

При освоении профилей СВП более крупных размеров (СВП27, СВП33) принципиальная схема [4] прокатки СВП14-СВП22 неприемлема из-за нехватки металла при заполнении фланцев. Была разработана новая схема прокатки, отличие которой заключалось в:

- 1) использовании общей заготовки для четырех профилеразмеров (СВП19-СВП33);
- 2) формировании профиля, которое происходит с совмещением растяжения фланцев, обжатием стенки и фланцев (рис.3).

Методика расчета предложенного способа изложена в [8].

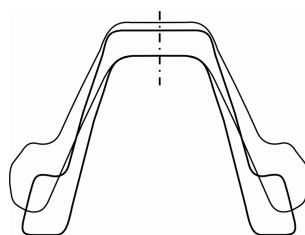


Рисунок 3 – Схема калибра, в котором производят растяжение фланцев [8]

Из рис.4 видно, что для прокатки одного и того же профиля используют разные схемы прокатки черновых калибров. Разность схем для прокатки профиля СВП объясняется только разным технологическим оборудованием станов и разным видением инженеров способа решения задачи по проектированию калибровки валков.

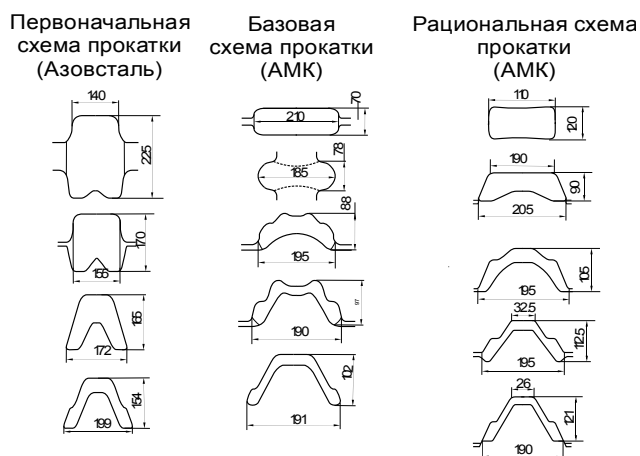


Рисунок 4 – Схемы прокатки профиля СВП в черновых проходах

При анализе производства профиля металлической шпалы следует отметить несколько подходов в выборе схем прокатки. В работе [1] авторы выделяют два подхода к получению профиля металлической шпалы:

- 1) формирование утолщения на концах фланцев начинают с первых проходов;
- 2) придание раскату балочной формы подката с последующим обжатием ложных фланцев. Формирование утолщения на краях фланцев начиная с 5-6 прохода.

Авторами работы [11] было предложено совершенствование прокатки профиля металлической шпалы ПША. Главное отличие заключалось в полосовом начале, при котором сначала деформация полосы ведется на гладкой бочке, а затем в шести фасонных калибрах (рис.5).



Рисунок 5 – Схема прокатки шпального профиля ПШАУ12

Производство шпунтовых свай освоено в условиях рельсобалочного и универсально-балочного станов на двух металлургических комбинатах: ДМКД (Украина) и НТМК (Россия). Сравнение форм профиля типа «Ларсен» отечественных и зарубежных аналогов указаны на рис.6.

Впервые в СНГ калибровка шпунта Ларсена была разработана Харьковским институтом металлов и работниками Керченского завода. Из имеющихся данных [10] видно, что расчет калибровки проводился по элементам: стенка, фланцы, замковые элементы. Шпунт прокатывали в 11 калибрах за 13 пропусков. Фланцы профиля в первых калибрах обжимаются более интенсивно, чем стенка. Формирование замковой части происходит, начиная с первых формирующих калибров, с использованием вынужденного уширения. Окончательное выполнение замка происходит в последнем калибре. Прокатка шпунта происходит с защемлением металла в калибрах. Совершенствование калибровок валков данного профиля продолжается и по сегодняшний день.

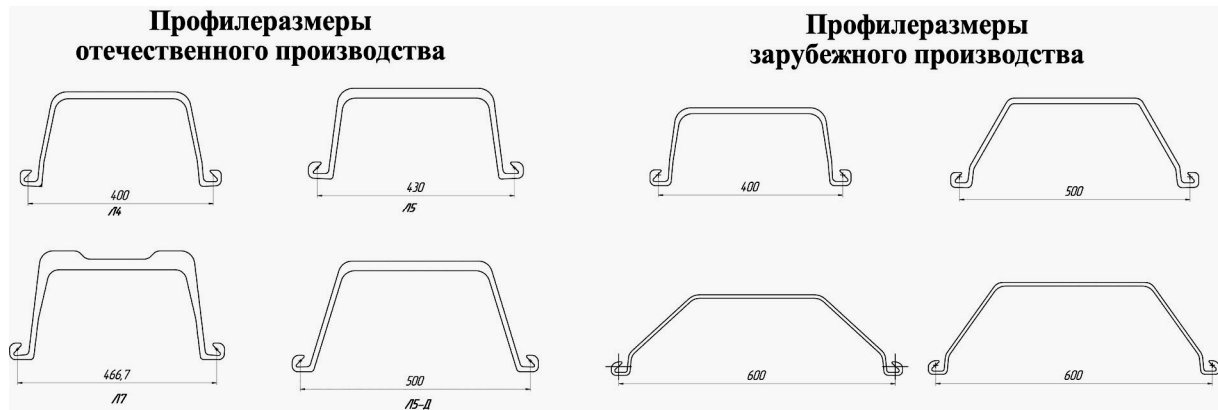


Рисунок 6 – Шпунтовая свая корытного типа отечественного производства и зарубежный аналог

Исследование формоизменения металла при прокатке шпунтовых свай проводили исследователи [6, 7]. Были рассмотрены особенности заполнения металлом сложного разрезного калибра, который применяют для производства шпунтового профиля типа «Ларсен». Анализ опытных данных показал, что применение плоской формы гребня улучшает условия захвата полосы валками. Кроме этого, исследователи отмечают, что применение верхней части нижнего гребня в виде двух режущих кромок при прокатке крупных профилей нецелесообразно. В этих работах даны рекомендации по выбору величины заземления металла в первом формирующем калибре, обеспечивающего симметричное заполнение замковых элементов.

На основании анализа производства крупных фасонных профилей корытного типа с отогнутыми краями была составлена сравнительная таблица черновых калибров (табл. 1).


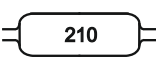
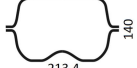
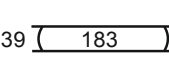
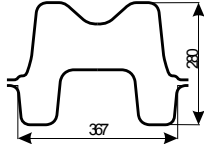
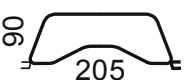
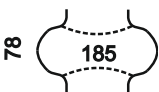

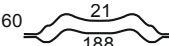
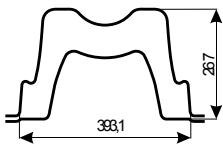
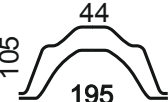
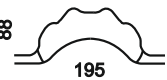

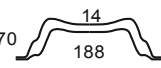
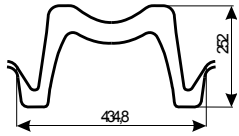
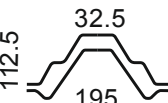


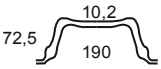
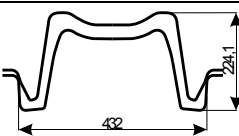
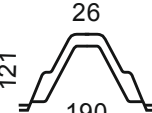


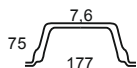
Из табл. 1 видно, что первые черновые калибры всех профилей имеют одну и ту же задачу – равномерная разрезка металла и накопление металла во фланцах.

Выводы. Анализ литературных источников показал, что при производстве крупных корытных профилей с отогнутыми краями используются различные схемы деформаций в первых формирующих калибрах. Недостаточна формализация методов конструирования формирующих калибров. Мало изучено формоизменение в рассматриваемых калибрах. Для разработки новых и усовершенствования существующих технологических процессов необходимо разработать универсальный подход к конструированию формирующих калибров для рассматриваемой группы профилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Илюкович Б.М. Прокатка и калибровка: справочник. Том 5. / Б.М.Илюкович, Н.Е.Нехаев., В.П.Капелюшный. – Днепропетровск: РИА «Днепр-Вал», 2004. – 375с.
2. Смирнов В.К. Калибровка прокатных валков / В.К.Смирнов, В.А.Шилов, Ю.В.Инатович. – М.: Металлургия, 1987. – 368с.
3. Шум Б.М. Калибровка экономичного профиля для крепления горных выработок / Б.М.Шум // Сталь. – 1962. – №3. – С.243-246.
4. Технологические особенности производства специальных взаимозаменяемых профилей / М.Б.Луцкий, И.К.Дорожко, В.А.Луценко и [др.] // Сталь. – 2006. – № 6. – С.81-84.
5. Тарновский И.Я. Элементы теории прокатки сложных профилей / И.Я.Тарновский, А.Н.Скорыходов, Б.М.Илюкович. – М.: Металлургия, 1972. – 347с.

Таблица 1 – Сравнение разрезных, формирующих и подготовительных калибров

Схема прокатки шпунтовой сваи Л4	Рациональная схема прокатки СВП33 (Алчевск)	Базовая схема прокатки СВП22	Схема прокатки СВП33 (ЕВРАЗ-ДМЗ им. Петровского)	Профиль ПШАУ12
365×305 мм	120 	70 		39 
	90 	78 		60 
	105 	88 		70 
	112.5 	97 		72.5 
	121 	102 		75 

- Мельник С.Н. Развитие метода расчета калибровки валков для прокатки крупных шпунтовых профилей: дис. ... кандидата техн. наук: 05.03.05 / Мельник Сергей Николаевич. – Днепродзержинск, 2007. – 266с.
- Левченко Г.В. Исследование формоизминения металла при прокатке шпунтовых свай типа «Ларсен» / Г.В.Левченко, С.В.Ершов, С.Н.Мельник // *Металлургия и горнорудная промышленность*. – 2007. – № 3. – С.48-52.
- Особенности методики расчета калибров П-образных профилей с растяжением боковых стенок / М.Б.Луцкий, А.А.Чичкан, В.А.Луценко, Н.Н.Лигус // *Бюллетень «Черная металлургия»*. – 2007. – № 6. – С.55-59.
- Чичкан А.А. Разработка элементов теории и технологии производства швеллеров с применением в фасонных калибрах переменного изгиба стенки: дис. ... кандидата техн. наук: 05.03.05 / Чичкан Артур Алексеевич. – Алчевск., 2000. – 164с.
- Александров П.А. Калибровка валков и проката шпунтовых свай типа Ларсена / П.А.Александров, С.В.Макаев // *Сталь*. – 1945. – № 1. – С.15-19.
- Совершенствование технологии производства профиля металлических шпал / М.Б.Луцкий, И.К.Дорожко, А.А.Чичкан, В.А.Луценко // *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: тематич. зб. наук. праць*. – Краматорськ: ДДМА. – 2004 – С.201-205.

Днепродзержинский государственный технический университет

РАЦИОНАЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ МЕСДОЗ ДЛЯ СОРТОВЫХ СТАНОВ

Введение. В практике измерения усилий, возникающих в прокатных станах, широко применяют месдозы различного типа. Наиболее распространёнными из них являются месдозы, чувствительные элементы которых работают на сжатие или на изгиб. Обычно чувствительный элемент, работающий на сжатие, выполняют в виде цилиндра, на поверхности которого вдоль образующей наклеивают проволочные или фольговые датчики.

Р.Б.Симс и другие исследователи [1] экспериментально установили, что для сплошного цилиндрического тела с наклеенными на его поверхности восемью датчиками (четыре активных и четыре компенсационных) при отношении $\frac{H}{D} \geq 1,2$ можно достичь точности $\pm 2\%$. Для получения точности в пределах $\pm 0,1\%$ при любых распределениях нагрузок необходимо, чтобы $\frac{H}{D} \geq 3$.

Таким образом, месдозы, работающие на сжатие, при условии обеспечения указанной точности измерения характеризуются весьма значительными габаритами, что и ограничивает область их применения. Поэтому чаще используются месдозы с чувствительными элементами, работающими на изгиб. И задача заключается в выборе таких конструктивных форм месдоз, которые обеспечили бы получение показаний высокой точности и обладали бы большой надёжностью в работе.

Постановка задачи. Чувствительные элементы могут быть выполнены либо в виде балочки на двух опорах или консольного типа, либо в виде мембраны. Последние являются более удобными в изготовлении и монтаже, установке на стане и обеспечении герметичности в работе. Месдозы мембранного типа обычно представляют цилиндр относительно небольшой высоты с внутренней цилиндрической выточкой. На образовавшееся “доньшко-мембрану” наклеивают датчики.

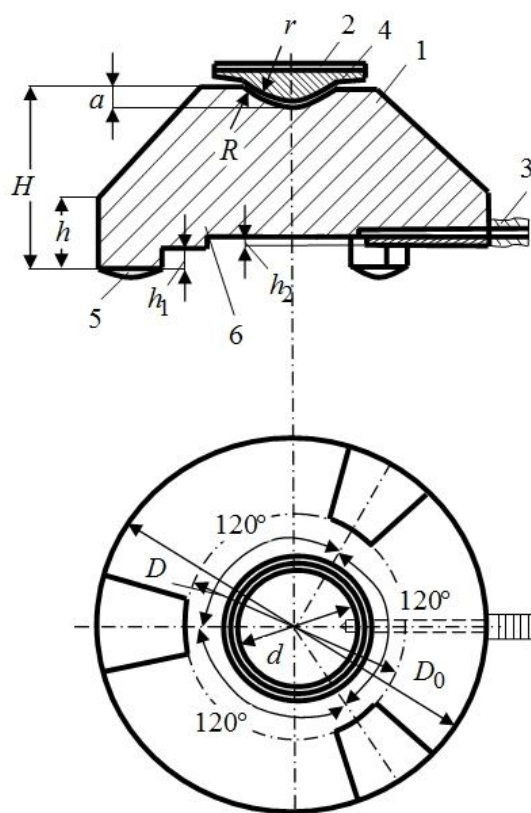
Многочисленные исследования с использованием месдоз этого типа позволили выявить их недостатки: наличие опоры кольцевого типа и прямых наружных углов в зоне мембраны. Особенностью опор кольцевого типа является то, что характер прилегания к поверхности подушки клетки зависит от степени ее обработки, а также от наличия различного рода неровностей, возникающих в процессе эксплуатации стана (вследствие неравномерного загрязнения поверхности и т. д.). В этих условиях, как показал опыт эксплуатации месдоз, степень прилегания опорных поверхностей при градуировке на прессе и при выполнении измерений в производственных условиях существенно различается, что сказывается на характере эпюры напряжений в мембране и на точности показаний. Исследования свидетельствуют, что погрешность измерений в таких случаях может достигать 29-30%.

Кроме того, наличие прямых наружных углов в зоне мембраны, как показали специальные исследования, является причиной нелинейности показаний месдозы в области высоких напряжений.

Поэтому целью данной работы является разработка месдозы, в конструкции которой исключены эти недостатки.

Результаты работы. В ходе исследований была разработана новая конструкция месдозы мембранного типа. Её особенностью (рис.1) является наличие трех опор, представляющих кольцевые секторы, выполненные нацело с телом мембраны и расположен-

ные под углом 120° по отношению друг к другу, а также отсутствие прямых наружных углов в зоне мембраны. В этом случае в мембране создается направленный изгиб независимо от качества опорных поверхностей и даже наличия перекосов.



1 – тело месдозы; 2 – подпятник; 3 – штуцер для подсоединения проводов;
4 – сферическая вогнутость месдозы; 5 – опорная пята; 6 – место наклейки датчиков

Рисунок 1 – Месдоза мембранного типа на трёх опорах

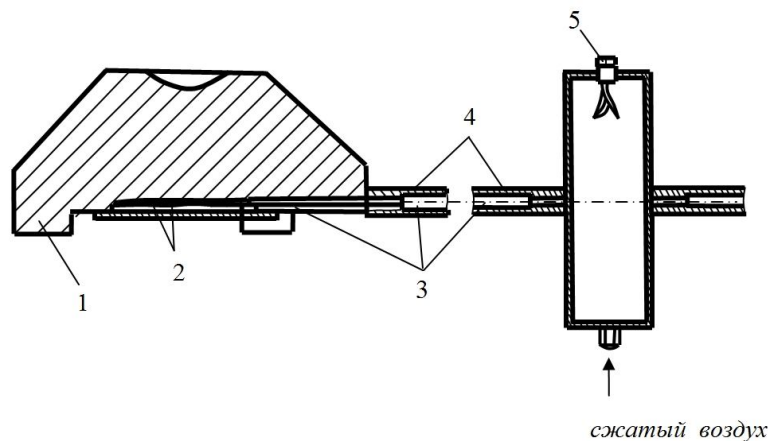
Чтобы предупредить смещение точки приложения нагрузки и создать направленный изгиб между нажимным винтом и месдозой, предусматривают сферический подпятник с радиусом меньшим, чем радиус сферической вогнутости месдозы.

При измерениях месдозы можно выполнять отдельными для определения усилия на каждый винт в отдельности, парными – для определения суммарного давления на оба винта и комбинированными, т.е. работающими как парные и как отдельные, – в зависимости от способа соединения в мост одних и тех же датчиков. Последний тип необходим при исследовании на непрерывных станах, когда количество осциллографируемых параметров очень велико. Комбинированные месдозы позволяют сократить число точек на осциллографе и облегчить труд исследователя. Они необходимы также для того, чтобы установить коэффициент пересчёта для парной и отдельных месдоз при работе на различных калибрах.

Многokrатно проведенные измерения с использованием месдоз этой конструкции показали, что при прокатке в несимметрично расположенных по отношению к опорам калибрах усилие на каждый винт распределяется не по правилу рычага, а по более сложному закону, который еще недостаточно изучен. Эти результаты полностью согласуются с данными Л.В.Андреюка [2]. Поэтому, имея показания отдельных и парных месдоз в одной клетке, можно получить коэффициент пересчета при разном соотноше-

нии плеча и использовать его при расшифровке осциллограмм парных месдоз, установленных на других клетях.

Надежность работы месдоз определяется степенью их герметизации, так как проникновение воды и масел в месдозу приводит к нарушению работы измерительного моста. При работе месдоз в её полости даже с хорошей герметизацией создается переменное атмосферное давление, в результате чего влага рано или поздно через микропространства в микротрещины проникает внутрь месдозы. Поэтому нами был разработан следующий способ защиты (рис.2).

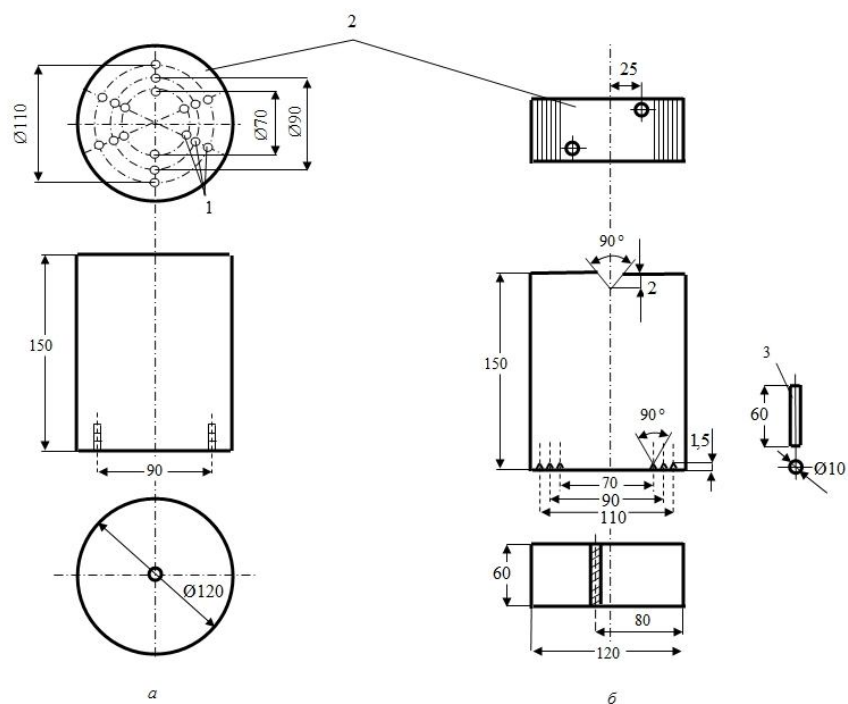


- 1 – месдоза; 2 – датчики; 3 – монтажные провода; 4 – резиновый шланг;
5 – колодка для подключения кабеля

Рисунок 2 – Монтажная схема

К каждой месдозе приварен штуцер, выполненный под шланг нужного размера. Плотнo надетый и прижатый хомутом шланг от месдозы идёт к ресиверу, который представляет полый цилиндр с разъёмами подсоединения проводов и тремя штуцерами: два из них – для шланга, идущего от месдоз, и один – для соединения с камерой, имеющей небольшое избыточное давление или же с магистралью для сжатого воздуха. Внутри шланга находятся провода. Таким образом, во время работы месдозы избыточное давление не даёт возможности проникнуть влаге внутрь. Как показал опыт эксплуатации месдоз, обыкновенная надутая футбольная камера обеспечивает надёжную работу месдоз в течение 16-18 часов. Конечно, более надёжным является подвод сжатого воздуха от какой-либо магистрали или же небольшого компрессора. В случае качественного выполнения уплотнения нормальная работа месдоз в период длительного времени обеспечивается даже при обычном соединении с атмосферой. Значительным преимуществом мембранных месдоз с опорами на трёх точках является большая их универсальность в отношении диапазона измеряемых усилий. Они показывают достаточно высокую чувствительность и при малых, и при больших усилиях.

В связи с тем, что напряжение в мембранах невозможно точно рассчитать, было проведено экспериментальное исследование цилиндрических мембранных месдоз, работающих на прогиб. Параллельно исследовали прямоугольные месдозы. Для этого изготовили из стали 45 два цилиндра диаметром 150 мм с концентрическими окружностями на опорной поверхности и углублениями для шариков, а также два параллелепипеда такой же высоты, шириной 50 мм и длиной 120 мм с пазами для роликов на опорной поверхности (рис.3).



1 – углубления для опорных шариков; 2 – отверстия под болты для крепления проводов;
3 – опорный ролик

Рисунок 3 – Упругие элементы цилиндрической (а) и прямоугольной (б) форм

Опорные шарики устанавливали в трёх точках через 120° на различных диаметрах основания цилиндра (рис.3, а), а опорные ролики – на различных расстояниях от центра основания параллелепипеда (рис.3, б). Это дало возможность получить различную стрелу прогиба указанных тел и определить чувствительность элементов в зависимости от отношений $\frac{H}{D}$ и $\frac{H}{L}$ (D – диаметр цилиндрических окружностей, L – расстояние между роликами).

Нагрузку передавали строго по центру: через шарик – для цилиндра и ролик – для параллелепипеда.

При исследовании применяли четырёхканальный усилитель ТА-5, осциллограф Н-700 и один гальванометр с допустимым максимальным током 12 мА, сопротивлением 12 Ом и чувствительностью $S = 48$ мм/мА.

Для создания нагрузки использовали двадцатитонную универсальную разрывную машину типа УГ 20/2, работающую как пресс.

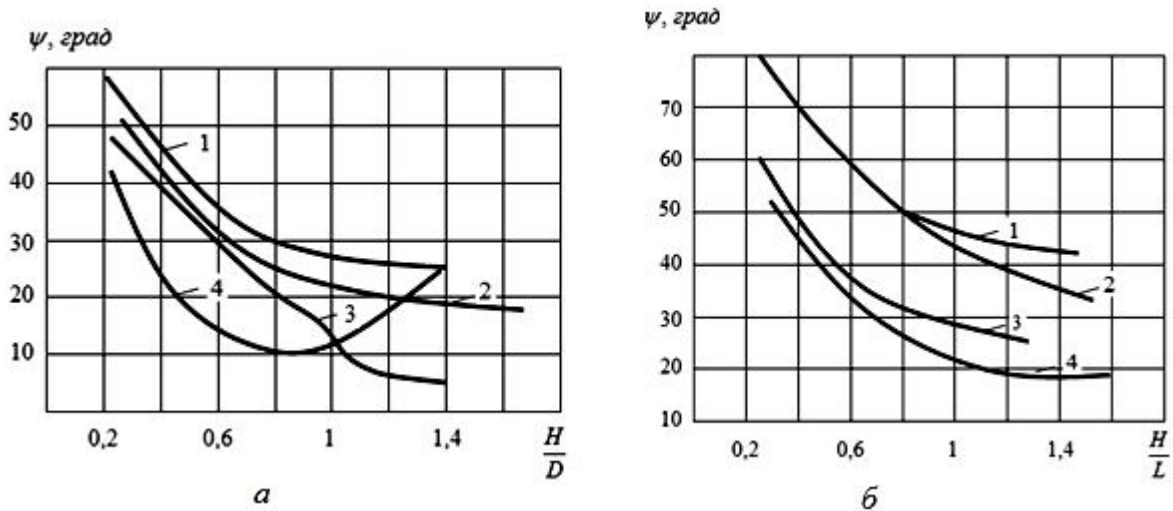
Исследования проводили следующим образом: цилиндр высотой 150 мм с наклеенными датчиками устанавливали на три шарика и производили ступенчатое нагружение. Затем, меняя базу опор перестановкой шариков в следующую группу углублений, расположенных ближе к центру основания цилиндра, производили повторное ступенчатое погружение и т.д.

Далее высоту цилиндра уменьшали через каждые 30 мм, тщательно оберегая датчики от случайных ударов и повреждений, и проводили повторные нагружения для различных высот по указанной методике. Так же проводили исследования для кольцевой опоры.

Аналогичные исследования проведены с параллелепипедом, который представляет прямоугольную месдозу. При исследовании применяли проволочные и фольговые

датчики. На основании расшифровок осциллограмм построены графики зависимости усилия P и отклонения зайчика-шлейфа l .

Измеряя углы между осью абсцисс и полученными прямыми, построили графики зависимости чувствительности элементов различных пропорций (рис.4) и с различными опорами.



1 – месдоза на трёх опорах, тип датчиков – фольговые и проволочные, $D = 110$ мм; 2 – месдоза на трёх опорах, тип датчиков – фольговые и проволочные, $D = 90$ мм; 3 – месдоза на кольцевой опоре, тип датчиков – фольговые, $D = 110$ мм; 4 – месдозы на кольцевой опоре, тип датчиков – проволочные, $D = 110$ мм

1 – тип датчиков – фольговые, $L = 110$ мм; 2 – тип датчиков – фольговые, $L = 90$ мм; 3 – тип датчиков – проволочные, $L = 110$ мм; 4 – тип датчиков – проволочные, $L = 90$ мм

Рисунок 4 – Зависимость угла наклона градуировочного графика от отношения высоты месдозы к диаметру опор (а) и к расстоянию между опорами (б)

Используя полученные графики, можно легко сравнить чувствительность различных упругих элементов как по их конструктивному выполнению, так и относительно типа применяемых датчиков. Кривые рис.4 показывают, что элементы, установленные на трёх точках, имеют плавный рост чувствительности, обеспечивающийся созданием направленного изгиба. У месдоз с кольцевой поверхностью опоры кривая не имеет монотонного характера, и вид её зависит от качества прилегания опорных поверхностей.

Приведенные кривые были использованы при конструировании месдоз (рис.1), которые применялись в целях исследования на мелкосортных, проволочных, трубнозаготовочных, непрерывно-заготовочных и сортовых станах Приднепровья, Кривого Рога и Донбасса.

Рекомендованные размеры месдоз для различных станов приведены в табл.1.

Таблица 1 – Характеристика месдоз для сортовых станов

Тип стана	Размеры месдоз, мм									
	D_0	D	d	H	h	h_1	h_{11}	a	R	r
Проволочный мелкосортный	140	100	70	50	20	15	10	10	65	60
Трубозаготовочный, стан 350, стан 600, непрерывно- заготовочный	165	105	75	80	40	13	10	10	65	60

продолжение таблицы 1

Материал, термооб- работка	Твёрдость НВ	Максимально полученное на один винт уси- лие, т	Вес месдо- зы, кг
Ст. 45 Температура закалки 820-840°C, вода, отпуск 300-350°C	300-340 ед.	60-80	4,5
Ст. ШХ 15 Температура закалки 790-810 °С, масло, отпуск 350-400 °С	350-400 ед.	180-200	10,65

Выводы. Разработана новая конструкция месдозы мембранного типа, которая отличается надёжной герметизацией от попадания воды, масла, влаги внутрь. В ходе проведения исследований с использованием проволочных и фольговых датчиков были получены кривые зависимости угла наклона градуировочного графика от отношения высоты месдозы к диаметру опор и к расстоянию между опорами, которые могут использоваться при конструировании новых типов месдоз. Разработанные месдозы могут быть использованы при автоматизации прокатных станов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меерович И.М. Измерение усилий при прокатке / И.М.Меерович, А.С.Филатов. – М.:Металлургиздат, 1963. – 250с.
2. Андреев Л.В. Распределение усилий прокатки между нажимными винтами / Л.В.Андреев, Б.М.Короткевич, В.Ф.Антипов // Теория и практика металлургии. – Челябинск. – 1967. – С.101-105.
3. Ольдзиевский С.А. О параллельном подключении к одному измерительному каналу / С.А.Ольдзиевский, В.К.Звонарев // Обработка металлов давлением: научные труды. – М.: Металлургия. – 1965. – Вып. Х11Х. – С.360-364.
4. Ольдзиевский С.А. К расчету месдоз мембранного типа / С.А.Ольдзиевский, В.К.Звонарев // Металлургия и коксохимия. – Техника. – 1966. – Вып. 4. – С.202-208.
5. Выдрин В.Н. Автоматизация прокатного производства / В.Н.Выдрин, А.С.Федосиенко. – М.: Металлургия, 1984. – 472с.

Днепродзержинский государственный технический университет

КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛОС МЕТОДОМ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЯ

Введение. Развитие способов производства проката в черной металлургии направлено на увеличение производительности, повышение качества продукции и экономию затрат на передел.

Одним из перспективных направлений совершенствования и интенсификации процесса сортовой прокатки является многоручьевая прокатка-разделение. Применение этой технологии позволяет сократить общее количество проходов, увеличить производительность стана, обеспечить экономию электроэнергии на прокатку, снизить расход валков и уменьшить угар металла при нагреве заготовок.

Таким образом, развитие технологических процессов производства сортовых профилей с использованием многоручьевой прокатки-разделения является актуальным вопросом.

За рубежом технология многоручьевой прокатки-разделения получила название «слитинг-процесс» [1]. Технология интенсивно развивается с 80-х годов прошлого века. Ее отличительной особенностью является применение привалковой арматуры для разделения раската, что связано с рядом преимуществ и недостатков. С одной стороны возникает возможность деления раската на большое число ниток, с другой стороны возникают вопросы, связанные с качеством готовой продукции и устойчивостью процесса разделения.

В нашей стране ДонНТУ совместно с НПО «Доникс» и металлургическим комбинатом «Криворожсталь» была разработана двух- и трехручьевая прокатка-разделение с помощью приводных валков прокатного стана [2]. К преимуществам предложенной технологии относится повышение износостойкости разделяющих калибров, отсутствие шейки разрыва и самоцентрирование раскатов в разделяющем калибре. Недостатком предлагаемой технологии можно считать сложность реализации разделения на три и более ниток. По этой причине продольное разделение раската приводными валками прокатного стана производится максимум на три нитки.

Различные способы прокатки-разделения в соответствии с отечественной технологией и теоретические вопросы, позволяющие разрабатывать производство сортовой продукции с применением этих методов, описаны в работах [3, 4].

Постановка задачи. При выполнении работ, описанных в этой статье, основной задачей была разработка простой в реализации, надежной и производительной технологии производства заготовки малого сечения для мелкосортно-проволочного производства. В соответствии с размерами стана, для которого необходима заготовка, ее размеры эквивалентны кругу диаметром 10 мм.

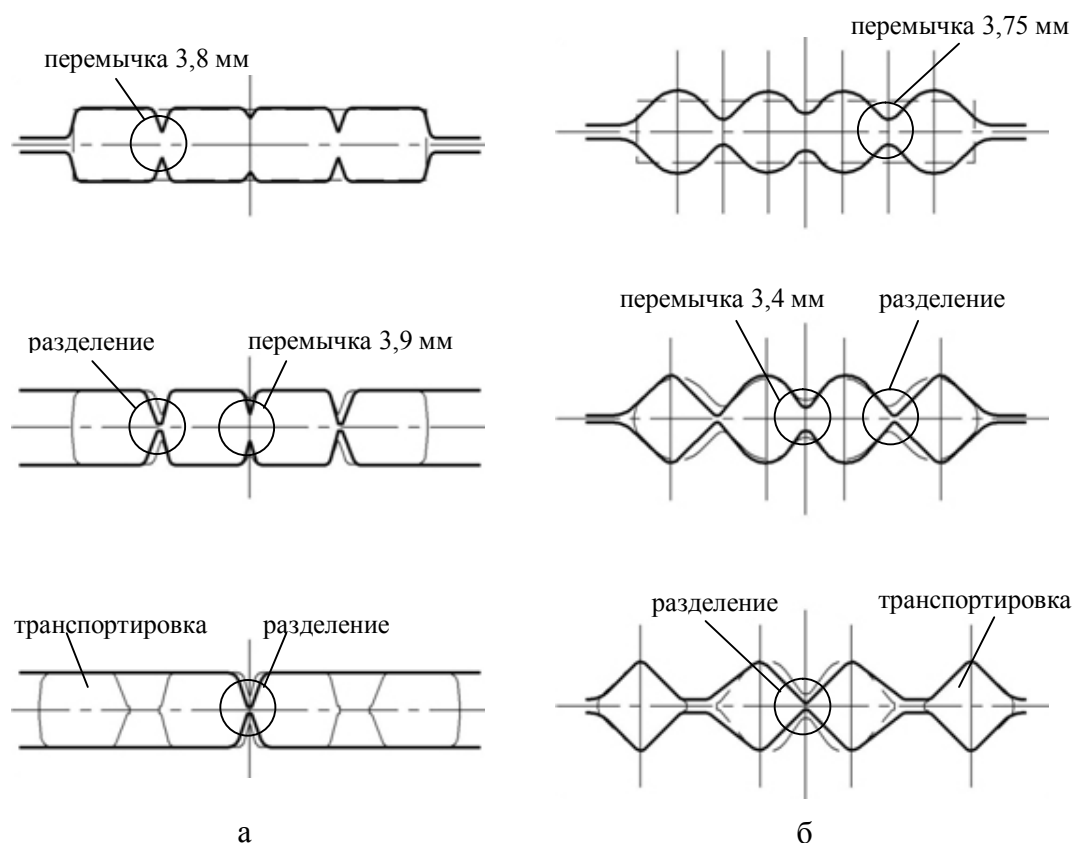
Целью работы является изучение процесса многоручьевой прокатки-разделения полосы с малой начальной толщиной.

Результаты работы. При решении поставленной задачи было рассмотрено несколько технологических вариантов. Во всех случаях в качестве исходной заготовки было предложено использовать поперечную обрезь толстого листа 10x1500 мм, которую в свою очередь распускали на полосы шириной 50 мм.

В качестве базовых были рассмотрены два варианта технологии (рис.1):

- 1) четырехниточная прокатка-разделение в калибрах, подобных ящичным;
- 2) четырехниточная прокатка-разделение в диагональных квадратных калибрах.

Первый вариант технологии (рис.1, а) был предложен с целью обеспечения заполнения вершин разделяемого профиля. Однако предварительные расчеты показали, что такая форма первого формирующего калибра не обеспечивает полного его заполнения по высоте. Это объясняется тем, что большая часть металла, смещаемого гребнями валков первого калибра, течет в сторону уширения профиля, и лишь незначительная его доля уходит на заполнение вершин профиля. В результате утяжки металла в этих местах возникает зазор между валками и прокатываемой полосой. Его величина колеблется от 1,2 до 1,5 мм. Кроме того, предварительный анализ показывает, что напряжения, которые возникают под гребнями валков, не превышают предела текучести прокатываемого материала, то есть разрушение перемычки во втором калибре является маловероятным явлением. Таким образом, такая схема прокатки-разделения является неосуществимой.



а – четырехниточная прокатка-разделение в ящичных калибрах;
 б – четырехниточная прокатка-разделение в квадратных калибрах

Рисунок 1 – Схема прокатки полосы по базовым технологиям (тонкая пунктирная линия – контур заготовки; толстая сплошная линия – контур калибра)

Второй вариант (рис.1, б) был предложен в качестве альтернативы первому. Анализ результатов предварительных расчетов условий прокатки в первом формирующем калибре предлагаемой формы показывает, что гребни верхнего и нижнего валков в процессе прокатки вызывают возникновение в прокатываемом металле растягивающих поперечных напряжений, величина которых близка к пределу текучести обрабатываемого материала, то есть разрушение перемычки является весьма вероятным. Однако недостатком такой схемы деформации является существенное невыполнение вершин профиля. Зазор между валками и прокатываемым металлом в некоторых местах превышает 2,5 мм. Поэтому был сделан вывод о непригодности второго варианта технологии.

В результате анализа деформированного состояния полосы в первом формирующем калибре по рассмотренным технологическим вариантам было предложено уменьшить отношение ширины к высоте исходной заготовки, увеличив тем самым заполняемость вершин профиля.

Был рассмотрен третий вариант технологии. В соответствии с новыми предложениями в качестве исходной заготовки используется полоса, изготовленная из листовой обрэзи сечением 10x40 мм. Прокатка производится в трех калибрах:

- первый калибр – формирующий. Он необходим для подготовки крайних частей к отделению от центральных;

- второй калибр – разделяющий и подготовительный. В этом калибре производятся отделение крайних частей раската и подготовка центральной части к последующему разделению;

- третий калибр – разделяющий. В этом калибре происходит продольное разделение центральной части раската. В этой же клети предусмотрены два транспортирующих калибра для передачи крайних профилей на отделку.

Схема прокатки по предлагаемому варианту приведена на рис.2.

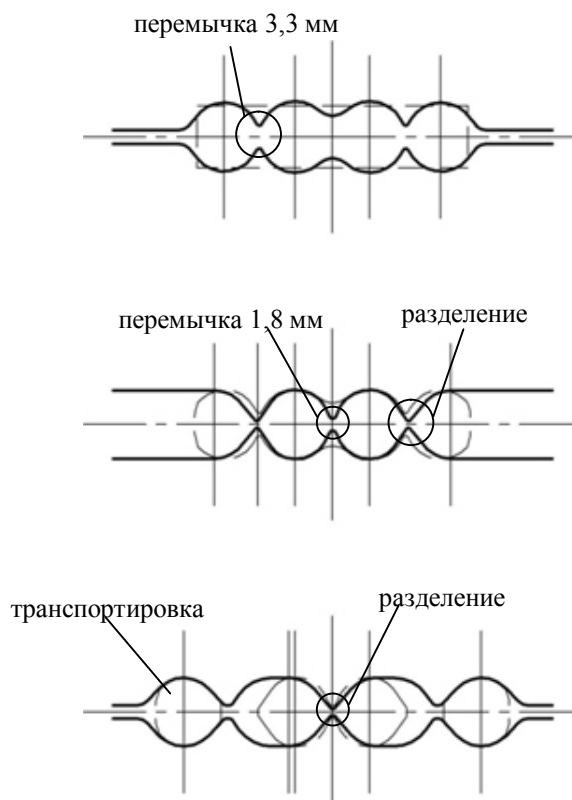


Рисунок 2 – Схема прокатки по предлагаемой технологии (тонкая пунктирная линия – контур заготовки; толстая сплошная линия – контур калибра)

С целью прогнозирования степени заполнения первого формирующего калибра и оценки возможности разрыва перемычек во втором и третьем разделяющих калибрах были выполнены предварительные расчеты.

Результаты расчетов показывают, что форма первого формирующего калибра в сочетании с выбранными размерами исходной заготовки должны обеспечивать полное выполнение вершин профиля после первого прохода. Это можно объяснить тем, что округлая форма ручьев калибра практически не вызывает утяжки металла в процессе

прокатки, так как смещенные объемы металла в большом количестве перетекают от гребней валков к вершинам профиля. Кроме того, хорошему выполнению вершин профиля способствует небольшая разница между высотой заготовки и максимальной высотой калибра.

Расчеты показывают, что при прокатывании заготовки из первого формирующего калибра во втором разделяющем калибре под крайними гребнями валков формируются участки с поперечными растягивающими напряжениями значительной величины. В крайних частях полосы в зоне, прилегающей к вершине гребня валка, напряжения имеют положительное значение (127 МПа), а в симметричной относительно вертикальной оси гребня зоне – отрицательное значение (-94,7 МПа). Это вызывает образование разрыва перемычки и, в конечном итоге, отделение крайних частей полосы.

Третий калибр предназначен, прежде всего, для продольного разделения центральной двойной части раската. Для анализа возможности процесса разделения были выполнены расчеты. Анализ результатов показывает, что так же, как и во втором проходе, гребни валков калибра вызывают в металле в зоне разделения возникновение поперечных напряжений 91,26 МПа. Это должно привести к продольному разделению центрального раската на две половины.

Таким образом, в соответствии с результатами расчетов третий вариант калибровки должен обеспечивать полное выполнение вершин профиля, а значит и форму готовой продукции, а также разделение проката в продольном направлении. Поэтому третий вариант был принят к освоению на трехклетевом непрерывном стане с начальным диаметром валков 120 мм и скоростью прокатки в первой клетке 0,1 м/с.

Выводы. Разработана калибровка делительных валков для производства круглого профиля диаметром 10 мм, в соответствии с которой впервые предложено реализовать продольное разделение раската приводными валками прокатного стана на четыре нитки. Реализация предложенной технологии позволит частично решить вопрос утилизации листовой обрезки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Производство мелкого сорта и катанки с использованием многоручьевого прокатки-разделения / Г.М.Шульгин, В.П.Морозов, В.Ф.Губайдулин [и др.] // Обзор по системе Информсталь. Ин-т «Черметинформация». – М. – 1987. – Вып. 25(301). – 25с.
2. Шульгин Г.М. Двухручьева прокатка-разделение арматурной стали / Г.М.Шульгин // Наука производству: сб. научных статей. – К. – 2003. – С.315-320.
3. Илюкович Б.М. Прокатка и калибровка: справочник: в 6 т. / Б.М.Илюкович – Днепропетровск: РВА «Днепр-ВАЛ». – 2002. – Т. 1: Основы теории калибровки. Калибровка блюмов и заготовки, кругов и шестигранников, квадратной стали, проволоки и арматуры / Илюкович Б.М., Нехаев Н.Е., Меркурьев С.Е. – 506с.
4. Теория и практика процесса многоручьевого прокатки-разделения / [Шульгин Г.М., Дубина О.В., Губайдулин В.Ф. и др.]; под ред. Ю.В.Коновалова. – Севастополь: «Вебер», 2003. – 622с.