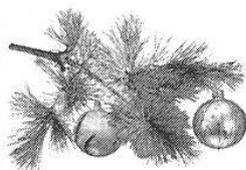


# ROLLING Производство проката

12

2014



*Сердечно поздравляем читателей и авторов журнала  
с Новым 2015 Годом!  
Пусть этот год будет более удачным!  
Счастья Вам, благополучия, успехов и новых достижений!*

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛИСТОПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

**Баканов В.М.** Влияние жесткости рабочей клетки на разнотолщинность при плоской периодической (шаговой) прокатке. . . . . 3

**Польшин А.А., Бельский С.М., Черешнев В.В., Белоусов В.А.**

Совершенствование технологии производства оцинкованного проката с улучшенной микрогеометрией поверхности в ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» . . . . . 8

### ТРУБНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

**Шинкин В.Н., Барыков А.М.** Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meer при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE. . . . . 13

**Филатов А.А., Соколова О.В., Лагошина Е.В., Ушаков А.Г.** Способы снижения осевых усилий на станах ХПТ . . . . . 21

### МЕТИЗНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

**Снигирев А.И., Железняк Л.М., Снигирев Н.А., Дымшаков В.Л.**

Совершенствование геометрии волоочильного канала с целью повышения стойкости инструмента и качества полос из нихрома. . . . . 24

### ПРОИЗВОДСТВО СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ ПРОКАТА

**Бровман Т.В., Кутузов А.А.** О выборе режимов изгиба при вальцовке заготовок . . . . . 29

### ПОКРЫТИЯ, СЛОИСТЫЕ И ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Лехов О.С., Лисин И.В., Туев М.Ю.** Расчет температуры кристаллизатора при непрерывном процессе литья—деформации биметаллической полосы . . . . . 33

### УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЗАЦИЯ

**Харахнин К.А., Аниськин С.А.** Математическая модель системы динамической перенастройки стана холодной прокатки при прохождении в его клетях сварных соединений . . . . . 37

### ИНФОРМАЦИЯ

**Рецензия** на монографию И.С. Ротова. Машины для правки труб (конструкции, расчеты, исследования) . . . . . 42

**Указатель статей**, опубликованных в 2014 г. . . . . 44



## ЛИСТОПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.771.23.001.57

### Влияние жесткости рабочей клетки на разнотолщинность при плоской периодической (шаговой) прокатке

В. М. Баканов, д-р техн. наук (e881e@mail.ru)

Московский государственный университет приборостроения и информатики

*Для прогнозирования продольной разнотолщинности полос, получаемых шаговой прокаткой, применены методы математического моделирования. Показано неоднозначное влияние жесткости рабочей клетки на величину продольной разнотолщинности.*

**Ключевые слова:** периодическая прокатка полос, плоская шаговая прокатка, цветной металл, совмещенный процесс, непрерывная разливка, математическое моделирование, продольная разнотолщинность.

*Mathematical simulation methods have been used to predict a longitudinal polythickness of strips made by step-by-step rolling. Ambiguous effect of working stand rigidity on a longitudinal polythickness value was determined.*

**Keywords:** cycling rolling, strip, flat step-by-step rolling, non-ferrous metal, combined process, continuous casting, mathematical simulation, longitudinal polythickness.

**Ш**аговая (периодическая) прокатка позволяет деформировать литые заготовки с обжатием до 90—95% за проход, обеспечивая глубокую проработку структуры металла [1]; основные схемы ее реализации приведены на рис. 1.

Одно из существенных отличий такой прокатки от обычной продольной валковой прокатки — возникновение продольной разнотолщинности («волнистости») у прокатанной полосы. При этом поперечная разнотолщинность, вызванная изгибом рабочих валков, обычно минимизируется путем использования массивных промежуточных валков и/или опорных поверхностей на раскатных станах Краузе и Платцера (см. рис. 1 а, б) и планетарном стане Платцера (см. рис. 1, г)

Продольная разнотолщинность ухудшает качество проката по геометрии, поэтому на практике вынуждены совмещать стан плоской шаговой прокатки с группами клеток (обычно кварто) с целью выглаживания наведенной волнистости.

Схема возникновения продольной разнотолщинности при плоской прокатке приведена

на рис. 2 (при прокатке труб или профилей эта схема изменяется при сохранении принципиальных моментов).

Рассмотрим случай плоской прокатки полосы круглыми валками, оси которых движутся по замкнутой траектории, а обратный ход валков является холостым. После прохода, когда ось валков опустится до положения, соответствующего минимуму межосевого расстояния, перед валками уже имеется валик металла (см. рис. 2). Для его полной раскатки необходимо движение осей валков параллельно оси прокатки (полирующий, калибрующий участок) на длине не менее полного линейного смещения  $m\mu_{\Sigma}$  (где  $m$  — подача заготовки на рабочий ход,  $\mu_{\Sigma}$  — суммарная вытяжка). Последнее условие затруднительно реализовать на станах Краузе, Платцера и раскатных (см. рис. 1 а—б). В планетарном стане Платцера (рис. 1, г) используются профилированные планки; в станах с качающимися валками и качающимися сегментами (см. рис. 1 д, е) реализация калибрующего участка может быть выполнена особым выбором траектории переме-

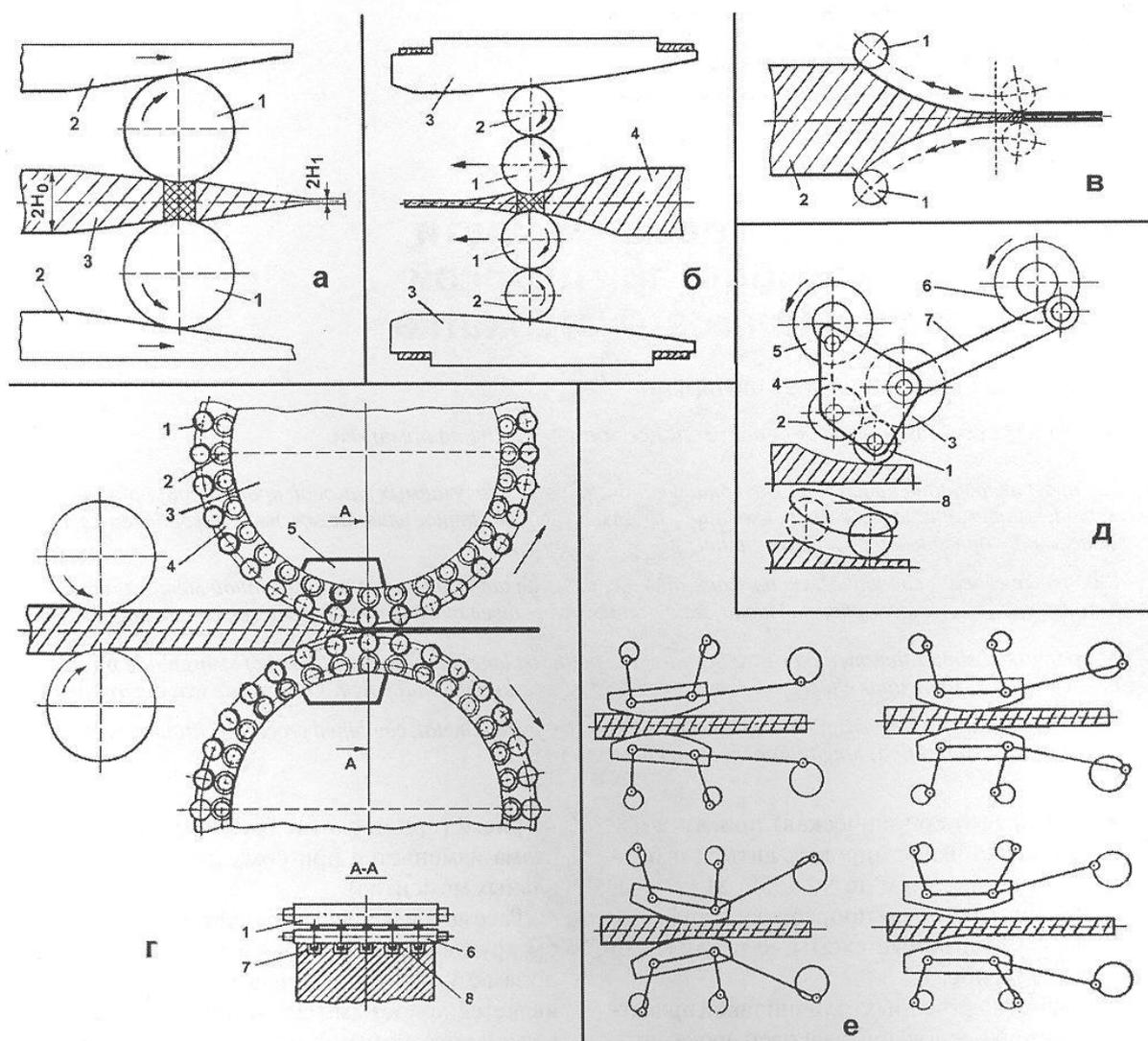


Рис. 1. Схемы деформирования и установок при симметричной периодической (шаговой) прокатке:

*a* — полосовая прокатка по способу Краузе (1 — рабочие валки; 2 — подвижная станина; 3 — прокатываемая полоса); *б* — схема работы раскатного стана Платцера (1 — рабочие валки; 2 — промежуточные валки; 3 — неподвижные опорные плиты; 4 — прокатываемая полоса); *в* — схема деформации на маятниковом стане (1 — рабочие валки; 2 — прокатываемая заготовка); *г* — планетарный стан Платцера (1 — рабочий валок; 2 — промежуточный валок; 3 — опорные балки — валки; 4 — сепаратор; 5 — рабочие планки); *д* — схема работы стана с качающимися валками (1 — рабочий валок; 2, 3 — опорные валки; 4 — балансир; 5, 6 — эксцентрики; 7 — шатун; 8 — траектория перемещения рабочего валка); *е* — схема работы стана с качающимися сегментами

щения валков на конечной части деформирующего участка. Сходный эффект можно получить профилированием самого рабочего валка [2].

Установлено, что упругие деформации деталей рабочей клетки снижают наводимую продольную циклическую разнотолщинность (ПЦР). Поэтому может оказаться целесообраз-

ным снизить жесткость рабочей клетки в конце рабочего участка (например, созданием выемки в направляющих согласно [3]).

Циклическая (с периодом  $m\mu_{\Sigma}$ , где  $\mu_{\Sigma}$  — отношение толщин заготовки  $H_0$  и готовой полосы  $H_1$ ) продольная разнотолщинность (ПР) возникает при шаговой прокатке даже в случае

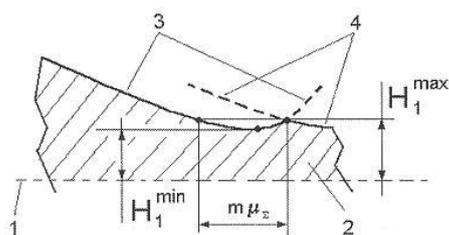


Рис. 2. Схема образования продольной циклической разнотолщинности полосы в процессе шаговой деформации: 1 — горизонтальная ось прокатки; 2 — деформируемая полоса; 3 — профиль рабочего участка в текущем цикле обжатия; 4 — профиль рабочего участка в предыдущем цикле обжатия;  $m\mu_z$  — суммарное линейное смещение;  $m$  — подача на рабочий ход;  $\mu_z$  — суммарная вытяжка

отсутствия разнотолщинности исходной заготовки.

Известно, что при наличии ПР исходной заготовки величина ПР готового проката уменьшается с повышением жесткости рабочей клетки. Разнотолщинность полосы возникает и при колебаниях технологических параметров шаговой прокатки. Например, увеличение подачи увеличивает действующие на валки силы и толщину выходящей из клетки полосы, причем различные виды ПР суммируются (принцип суперпозиции). Жесткость рабочей клетки стана шаговой прокатки по-разному влияет на различные виды составляющих разнотолщинности полосы — изменение исходной ПР обратно по отношению к наведенной станом (при повышении жесткости рабочей клетки исходная ПР снижается благодаря повышению выравнивающей способности клетки — аналогично случаю классической валковой прокатки [4]).

В реальном случае при непрерывной или периодической подаче наблюдаются вариации величины подачи на рабочий ход, достигающие 5—10% (иногда и более), что приводит к изменению толщины выходящей из клетки полосы.

Для выявления причинно-следственной связи можно представить систему «исходная заготовка—стан шаговой прокатки—готовый прокат» в виде структурной схемы с входной величиной «объем подачи» (рис. 3) и выходной — «ПР готового проката». При этом параметрами процесса деформирования являются размеры заготовки, траектории осей рабочих валков, модуль жесткости рабочей клетки стана и др.



Рис. 3. Структура модели определения величины продольной разнотолщинности готового проката в зависимости от изменения объема подачи при шаговой прокатке

При такой постановке возможно предсказание величины ПР готового проката при заданных параметрах технологии и оборудования и решение оптимизационных задач (как показано ниже).

В качестве имитационной модели процесса шаговой прокатки применялась расширенная математическая модель, подробно описанная в работе [5]. Программная реализация математической модели позволяет оценить влияние на ПР готового проката не только вышеуказанных параметров процесса, но и изменение механических свойств исходной заготовки (например, вследствие неравномерности температуры по длине последней), условий внешнего трения и др.

Расчеты проводили для процесса получения листовой заготовки методом шаговой прокатки, разработанного специалистами ОАО «ИНСТИТУТ ЦВЕТМЕТОБРАБОТКА» [6]. Разработанные оборудование и технология позволяют получать способом непрерывного литья — шаговой прокатки круглыми валками листы шириной до 620 мм из сплавов цветных металлов — бронз, латуней, медно-никелевых сплавов.

Приведем основные технические характеристики стана шаговой прокатки, получившего название ХПЛ-650:

Размеры заготовки, мм	
ширина .....	250—620
толщина .....	15—25
Относительное обжатие за проход, % .....	70—95
Быстроходность, рабочий ход/мин .....	60—90
Подача на рабочий ход, мм .....	5—20
Радиус рабочих/промежуточных валков, мм .....	
.....	68/160
Длина рабочего (обжимного) участка, мм .....	400—450
Поперечная разнотолщинность проката, % .....	≤2
Установленная мощность электрооборудования, кВт .....	
.....	730

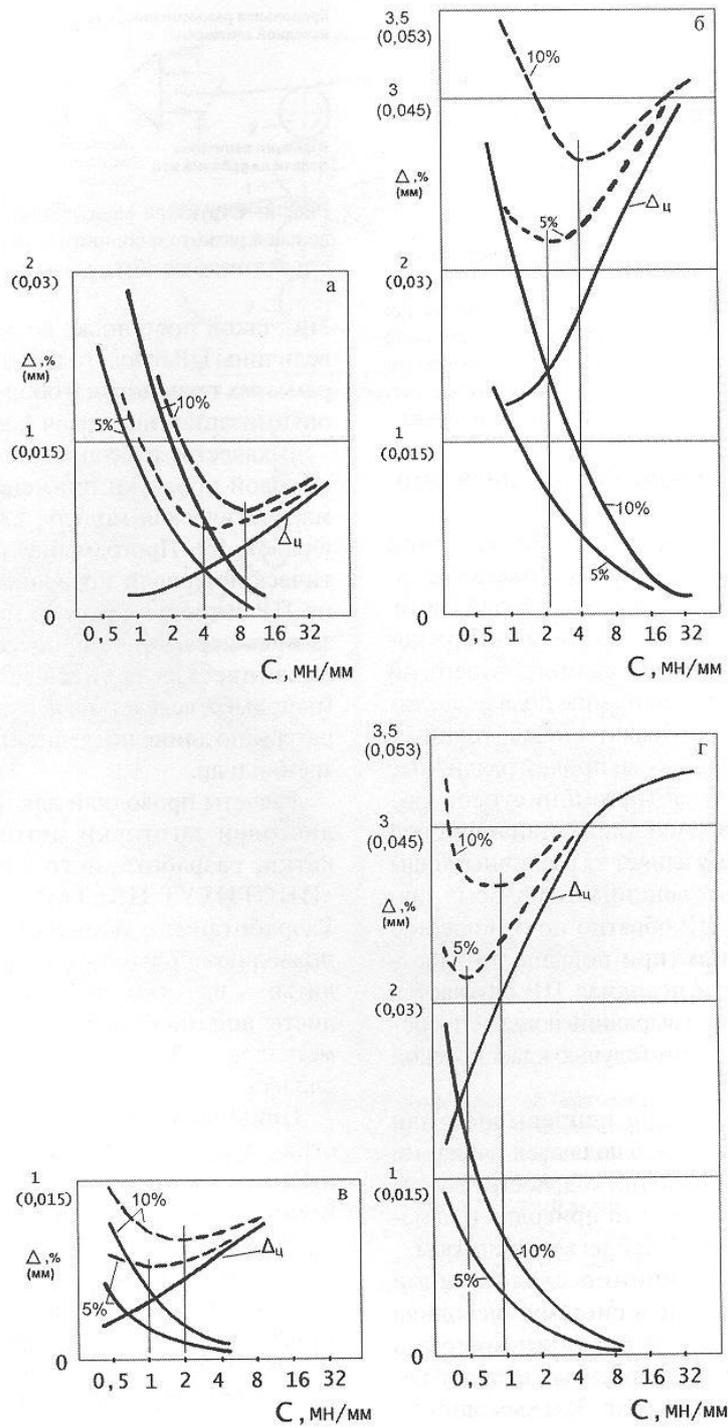


Рис. 4. Зависимость различной продольной разнотолщинности (наведенной рабочей клетью стана  $\Delta_m$ , вызванной нестабильностью подачи заготовки  $\Delta_m$  (сплошные линии) и суммарной  $\Delta_\Sigma$  (пунктирные линии)) от модуля жесткости рабочей клетки  $C$  для различных значений подачи  $t$ , равных 5 мм (а, в) и 10 мм (б, г), при прокатке полосы толщиной 3 мм из заготовки шириной 300 мм и толщиной 15 мм из бронзы БрОФ 6,5—0,15 (а, б) и алюминия (в, г)

Стан ХПЛ-650 по конструкции близок к раскатному стану Платцера, однако обладает более жесткой фиксацией рабочих валков в рабочих кассетах вследствие применения многовалковой (опорные + промежуточные валки) схемы и более благоприятного режима обжатий из-за колебательного движения кассет (см. схему стана в работе [6]).

Эксперименты на стане ХПЛ-650 выявили величину вариации подачи в 5–10% от заданной, толщина же заготовки перед входом в стан постоянна вследствие фрезерования ее после установки непрерывного литья.

Моделировалось изменение ПР готовой полосы в зависимости от изменения величины подачи (в указанных пределах) и модуля жесткости рабочей клетки стана, при этом ПР готовой полосы  $\Delta_{\Sigma}$  принимали (в первом приближении) равной суперпозиции наведенной станом шаговой прокатки циклической компоненты  $\Delta_{\Sigma}$  и компоненты  $\Delta_m$ , вызванной нестабильностью величины подачи. Поскольку при изменении входных параметров (объема подачи) по модели рис. 3 изменяется толщина проката, во всех случаях производилась коррекция настройки стана по условию  $H_1 = H_1^{\min}$  согласно обозначениям на рис. 2.

Рис. 4 иллюстрирует взаимодействие двух указанных составляющих продольной разнотолщинности готового проката —  $\Delta_{\Sigma}$  и  $\Delta_m$  (первая растет при увеличении жесткости рабочей клетки, вторая убывает), а также их суперпозиции  $\Delta_{\Sigma}$ . Как видно из приведенных данных, имеется область минимума величины общей продольной разнотолщинности  $\Delta_{\Sigma}$  при определенных значениях подачи и величине ее вариации. При этом для больших подач область минимума разнотолщинности сдвигается в сторону более «мягкой» рабочей клетки.

Поскольку модель явления учитывает и свойства проката, то представляет интерес, как они влияют на определение оптимума величины ПР готового проката. При прокатке металла с меньшим значением сопротивления деформированию область минимума ПР готовой полосы

также сдвигается в сторону менее «жесткой» клетки (рис. 4). Подобные расчеты могут быть проделаны заранее на этапе разработки оборудования, результатом может явиться возможность отказа от «выглаживающей» клетки за установкой шаговой деформации.

Особый интерес для практики представляет вариант целенаправленного изменения жесткости рабочей клетки вдоль рабочего участка. Так, на основе расчетов была предложена схема рабочей клетки стана шаговой прокатки, отличающаяся целенаправленным снижением модуля жесткости в конечной зоне рабочего участка. При этом повышенная жесткость клетки в начале зоны обжатия не препятствует реализации благоприятного распределения частных деформаций в этой области [3].

Таким образом, при шаговой прокатке не всегда необходимо повышать жесткость рабочей клетки. Предлагаемая методика позволяет в каждом конкретном случае определять рациональное (по разнотолщинности) значение модуля жесткости проектируемой рабочей клетки в зависимости от предполагаемого сортамента прокатываемых полос и технологических параметров процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев Б.Н. Совершенствование технологии производства труб, полос и профилей на основе теории шаговой (пилигримовой) прокатки // *Сталь*. 2009. № 4. С. 43–47.
2. А.с. № 1419767. Рабочая клетка стана периодической прокатки / Ю.Ф. Шевакин, И.И. Добкин, В.М. Баканов и др. // БИ. 1988. № 3.
3. А.с. № 1337156. Рабочая клетка стана периодической прокатки / А.В. Бушев, Б.Н. Матвеев, В.М. Баканов и др. // БИ. 1987. № 5.
4. Мсерович И.М., Герцев А.И., Горелик В.С. и др. Повышение точности листового проката. М.: Металлургия, 1969. 264 с.
5. Баканов В.М. Математическое моделирование при разработке оборудования и технологии процесса полосовой шаговой прокатки // *Производство проката*. 2012. № 10. С. 16–19.
6. Шевакин Ю.Ф., Райков Ю.Н., Бушев А.В., Баканов В.М. Использование станом холодной периодической прокатки в литейно-прокатном комплексе по производству листов и лент из цветных металлов и сплавов // *Металлург*. 1999. № 1. С. 33–37.