

**Список литературы:** 1. Чумаков В.П., Коренко М.Г. Пути снижения расхода металла при прокатке на блюминге. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2009.- №2. – с.39-42. 2. Пат.38619 Україна МПК (2006) B21В 1/00, B22D 7/00 Сортовой зливок для прокатного стану, Чумаков В.П., Коренко М.Г.. опубл. 12.01.2009. бюлл.№1. 3. А.с. СССР № 797810 Способ формирования концов заготовок., В.В. Гетманец, Чумаков В.П., Гладуш В.Д., Белозеров А.Н., Полуновский И.Е., Чеголя В.А.. кл. В 21 В 1/02 опубл. 23.01.81.бюлл.№3. 4. Пат.43974 Україна МПК (2009.01) B21В 1/02 Спосіб підготовки блюма до прокатки, Чумаков В.П., Коренко М.Г., Староста Н.В. опубл. 10.09.2009. бюлл.№17. 5. Чекмарев А.П., Чехранов В.Д., Павлов В.Л.. Пути уменьшения отходов в обреш при прокатке крупных слитков. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. №1.1972г. с.22-24. 6. Гетманец В.В., Чумаков В.П.. Рациональная конфигурация донной части уширенного книзу сортового слитка. *Бюллетень НТИ*. 1973г. №21, с.23-24. 7. Гетманец В.В., Филонов О.В., Чумаков В.П.. Оптимизация отбора технологической обрешы в потоке обжимных станов. *Сталь* 1981г. №6. С.48-49. 8. Никитенко В.И., Чеголя В.А., Стасовский Г.О. и др. Выбор оптимальной формы донной части слитка с целью уменьшения обрешы на блюминге. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. №2.1975г. с.82-83. 9. Бобров В.В., Полещук В.М., Гладуш В.Д.. Оптимизация нестационарных процессов прокатки.- Киев: Техника, 1984г.- 129с. 10. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. *Справочник по математике*. М. Изд. «Наука». 1964г.- 608с.

**УДК 621.771.073.8:681.3.06**

*МЕДВЕДЕВ В.С.*, канд. техн. наук, УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков

## **РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ СОЗДАНИЯ БАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОНОМИЧНЫХ ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРОКАТА**

Рассмотрен единый системный подход к теоретическим исследованиям течения металла в сложных фасонных калибрах, разработке методов расчета формоизменения и энергосиловых параметров прокатки, который заключается в едином представлении профилей и формирующих их калибров как совокупности типовых базовых элементов.

Ключевые слова: прокатка, профиль, формоизменение, энергосиловые параметры

Розглянуто єдиний системний підхід до теоретичних досліджень плину металу в складних фасонних калібрах, розробці методів розрахунку формозміни й енергосилових параметрів прокатки, що полягає в єдиному поданні профілів і калібрів, що їх формують, як сукупності типових базових елементів.

Ключові слова: прокатка, профіль, формозміна, енергосилові параметри

The paper considers uniform system approach to theoretical researches of metal flow in complex sectional grooves, development of methods for calculating forming and energy-power parameters of rolling. The approach consists in uniform representation of sections and forming grooves as sets of typical base elements.

Keywords: rolling, section, forming, energy-power parameters

### **1. Введение**

Развитие машиностроения, железнодорожного транспорта, строительства и других отраслей промышленности во многом определяется сортаментом и уровнем качества металлопродукции, изготавливаемой на предприятиях черной металлургии. Необходимость повышения технического уровня машин и оборудования, снижения их металлоемкости ставит перед металлургами задачу расширения сортамента и увеличения объемов производства экономичных фасонных профилей проката отраслевого и специального назначения, т.е. профилей, по геометрической форме максимально приближенных к готовым деталям и изделиям. Применение таких профилей

в машиностроении и других отраслях обеспечивает экономию в среднем до 15 % металла и значительное сокращение трудовых затрат.

В сортаменте металлопроката отраслевого и специального назначения насчитывается более двух тысяч фасонных профилей, различных по форме и размерам поперечного сечения. Ежегодно этот сортамент обновляется примерно на 10% благодаря оптимизации формы уже освоенных профилей и освоению производства новых видов. Потребность в каждом отдельном виде специальной металлопродукции сравнительно невелика. Разовые партии поставки такой продукции обычно не превышают вагонной нормы – 60 т. Часто требуются еще меньшие партии – от 1 до 10 т. Поэтому такие профили производятся малотоннажными партиями, но функциональная нагрузка, приходящаяся на эти профили, неизмеримо весомее их доли в массе изделий.

Освоение производства новых экономичных фасонных профилей на металлургических предприятиях весьма затруднительно и требует значительных материальных затрат. Задача разработки технологии прокатки сортовых профилей тем труднее, чем сложнее их геометрия. Исследования по разработке, изучению и рационализации калибровок валков для прокатки подобных профилей разрознены, носят частный характер и практически неприменимы для расчета калибровки новых профилей сложной конфигурации из-за невозможности точного определения формоизменения металла в сложных фасонных калибрах и энергосиловых параметров прокатки. В результате увеличивается число опытных прокаток, расход металла, валков, энергоносителей, рабочего времени и др.

## **2. Постановка проблемы**

Проблема расширения сортамента и производства новых экономичных профилей может быть кардинально решена при условии дальнейшего развития теоретических и экспериментальных исследований прокатки в калибрах сложной формы и разработки на их базе научно обоснованных методов автоматизированного проектирования калибровок прокатных валков и технологических процессов сортовой прокатки, создания базовых технологий и специализированных металлургических мини-заводов для производства экономичных фасонных профилей. Поэтому развитие научных основ создания базовых технологий для производства экономичных фасонных профилей проката является особо актуальной задачей, и ее решение имеет важное народнохозяйственное значение.

Для решения этой задачи требуются всесторонние научные исследования процессов прокатки в сложных фасонных калибрах, в том числе: теоретическое решение трехмерных задач пластического течения металла; разработка математических моделей определения интегральных характеристик формоизменения и энергосиловых параметров прокатки; экспериментальная проверка адекватности разработанных моделей с определением влияния различных технологических факторов на формоизменение металла; разработка научно обоснованных методов расчета калибровок валков и рациональных деформационных, температурно-скоростных и энергосиловых параметров прокатки; создание систем автоматизированного проектирования технологии сортовой прокатки; разработка новых способов прокатки и калибровки профилей, учитывающих специфику их малотоннажного производства, а также совершенствование действующих и разработка новых технологических процессов и оборудования для производства этой высокотехнологичной продукции.

С учетом сложности и многоаспектности решаемой проблемы в институте выработан единый методологический и системный подход к теоретическому и экспериментальному исследованию процессов прокатки в фасонных калибрах.

Ввиду многообразия форм поперечных сечений сложных фасонных профилей проблема их производства в целом может быть успешно решена только при представлении профилей и формующих их калибров как совокупности отдельных типовых базовых (опорных) элементов [1]. На этой основе могут быть созданы максимально унифицированные математические модели определения интегральных характеристик формоизменения (уширения, приращения, утяжки и др.), энергосиловых параметров прокатки (усилий, моментов, мощности и др.) и научно обоснованных методов расчета калибровок валков.

С использованием системного подхода была разработана классификация и выделено пять базовых элементов калибров с различными граничными условиями на боковых кромках: полосовой-клиновой, угловой, пластовой тавровый, ребровой тавровый и крестообразный, в которых формируется большинство фасонных профилей с развитой поверхностью. Далее этот подход был применен к теоретическим и экспериментальным исследованиям течения металла в сложных калибрах и разработке научно обоснованных методов расчета формоизменения, калибровок валков и энергосиловых параметров прокатки; а также к компьютерному моделированию технологического процесса.

Рассмотрим базовые элементы.

*Полосовой-клиновой элемент.* Фасонные полосовые профили могут состоять из одного или двух клиновых элементов, состыкованных толстыми или тонкими боковыми кромками. Клиновой элемент легко преобразуется в обыкновенную полосу. Калибровка специальных полосовых профилей с плоским или клиновидным полотном, на котором имеются выступы или выемки, не представляет особой сложности. Если выступы и впадины занимают небольшую часть полотна, то уширение металла рассчитывают достаточно просто, как и при прокатке обыкновенных полос, а сами выступы и выемки формируют конструктивно. В противном случае уширение необходимо определять по приведенным обжатиям. Для расчета уширения при прокатке клиновых профилей также имеются надежные методы.

*Угловой элемент* образован фланцем и стенкой. К фасонным профилям с одним или двумя угловыми элементами относятся несимметричные полособульбовые профили, автободы, угловые, зетовые, низкорыльные, швеллерные и др. Угловые элементы могут быть расположены под любым углом к горизонтали. Например, если профиль состоит из одного углового элемента, угол наклона фланца и стенки равен  $45^\circ$ , а толщина и ширина фланца и стенки одинаковы, то профиль представляет собой обыкновенный уголок с симметричными полками.

*Пластовый тавровый элемент* состоит из горизонтально расположенной стенки, закрытого и открытого фланцев. К фасонным профилям с одним или двумя тавровыми элементами относятся симметричные полособульбовые и высокотавровые профили, которые прокатываются в калибрах с горизонтальной стенкой, а также двутавровые, рельсовые и другие профили. Например, рельсовый профиль может быть образован двумя состыкованными по стенкам тавровыми элементами. Закрытые и открытые фланцы одного таврового элемента формируют головку рельса, а другого – подошву.

*Ребровой тавровой элемент* состоит из горизонтально расположенных полок и вертикального гребня. К фасонным профилям с одним, двумя или большим числом ребровых тавровых элементов относятся полсотавровые и низкотавровые профили, а также высокотавровые, которые прокатываются с использованием ребровых тавровых калибров.

*Крестообразный элемент* входит только в состав крестообразных профилей, которых в сортаменте профилей отраслевого и специального назначения очень мало. Методика расчета параметров формоизменения металла в крестообразных калибрах подробно описана в работе [2].

Таким образом, наибольшая потребность имеется в исследовании процесса прокатки в трех основных базовых элементах фасонных калибров – угловом и двух тавровых (пластовом и ребровом).

Характер деформации металла в базовых элементах калибров может быть различным в зависимости от формы профиля и определяется в основном геометрическими параметрами очага деформации и граничными условиями на концах элементов (на свободных поверхностях полок или стенки и в местах состыковки элементов). Основная трудность калибровки заключается в расчете положений свободных поверхностей, определяемых уширением стенки и полок в угловых и пластовых тавровых элементах калибров, а также приращением (или утяжкой) фланцев и гребней в пластовых и ребровых тавровых элементах.

Для разработки математических моделей расчета формоизменения и энергосиловых параметров прокатки сложных фасонных профилей с помощью вариационных методов механики сплошных сред было проведено теоретическое исследование пластического течения металла в угловых, пластовых тавровых и ребровых тавровых элементах калибров с постоянной толщиной стенки и полок. Построено кинематически возможное поле скоростей перемещений металла, определены скорости деформаций и интенсивность скоростей деформаций. В поля скоростей введены два варьируемых параметра – коэффициент вытяжки и коэффициент, характеризующий положение поверхности раздела течения металла в поперечном направлении при свободном уширении стенки или полок. Варьируемые параметры определяются из условия минимума полной мощности прокатки. Математические модели позволяют рассчитывать в каждом элементе интегральные характеристики формоизменения металла – высотную деформацию открытых фланцев и гребней, свободное уширение стенок или полок, усилия, моменты и мощность прокатки. Расчет всех параметров выполняется с использованием среды MathCAD [3,4].

Учитывая, что в сортаменте фасонных профилей отраслевого и специального назначения имеется много фланцевых и гребневых профилей с переменной толщиной стенки или полок была разработана обобщенная методика расчета формоизменения и энергосиловых параметров прокатки в фасонных калибрах сложной формы.

В соответствии с этой методикой параметры прокатки сложного профиля определяются комплексно с учетом разнообразия сочетаемых элементов с постоянной и переменной толщиной стенок и полок. Сложная форма фасонных калибров приводится к более простой, состоящей из трех рассмотренных выше базовых элементов – углового, пластового таврового и ребрового таврового. Методика базируется на положении, что неравномерность обжатия по ширине стенок и полок не влияет на высотную деформацию фланцев и гребней.

По этой методике формоизменение и энергосиловые параметры прокатки в фасонных калибрах с переменной толщиной стенки или полок рассчитывают по средней их толщине, приведенной к единой ширине:

$$h_{np} = \frac{F}{B}, \quad (1)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения стенки или полок, мм<sup>2</sup>;

$B$  – ширина стенки или полок действительного и базового калибров, мм.

Рассмотрим варианты приведения действительной формы калибра к базовой и особенности расчета.

*Вариант 1.* Фасонный калибр имеет один угловой, пластовый тавровый или ребровой тавровый элемент со свободным уширением металла по стенке (полкам) или с ограничением этого уширения, причем стенки (полки) имеют переменную толщину. Приведение действительной формы таких калибров к базовой показано на рис. 1. Во всех случаях ширину  $B$  ба-

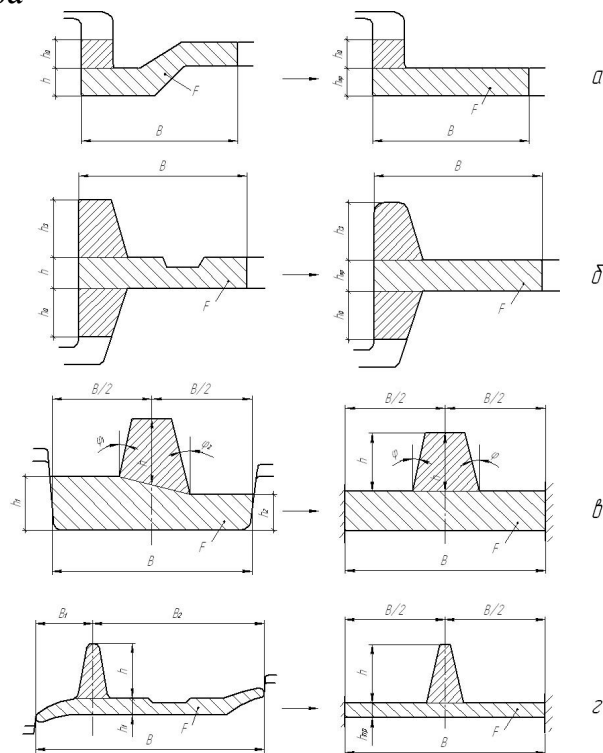


Рис. 1. Действительные (слева) и базовые (справа) калибры, состоящие из одного элемента: углового (а); пластового (б) и ребрового (в, г) таврового

зового калибра принимают равной ширине действительного, а приведенную высоту  $h_{np}$  стенок или полок рассчитывают по формуле (1). Размеры открытых и закрытых фланцев в базовом и действительном калибрах остаются одинаковыми (рис. 1,а,б). Если в действительном калибре, представляющем собой ребровой тавровый элемент, гребень асимметричен, то в базовом калибре его необходимо привести к симметричному виду, сохраняя среднюю высоту  $h$  и принимая  $\varphi = 0,5(\varphi_1 + \varphi_2)$  (рис. 1,в). При асимметричном расположении гребня по ширине  $B$  для приведении действительного калибра к базовому необходимо расположить гребень так, чтобы ребровой тавровый элемент был симметричен относительно вертикальной оси (рис. 1,г).

*Вариант 2.* Фасонный калибр состоит из нескольких состыкованных в различных сочетаниях базовых элементов.

Например, чистовой калибр для прокатки профиля боковины рештаков скребковых конвейеров приводится к базовому калибру, состоящему из двух состыкованных угловых элементов (рис. 2). Высота и толщина открытых фланцев в базовом калибре та же, что и в действительном, а ширина стенки в каждом угловом элементе принимается равной  $0,5B$ . Приведенная высота  $h_{пр}$  стенок или полок рассчитывается по формуле (1).

Чистовой калибр для прокатки специального профиля для направляющих транспортеров приводится к базовому калибру, имеющему три базовых элемента – угловой, ребровой тавровой и пластовой тавровой (рис. 3). В таких калибрах место раздела участка стенки между соседними базовыми элементами располагается на середине его ширины  $l_1 = 0,5l_1 + 0,5l_1$  и  $l_2 = 0,5l_2 + 0,5l_2$ .

Поскольку толщина  $h$  по ширине действительного калибра постоянна, то в базовом калибре  $h_{пр}=h$ .

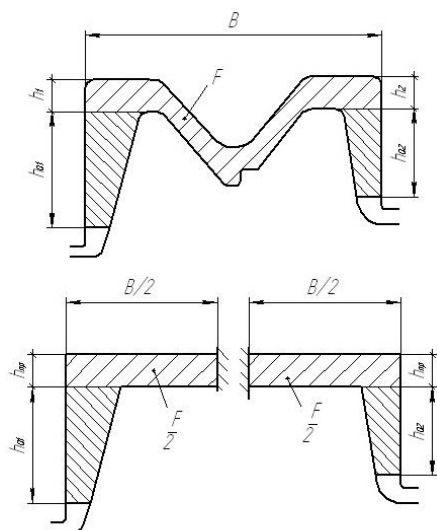


Рис. 2. Действительный калибр и базовый, состоящий из двух угловых элементов

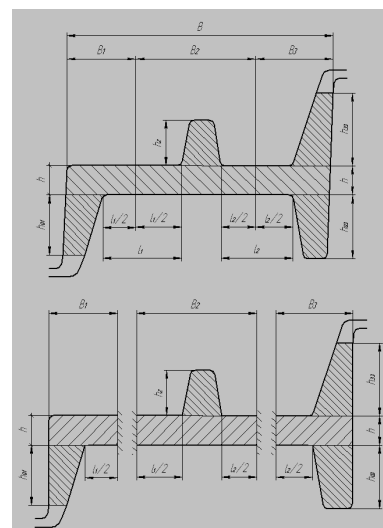


Рис. 3. Действительный калибр и базовый, состоящий из углового, ребрового таврового и пластового таврового элементов

Отдельные элементы базовых калибров на рис. 2 и 3 показаны отдельно для наглядности.

После приведения действительной формы калибра к базовой с использованием разработанных математических моделей производится расчет высотной деформации открытых фланцев и гребней, свободного уширения стенок или полок, усилий, моментов и мощности прокатки по каждому базовому элементу отдельно. При этом учитываются граничные условия на его концах.

Усилие, момент и мощность прокатки в калибре определяются как сумма их значений в каждом базовом элементе:

$$P = \sum_1^n P_n ; \quad M = \sum_1^n M_n ; \quad N = \sum_1^n N_n , \quad (2)$$

где  $n$  – число базовых элементов в данном калибре.

Адекватность разработанных математических моделей реальным процессам прокатки проверяли, сравнивая результаты теоретических расчетов с экспериментальными данными. Сходимость результатов удовлетворительная.

Таким образом, разработанную на основе единого системного подхода обобщенную методику расчета формоизменения и энергосиловых параметров прокатки рекомендуется использовать при проектировании калибровок валков и создании базовых технологий производства экономичных фасонных профилей проката.

**Список литературы:** 1. Медведев В.С. Системный подход к вопросу автоматизированного проектирования калибровок валков для прокатки сложных фасонных профилей [Текст] / В.С. Медведев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2008. – № 3. – С. 41–46. 2. Тарновский И. Я. Элементы теории прокатки сложных профилей [Текст] / Тарновский И. Я., Скороходов А.Н., Илюкович Б.М.; – М. : *Металлургия*, 1972. – 352 с. 3. Медведев В.С. Методика определения формоизменения и энергосиловых параметров прокатки в фасонных калибрах с использованием вариационных принципов [Текст] / В.С. Медведев // *Вісник Національного технічного університету “ХПІ”*: зб. наук. пр. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2009. – № 8. – С. 41–47. 4. Медведев В.С. Математическое моделирование прокатки в фасонных калибрах в среде MathCAD [Текст] / В.С. Медведев, А.Н. Масленый // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Харьков : ХАИ, 2009. – № 2 (59). – С. 32–35.