

причины изменения удельных затрат ТЭР на изготовление продукции различных предприятий и проводить объективный сопоставительный анализ. Отраслевая сквозная энергоемкость позволяет оценить возможные изменения затрат энергоресурсов в связи с увеличением объема производства листовой стали и роста доли более качественной спокойной углеродистой и низколегированной стали в общем объеме ее выплавки.

**Список литературы:** 1. Приказ № 9/120. Методика расчета затрат ТЭР на металлургических предприятиях с использованием заводской (сквозной) энергоемкости. – К. : Государственный Комитет Украины по энергосбережению, 1997. – 36 с. 2. Литвиненко В.Г. Методика оценки изменения энергоемкости продукции в черной металлургии / В.Г. Литвиненко, Г.Н. Грецкая, Т.А. Андреева // Сталь. – 2003. – № 1. – С. 103–106. 3. Андреева Т.А. Энергоемкость стали / Т.А. Андреева, В.Д. Мантула, Г.Н. Грецкая, В.Г. Литвиненко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – № 6. – С. 110–112. 4. Буторина И.В. Пути снижения энергоемкости металлургических процессов на предприятиях Украины / И.В. Буторина, П.С. Харлашин, А.В. Сущенко // Сталь. – 2003. – № 7. – С. 97–101.

## УДК 621.771

*ГОРОБЕЙ Н.Р.*, студ. НТУ «ХПИ»

*ПЛЕШНЕЦОВ Ю.А.*, канд. техн. наук, зав. кафедрой ОМД, НТУ «ХПИ»

*КОВОРТНЫЙ Т.Л.*, асс., НТУ «ХПИ»

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ БИЧЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ**

В работе установлено, что возможности воздействия на величину вытяжки и шага ребер прокатываемого профиля путем изменения обжатия (при том же инструменте и без увеличения размера исходной заготовки) ограничены. Регулировка шага на прокате может быть достигнута изменением диаметра зубчатого бандаж. Установлено, что отношение катающих радиусов валков, образующих чистовой калибр, должно удовлетворять неравенству  $0,77 < \frac{R_{k1}}{R_{k2}} < 0,94$ .

У роботі встановлено, що можливості впливу на величину витяжки такроку ребер профілю, що прокатується, шляхом зміни обтиску (притому ж інструменті і без збільшення розміру вихідної заготовки) обмежені. Регулювання кроку на прокаті може бути досягнута зміною діаметра зубчастого бандаж. Встановлено, що ставлення катаючих радіусів валків, що утворюють чистовой калібр, має задовольняти нерівності  $0,77 < \frac{R_{k1}}{R_{k2}} < 0,94$ .

We found that the magnitude of possible impact on the hood and the step edges of the proc-Pipeline profile by changing the compression (with the same instrument, and no increase in time is a measure of the original piece) is limited. Adjust the pitch in the rental can be achieved by changing the diameter of the toothed band. The ratio of the radii of the rollers forming finishing caliber, must satisfy the inequality  $0,77 < \frac{R_{k1}}{R_{k2}} < 0,94$ .

### Анализ процесса заполнения калибра и формообразования профиля ребра

Для изучения течения металла при прокатке бичевых профилей были применены составные образцы (рис.1). Одна из частей образца имела квадратную координатную сетку с шагом 2,5 мм обращенную к поверхности раздела. Сетка была выполнена на строгальном станке. Перед сваркой образцов на поверхности раздела наносилась разделительная обмазка. Подготовленные образцы, как и предыдущие, прокатывали на том же стане и при тех же режимах. Вид деформированной координатной сетки после разделения образцов представлен на рис. 1, результаты замеров прокатанных образцов – в таблице.

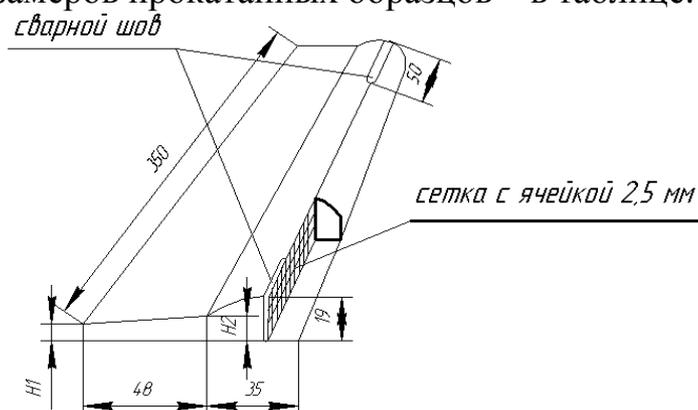


Рис. 1. Эскиз составного образца

Таблица – Результаты замеров образцов, прокатанных на стане 350.

№ образца	$H_0$ , мм	$h_{II}$ , мм	$h_p$ , мм	$h_n$ , %	Утяжка вершины ребра, %	$\mu$	$t_T$ , мм
1	18,0	7,1	14,1	60,6	22,2	1,93	13,60
6	18,0	7,0	13,8	61,6	23,3	1,93	13,20
8	18,0	6,4	13,6	64,4	24,4	1,96	13,30
15	18,0	6,2	13,6	65,6	24,4	1,96	13,30
22	18,0	5,0	13,2	72,2	26,7	1,98	13,35

$H_0$  - высота заготовки;  $h_{II}$  - толщина по впадине;  $h_p$  - толщина по вершине ребра;  $h_n$  - обжатие по впадине;  $\mu$  - вытяжка;  $t_T$  - тангенциальный шаг ребер

Несмотря на значительные высотные деформации в плоскости раздела (70-78%), получено достаточно четкое изображение очага деформации и примыкающих к нему внешних зон.

Анализ деформированной координатной сетки показывает, что деформация начинается от входа выделенного сечения в пределах геометрического очага деформации. Это, очевидно, обусловлено напряжением среза и гидростатическим давлением, развивающимся в очаге деформации.

В отличие от стационарной прокатки, длина геометрического очага деформации в рассматриваемом процессе – величина переменная. Поскольку судить о положении передней границы очага деформации по недокатам не представляется возможным, в качестве первого приближения принято, что передняя граница очага деформации совпадает с осевой плоскостью валков.

Тогда изменение длины очага деформации полностью определяется изменением положения задней границы. Закон изменения длины очага деформации во времени носит периодический характер (расстояния между смежными углами сетки уменьшаются по мере удаления от нижнего валка, принимая значения близкие к нулю у вершины ребра).

Непрерывное изменение длины очага деформации имеет место при перемещении входящего в очаг деформации зуба рабочего инструмента в сторону выхода в промежуток интервала от начала контакта до момента вступления в контакт с металлом очередного зуба. Вместе с тем, вследствие расположения зубьев под углом к оси прокатки одновременно с началом внедрения одного зуба идет внедрение и другого. Скачкообразное изменение длины очага деформации в условиях исследования достигало 15-23%.

Другим существенным отличием рассматриваемого процесса от стационарной прокатки является резкая неравномерность по длине и высоте полосы. Неравномерность деформации по длине полосы обусловлена последовательным внедрением в металл заготовки выступов инструмента (валков) и образованием ребер на раскате. Если относительная деформация высоты заготовки по впадинам между ребрами составляет 70-78% (в результате прямого обжатия), то относительная деформация высоты заготовки по вершинам ребер составляет всего 16-20% (в результате утяжки, поскольку металл не достигает дна калибра).

По высоте поперечных сечений раската деформации также распределены неравномерно. В поперечном сечении раската, проходящем через максимальную высоту ребра, наибольшие деформации сжатия претерпевает поверхностный слой металла, обращенный к гладкому ручью нижнего валка. Деформации сжатия-растяжения, о величине которых можно судить по изменению поперечном сечении раската, проходящем через впадины между ребрами. Наибольшие деформации сжатия-растяжения претерпевает поверхностный слой металла, обращенный к верхнему зубчатому валку.

Поскольку сплошность металла заготовки не нарушается, особый интерес представляет исследование процесса перетекания металла из областей очага деформации более обжимаемых в менее обжимаемые. Очевидно, что при внедрении выступа инструмента в заготовку (рис. 2) имеет место процесс разрезки с истечением металла в замыкаемый объем, из которого формируется зуб, и в сторону свободного заднего конца заготовки. Перетекание металла в объем, из которого формируется ребро, в некоторой степени компенсирует высотную утяжку ребра полосы вследствие деформации его основания.

Из рис. 2 видно, что вытяжка заготовки при прокатке угловой бичевой стали, происходит в основном, за счет местной деформации в местах впадин и в некоторой степени за счет деформации слоев металла, лежащих ниже основания ребра, тогда как вершины ребер полосы деформации растяжения сжатия не испытывают. В связи с этим можно заключить, что изменения обжатия мало влияют на изменение средней вытяжки и на изменение шага зубьев. Так при увеличении обжатия на 8% вытяжка возросла на 1,62%, шаг зубьев – на 1,8%.

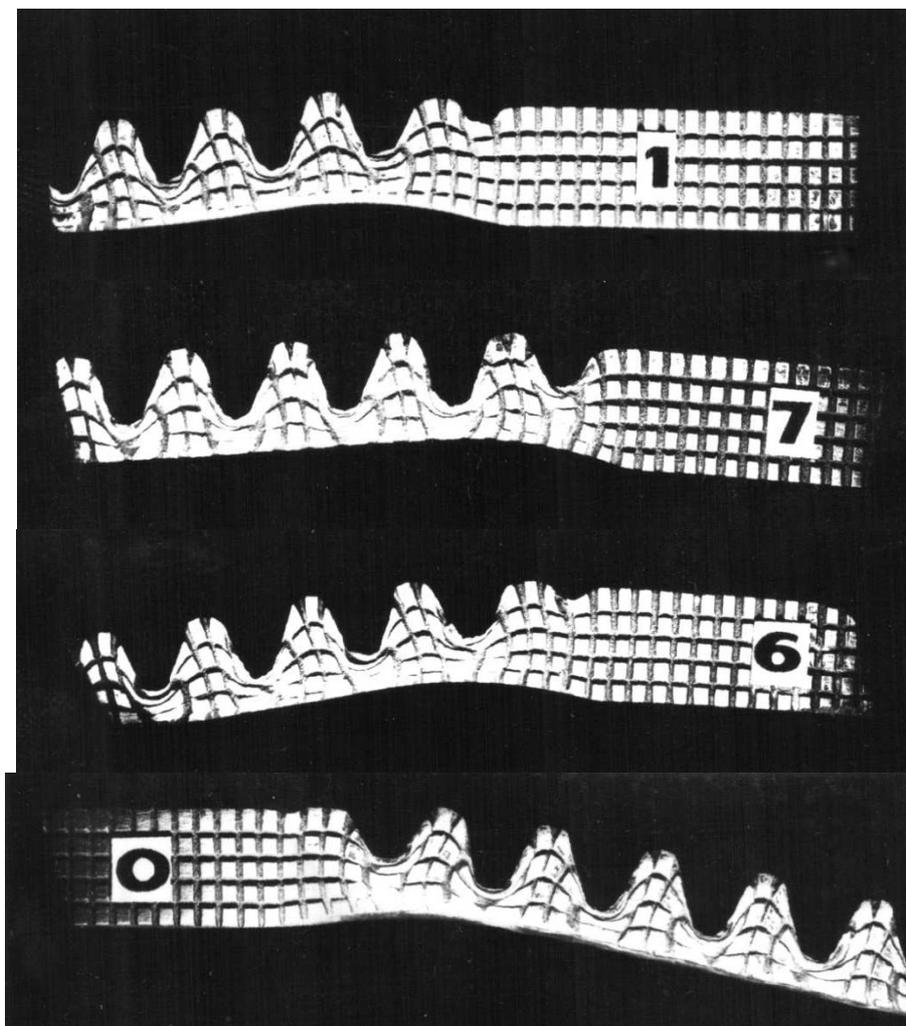


Рис. 2. Вид деформированной координатной сетки после разделения образцов

Таким образом, возможности воздействия на величину вытяжки и шага ребер прокатываемого профиля путем изменения обжатия (при том же инструменте и без увеличения размера исходной заготовки) ограничены. Регулировка шага на прокате может быть достигнута изменением диаметра зубчатого бандажа.

*Определение оптимального соотношения диаметров валков в чистовом проходе*

Одной из особенностей прокатки угловой бичевой стали является склонность раската на выходе из чистовой клетки изгибаться в вертикальной плоскости.

Общеизвестно, что при прокатке таких профилей (с односторонним оребрением), когда опережение и вытяжка по оребренной и по внутренней гладкой поверхности неравнозначна, необходимо уменьшить нижний диаметр гладкого валка. Считается, что если диаметр верхнего периодического валка больше диаметра нижнего (гладкого), то при одинаковом числе оборотов обоих валков верхний будет иметь большую окружную скорость, чем нижний и, следовательно, будет способствовать изгибу полосы на валок меньшего диаметра. Однако этот изгиб будет компенсироваться некоторым заклиниванием металла в

теле зубчатого инструмента. Таким образом, можно достичь прямолинейного выхода раската из валков.

Проведенные эксперименты показали, что выходящий конец полосы, в зависимости от условий деформации и разности диаметров валков, может изгибаться, как на зубчатый валок, так и на гладкий. Оказалось, что основным фактором, определяющим характер изгиба полосы, является величина относительного обжатия. При обжатиях до 34% раскат изгибается на гладкий валок меньшего диаметра. Увеличение обжатия приводит к изгибу на валок большего диаметра - зубчатый. При замене величин диаметров валков наоборот, т.е. меньший диаметр имел зубчатый валок, склонность к изгибу менялась также противоположно. Изгиб полосы все равно шел на зубчатый валок.

Одной из причин такой закономерности является то, что на прокатываемую полосу одновременно действуют два противоположно влияющих фактора: разность окружных скоростей и различие в обжатиях, производимым каждым из валков. Это различие в обжатиях вызывает повышение скорости пластического течения металла в слоях металла у валка меньшего диаметра по сравнению со скоростью течения металла у валка большего диаметра. Чем больше общее обжатие, тем больше различие в скоростях пластического течения. Поскольку для получения углового бичевого профиля необходима значительная величина истинной деформации (порядка 80%), следовательно, это различие в скоростях будет повышенным.

Таким образом, разность окружных скоростей способствует изгибу полосы на валок меньшего диаметра, а различие в обжатиях, наоборот, – изгибу полосы на валок большего диаметра. Конечный результат, т.е. направление изгиба полосы, будет зависеть от того, какой из двух факторов окажет преобладающее влияние.

В том случае, когда влияние этих двух факторов на процесс деформации равнозначно, полоса выходит из валков прямолинейно. Относительное обжатие, необходимое для получения качественного готового профиля – величина конкретная и может изменяться в незначительных пределах. Эти изменения могут, конечно, быть более значительными, если бы не требуемая фиксированная величина истинной деформации, необходимой для качественного выполнения геометрии профиля за один проход. Поэтому в экспериментальных исследованиях данного вопроса большее внимание уделялось соотношению диаметров валков, при неизменной величине истинной деформации. Величина соотношения диаметров валков, соответствующего прокатке полосы без изгиба, может быть названа критической. Полученные графики представлены на рис.3. Эксперименты показали, что величина критического обжатия определяется, главным образом, отношением толщины полосы к среднему катающему диаметру валков  $\frac{H}{D_c}$  и практически не зависит от отношения радиусов  $\frac{r}{R}$ . Увеличение

$\frac{H}{D_c}$ , т.е. увеличение  $H$  или уменьшение  $D_c$ , приводит к возрастанию критического

обжатия (см. рис. 3а) и интервала обжатий, обеспечивающих изгиб полосы на валок меньшего диаметра.

На рис. 3б показана зависимость от отношения  $\frac{H}{D_c}$  параметра  $\frac{1}{H_{Cmax}}$  при различных толщинах и диаметрах валков. Кривая делит поле графика на две области. Значения параметра  $\frac{1}{H_c}$ , попадающие в нижнюю область, характеризует процесс прокатки, в котором выходящая полоса изгибается на валок меньшего диаметра. Верхняя область определяет параметр  $\frac{1}{H_c}$ , соответствующий изгибу полосы на валок большего диаметра.

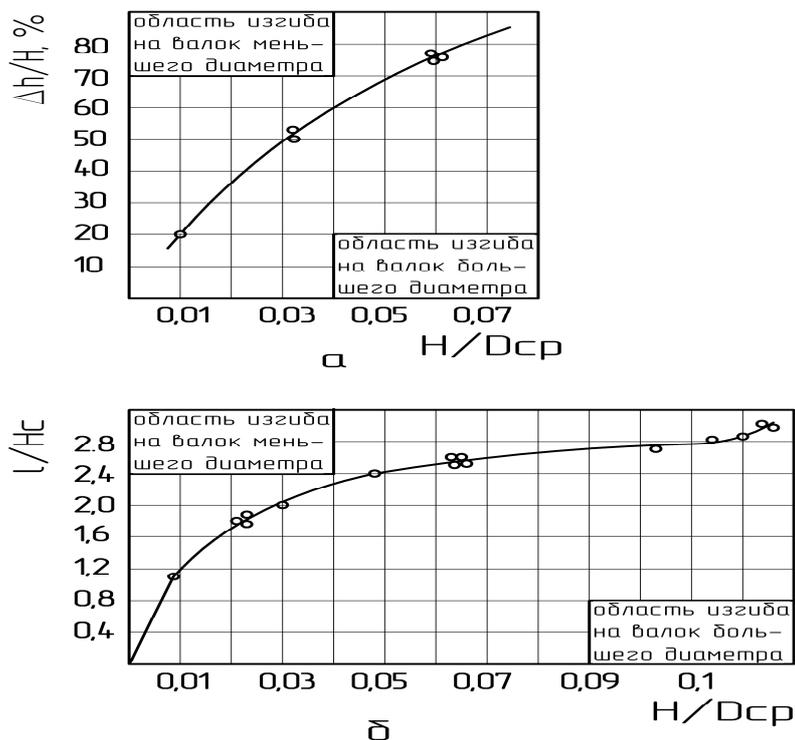


Рис.3. Зависимость отношения  $\frac{H}{D_c}$  от относительного обжатия  $\frac{\Delta h}{H}$  и  $\frac{1}{H_c}$ :

$a$ – критического обжатия при  $\frac{r}{R}=0,885$ ;

$b$ – параметра  $\frac{1}{H_c}$ , соответствующего критическому обжатию

Как уже указывалось раньше, рациональные обжатия при прокатке угловой бичевой стали – за один проход – находятся в пределах 70...78%, следовательно, при прокатке с  $\frac{H}{D_c}$  более 0,11 любые применяемые обжатия вызывают изгиб полосы только на валок большего диаметра. Уменьшение  $\frac{H}{D_c}$  смещает критическое обжатие в область малых деформаций и при  $\frac{H}{D_c}$  менее 0,03

практически во всем интервале применяемых обжатий происходит изгиб полосы только на валок меньшего диаметра.

Установлено, что отношение катающих радиусов валков, образующих чистовой калибр, должно удовлетворять неравенству

$$0,77 < \frac{R_{k1}}{R_{k2}} < 0,94, \quad (1)$$

где  $R_{k1}$  - катающий радиус периодического ручья верхнего валка по нейтральной линии калибра;

$R_{k2}$  - катающий радиус периодического ручья нижнего валка по нейтральной линии калибра.

Кривая, изображенная на рис.3б, характеризует условия прокатки, когда полоса выходит из валков, не изгибаясь. Естественно, что при этом случайные факторы процесса прокатки (неравномерность нагрева по высоте полосы, неточная установка валков и др.) могут вызвать некоторый изгиб полосы. Поэтому при создании условий изгиба полосы в строго определенном направлении необходимо, чтобы при данном  $\frac{H}{D_c}$  значение параметра

$\frac{1}{H_c}$  находилось ниже или выше кривой.

Исследования показали, что увеличение разности катающих диаметров приводит к возрастанию экстремальных значений кривизны при изгибе полос на тот или другой валок.

### *Выводы*

1. В работе установлено, что возможности воздействия на величину вытяжки и шага ребер прокатываемого профиля путем изменения обжатия (при том же инструменте и без увеличения размера исходной заготовки) ограничены. Регулировка шага на прокате может быть достигнута изменением диаметра зубчатого бандажа.

2. Эксперименты показали, что величина критического обжатия определяется, главным образом, отношением толщины полосы к среднему катающему диаметру валков  $\frac{H}{D_c}$  и практически не зависит от отношения радиусов  $\frac{r}{R}$ .

3. Установлено, что отношение катающих радиусов валков, образующих чистовой калибр, должно удовлетворять неравенству  $0,77 < \frac{R_{k1}}{R_{k2}} < 0,94$ .

4. Исследования показали, что увеличение разности катающих диаметров приводит к возрастанию экстремальных значений кривизны при изгибе полос на тот или другой валок.