

УДК 621.771.001

Данько В. М.  
Данько А. В.

## ПРИМЕНЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ АСИММЕТРИИ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОКАТКИ КРУПНОГО СОРТА

Преимущества непрерывной прокатки общеизвестны. Поэтому везде, где это возможно и где нужна высокая производительность, применяется именно этот способ прокатки: на ШСП, проволочных, мелко- и среднесортных станах. Однако для производства крупносортовых фланцевых профилей непрерывная прокатка долгое время не использовалась из-за отсутствия проверенных технических решений [1]. Известно, что из-за большого отношения площади поперечного сечения крупносортовых раскатов к длине межклетьевого промежутка непрерывной группы образование петли невозможно. Поэтому невозможным является и поддержание константы прокатки обычным способом, за счет регулирования величины петли. Отсутствие достаточно точных датчиков натяжения и подпора не позволяет решать данную задачу регулированием скоростей валков смежных клетей. Актуальность данной проблемы заставила искать новые подходы к ее решению.

Одним из способов решения данной задачи является применения предварительно напряженных клетей с большой жесткостью. Например, в проекте реконструкции стана крупносортового стана 600 ОАО «АМК» концерна Danieli предложено все чистовые клетки объединить в непрерывную группу (рис. 1).

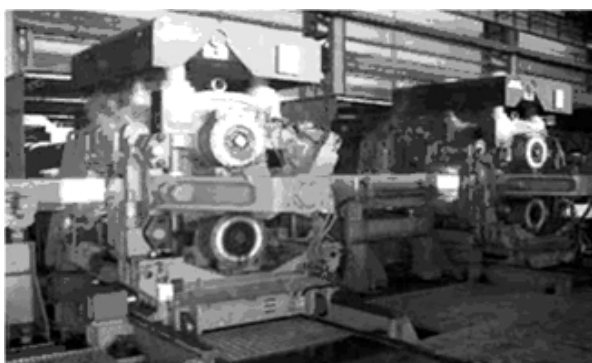


Рис. 1. Прокатка сортовых профилей в непрерывной группе без петлеобразования

Непрерывность процесса обеспечивается применением безстанинных клетей универсального исполнения, по-видимому, с повышенной жесткостью. По данным фирмы такой подход дал положительные результаты на нескольких металлургических заводах. Однако применение безстанинных клетей неизбежно вызывает усложнение эксплуатации оборудования. И, естественно, их стоимость превышает стоимость обычных клетей. Кроме того, повышение жесткости клетей только уменьшает колебания площади поперечного сечения полос, но не исключают их вовсе, т. к. величина модуля жесткости имеет вполне определенные, оптимальные ограничения [3]. Других сведений за последние 10 лет по непрерывной прокатке крупного сорта без петлеобразования обнаружить не удалось.

Целью данной работы является обоснование возможности ведения непрерывной прокатки крупносортовых фланцевых профилей без петлеобразования в обычных клетях за счет использования кинематически асимметричной прокатки, и с точностью, ограниченной только точностью датчиков силы прокатки и точностью САУ главными двигателями клетей.

Прежде всего, нужно выяснить, какие факторы приводят к нарушению константы прокатки. В литературных источниках указывается, что на опережение и площадь поперечного сечения полосы влияют изменение температуры металла, коэффициента трения, зазор

между валками и т. д. [2]. Если изменение условий внешнего трения действительно влияет на константу непрерывной прокатки, то использование любого воздействия для стабилизации зазора между валками является безнадежным делом, поскольку изменение коэффициента трения происходит практически случайным образом. Выясним, так ли это.

Известно [4], что при уменьшении коэффициента трения нейтральное сечение смещается к выходу из очага деформации (рис. 2, а), а при увеличении – ко входу (рис. 2, б).

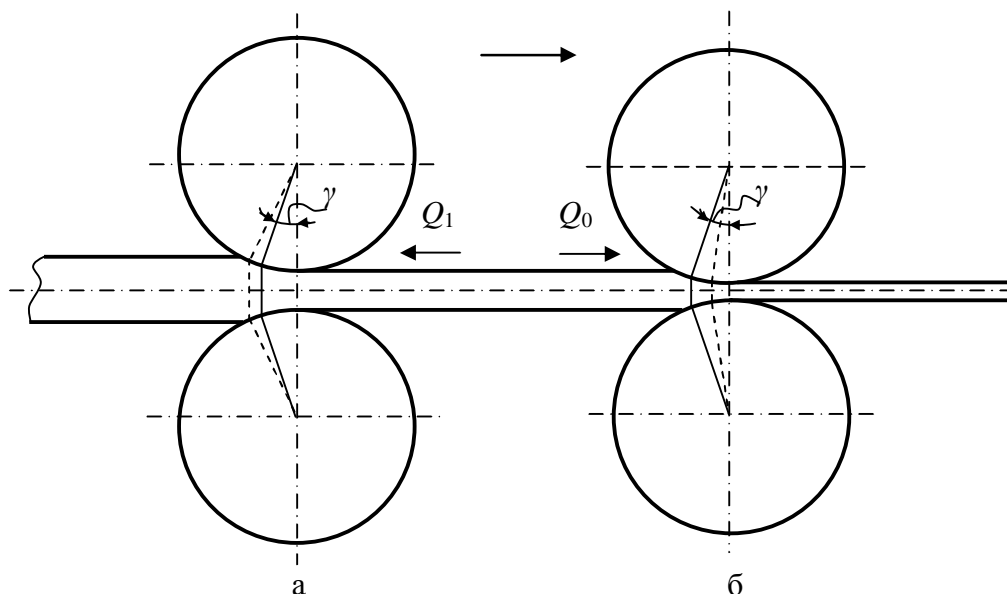


Рис. 2. К влиянию изменения коэффициента трения на константу прокатки

При увеличении угла нейтрального сечения  $\gamma$  объем зоны опережения увеличивается, а зоны отставания – уменьшается. Это ведет к возникновению переднего подпора  $Q_1$  у первой по ходу прокатки клетки и заднего – у второй. В результате, в соответствии с формулой Ю. Файнберга [4]:

$$g = \frac{a}{2} \left( 1 - \frac{a}{2b_y} \right) + \frac{Q_1 - Q_0}{4b_y p b R}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол захвата, рад;

$\beta_y$  – коэффициент трения в установившемся процессе;

$Q_1$  – переднее натяжение, Н;

$Q_0$  – заднее натяжение, Н;

$p$  – среднее удельное усилие прокатки, МПа;

$b$  – ширина полосы, мм;

$R$  – радиус валков, мм;

угол  $\gamma$  уменьшается, т. к. для подпора знак перед  $Q_0$  и  $Q_1$  меняется на обратный. Это ведет к исчезновению подпора.

При уменьшении коэффициента трения, как это показано на рис. 2, б, угол  $\gamma$  уменьшается. Вследствие этого возникают передний подпор и заднее натяжение, если эта клеть не последняя. По (1) это приводит к увеличению угла  $\gamma$ , следовательно, исчезновению натяжения и подпора.

Т. о., при непрерывной прокатке имеет место авторегуляция продольных усилий в полосе при изменении условий внешнего трения. Поэтому этот фактор не может влиять на константу прокатки.

Если пренебречь такими факторами, влияющими на величину зазора между валками, как эксцентриситет и биение валков, то остается изменение температуры по длине раската. Это изменение обусловлено как глиссажными метками на блюмах, так и «температурным

клином», который возникает в результате большего времени на охлаждение тех частей раскатов, которые прокатываются в дальнейшем. При уменьшении температуры увеличивается сопротивление деформации металла, что ведет к увеличению силы прокатки, следовательно, к увеличению зазору между валками. В результате площадь поперечного пересечения полосы, выходящей из клетки, увеличивается против расчетного значения, и условие постоянства секундных объемов нарушается.

Известно, что при кинематически асимметричной прокатке, которая возникает при рассогласовании скоростей рабочих валков, сила прокатки может быть уменьшена в 1,2–1,3 раз [5]. Следовательно, увеличение сопротивления деформации в результате уменьшения температуры металла может быть компенсировано рассогласованием скоростей рабочих валков.

Предлагается непрерывную прокатку крупносортовых фланцевых профилей без образования петли между клетями вести следующим образом. После прокатки в каждой клетке переднего конца полосы некоторой длины датчиками измеряется сила прокатки  $P$ . При увеличении этого параметра в результате уменьшения температуры металла в некоторых сечениях и по всей длине раската скорости рабочих валков рассогласовываются до тех пор, пока сила прокатки не станет равняться  $P$ . Вследствие этого зазор между валками будет оставаться постоянным и соответствующим калибровке валков. Это обеспечит постоянство секундных объемов металла, которые проходят через все клетки непрерывной группы, следовательно, неизменность константы прокатки.

Покажем на примере, что кинематически асимметричной прокаткой можно поддерживать постоянство константы прокатки без образования петли. Пусть на крупносортном стане 600 прокатываются швеллеры № 20П из стали 3сп. После непрерывной прокатки в черновой группе из 6 клетей, где поддержание постоянства секундных объемов металла не является необходимым, полоса попадает в чистовую непрерывную группу из 8 клетей. При прокатке по существующей калибровке валков возникает распределение температуры и силы прокатки по длине раскатов, приведенное в табл. 1.

Таблица 1

Температурные и силовые параметры прокатки швеллера № 20 на крупносортном стане 600

№ прохода	Клеть	Температура, °С			Сила прокатки, МН			$\varepsilon$	$K_V$
		$t_n$	$t_3$	$\Delta t$	$P_n$	$P_3$	$\Delta P$		
6	7Г	1128,5	1119,4	9,1	1,742	1,783	0,041	0,492	1,048
7	9Г	1095,3	1086,0	9,3	1,262	1,297	0,035	0,349	1,016
8	10Г	1081,9	1074,3	7,6	1,021	1,045	0,024	0,315	1,008
9	11Г	1018,2	980,6	37,6	1,064	1,204	0,14	0,214	1,064
10	12Г	978,8	945,0	33,8	0,998	1,120	0,121	0,231	1,057
11	13Г	931,1	904,6	26,5	1,068	1,174	0,106	0,185	1,059
12	16Г	870,2	839,1	31,1	1,311	1,476	0,165	0,113	1,106
13	17У	831,7	804,2	27,5	0,0	0,0	0,0	–	–

В табл. 1 обозначено:  $t_n$  – температура переднего конца;  $t_3$  – температура заднего конца;  $\Delta t$  – разница температур на длине раската;  $P_n$ ,  $P_3$  – сила прокатки на переднем и заднем концах соответственно;  $\Delta P$  – разница в силе прокатки на заднем и переднем концах;  $K_V$  – степень рассогласования скоростей горизонтальных валков, необходимая для стабилизации силы прокатки по длине раската:  $K_V = V_n/V_3$ , где  $V_n$ ,  $V_3$  – скорости нижнего и верхнего валков.

В 13-м проходе сила прокатки в горизонтальных валках равняется нулю из-за того, что в этой клетке обжатие стенки не делается, а только подгибаются полки вертикальными валками.

Температурный режим рассчитывали по программе, в основе которой математическая модель теплового состояния фланцевых профилей УкрНИИМет [6]. Сопротивление деформации находили по данным Л. Андреюка и Г. Тюленева [7], а коэффициент напряженного состояния – по эмпирической формуле работы [8]. Степень рассогласования скоростей рабочих валков, необходимую для стабилизации силы прокатки, можно найти из формулы работы [5]:

$$\frac{\Delta P}{P_3} = 5,5146 - 3,995 \varepsilon - 2,27 \varepsilon^2 - 11,331 K_V + 5,112 \varepsilon K_V + 5,703 K_V^2, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – степень деформации, доли единицы.

Решив это уравнение относительно  $K_V$ , получили значения степеней рассогласования скоростей нижнего и верхнего валков, которые сведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что для стабилизации силы прокатки по длине сортовых раскатов максимально необходимая степень рассогласования скоростей  $K_V = 1,106$ , тогда как, согласно работы [5], степень рассогласования можно повышать до  $K_V = 1,18$ , после чего уже начинается пробуксовка валков.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, применение данного способа позволяет вести непрерывную прокатку фланцевых профилей без образования петли, образование которой на крупносортовых станах невозможно. Это ведет к получению тех преимуществ, которые имеет непрерывная прокатка в сравнении с последовательной: к большей производительности, меньшим потерям тепла, следовательно, к экономии энергии на нагрев блюмов, к более высокому качеству продукции. И главное – к возможности создания литейно-прокатных агрегатов для производства крупносортовых профилей совмещением непрерывного литья и непрерывной прокатки. Применение нового способа прокатки возможно в обычных сортовых клетках при условии использования индивидуального привода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Производство сортового проката в широком сортаменте / Н. Ф. Гришук, Х. М. Сапрыгин, И. В. Гунин и др. – М. : Металлургия, 1973. – 271 с.
2. Бахтинов В. Б. Прокатное производство / В. Б. Бахтинов. – М. : Металлургия, 1987. – 415 с.
3. Целиков А. И. Современное развитие прокатных станов / А. И. Целиков, В. И. Зюзин. – М. : Металлургия, 1972. – 399 с.
4. Грудев А. П. Теория прокатки / А. П. Грудев. – М. : Металлургия, 1988. – 239 с.
5. Данько А. В. Удосконалення технології гарячої прокатки товстих листів шляхом керування швидкісними режимами деформування : автореф. дис. канд. техн. наук / А. В. Данько. – Краматорськ, 2008. – 19 с.
6. Расчет температуры металла по проходам при прокатке простых и фланцевых профилей / Под ред. В. С. Медведева // Сталь. – УкрНИИМет, 1981. – № 6. – С. 49–51.
7. Андреюк Л. В. Аналитическая зависимость сопротивления деформации металла от температуры, скорости и степени деформации // Сталь. – 1972. – № 9. – С. 825–828.
8. Смирнов В. Калибровка прокатных валков / В. К. Смирнов, В. А. Шилов, Ю. В. Инатович. – М. : Металлургия, 1987. – 192 с.

Данько В. М. – канд. техн. наук, доц. ДонГТУ;

Данько А. В. – канд. техн. наук ДонГТУ.

ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск.

E-mail: [danko\\_vm@mail.ru](mailto:danko_vm@mail.ru)