

В. А. ТИЩЕНКО (РУП БМЗ),
А. А. ГОРБАНЕВ, канд. техн. наук, С. М. ЖУЧКОВ, д-р техн. наук
(Институт черной металлургии НАН Украины),
А. Б. СТЕБЛОВ, д-р техн. наук (РУП БМЗ)

КОЭФФИЦИЕНТ ПЛЕЧА МОМЕНТА ПРИ ПРОКАТКЕ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЧИСТОВЫХ БЛОКАХ ПРОВОЛОЧНЫХ СТАНОВ

На современных проволочных и мелкосортно-проволочных станах для производства катанки используют непрерывные чистовые группы, выполненные в виде блоков клетей. Прокатка в блоках производится с небольшими межклетьевыми усилиями в раскате. В качестве рабочих валков используются дисковые твердосплавные шайбы диаметром 150 – 210 мм. Применяемая система калибровки валков: круг – овал – круг. Скорость прокатки катанки в таких блоках достигает 100 – 120 м/с.

При расчетах энергосиловых параметров прокатки необходимо знание коэффициента плеча момента ψ' , который вычисляется по формуле

$$\psi' = a/l, \quad (1)$$

где a – плечо равнодействующей сил, приложенных к металлу в очаге деформации; l – длина очага деформации.

В технической литературе имеется большое количество публикаций, посвященных теоретическому и экспериментальному определению плеча равнодействующей и коэффициента плеча момента при горячей деформации в различных системах калибров [1 – 11].

Точка приложения равнодействующей при прокатке без натяжения зачастую находится как центр тяжести объема, ограниченного эпюрами давлений и площадью контакта металла с валками. С небольшой погрешностью можно вместо равнодействующей в радиальном направлении определять силу прокатки P и затем рассчитывать коэффициент плеча момента ψ' . В данном случае речь идет об упрощенном представлении, так как в основу расчета крутящего момента положено не действительное распределение давления по контактной площади, а его проекция на горизонтальную плоскость [1 – 4,6].

Аналитические значения плеча равнодействующей давления металла на валки a для различных законов контактных напряжений приведены в работах [4 – 6] и др. В работе [9] рассмотрено влияние натяжений на коэффициент плеча момента при горячей прокатке на мелкосортных станах. Известны экспериментальные данные по коэффициенту плеча момента для различных случаев прокатки [6 – 11].

При прокатке в круглых и овальных калибрах блока чистовых клетей ширина раската соизмерима с длиной дуги контакта, поэтому на коэффициент плеча момента оказывает заметное влияние уширение. В результате равнодействующая давления металла на валки приближается к плоскости выхода металла из валков и коэффициент плеча момента несколько снижается. При этом на последний влияют силы трения, возникающие между металлом и стенками калибров, а также изменение ширины очага деформации по длине дуги контакта. При прокатке в круглых калибрах влияние сил трения на стенках калибра и изменения ширины полосы на величину коэффициента плеча момента больше, чем при прокатке в овальных калибрах.

В работе [2] на основании экспериментальных исследований процесса горячей прокатки стали в овальных и круглых калибрах без натяжения З. Вусатовским получены значения коэффициента плеча момента $\psi' = 0,38 - 0,44$. При этом меньшие значения относятся к температуре 1000°C , а большие – к температуре 1200°C . В работах А. П. Чекмарева и др. [9 – 11] на основании экспериментальных данных при прокатке круга в овальном калибре рекомендуется принимать $\psi' = 0,35 - 0,5$, а при прокатке овала в круглом калибре $\psi' = 0,7 - 0,8$.

В приведенных источниках коэффициенты плеча момента получены без учета особенностей процесса прокатки в высокоскоростных блоках чистовых клетей современных проволочных станов. Массовые силы и межклетьевые усилия, воздействуя на момент прокатки и давление металла на валки в клетях блока [12], оказывают влияние и на коэффициент плеча момента. До настоящего времени влияние массовых сил и межклетьевых усилий на коэффициент плеча момента с учетом особенностей процесса прокатки в высокоскоростных блоках чистовых клетей современных проволочных станов глубоко не исследовалось.

Отдельные результаты были получены при исследовании деформационных и энергосиловых параметров прокатки в блоке стана 150 Белорецкого металлургического комбината (БМК). Здесь в первой и третьей клетях экспериментальные значения коэффициента плеча момента составили 0,44 и 0,60, во второй и четвертой – 0,56 и 0,52. Однако блок чистовых клетей стана 150 БМК имеет несколько меньшие значения общего (суммарного) коэффициента вытяжки по сравнению с блоком стана 150 БМЗ – соответственно $\mu_\Sigma = 6,06$ и $\mu_\Sigma = 9,03$. Ввиду этого более глубокое исследование влияния динамического эффекта (массовых сил) на коэффициент плеча момента весьма актуально, особенно для условий прокатки в высокоскоростных блоках чистовых клетей современных проволочных станов.

Аналитически коэффициент плеча может быть определен из выражения

$$\psi' = \frac{4kf'RF_1}{\Delta p_{cp}S_K} \left(\mu - 2 \frac{F_{II}}{F_I} + 1 \right) - \frac{kRF_1}{p_{cp}S_K l} (\psi_1 - \psi_0) (1 + S) + \frac{\rho RF_1}{2p_{cp}S_K l} \left(\frac{\mu + 1}{2\mu} \right) V_1^2 \ln \mu, \quad (2)$$

где k – сопротивление чистому сдвигу; f' – показатель сил трения; R – катающий радиус; F_n , F_1 – площадь поперечного сечения раската в нейтральном сечении и на выходе из клетки соответственно; Δh – абсолютное обжатие по центру калибра; μ – коэффициент вытяжки; p_{cp} , S_k – среднее давление прокатки и контактная площадь; l – длина очага деформации; $\psi_1 = \sigma_1 / (2k)$ и $\psi_0 = \sigma_0 / (2k)$ – коэффициенты переднего и заднего натяжений соответственно (σ_1 и σ_0 – удельное переднее и заднее натяжения соответственно); S – опережение; ρ – плотность металла; V_1 – скорость металла на выходе из клетки (вычисляются по уравнениям, приведенным в работе [12]).

Первое слагаемое в уравнении (2) определяет влияние продольных усилий в раскате на коэффициент плеча момента в данной клетки блока, второе слагаемое – влияние массовых сил, т. е. скорости прокатки.

Массовые силы увеличивают коэффициент плеча момента, что объясняется в основном увеличением момента прокатки. Изменение среднего давления прокатки оказывает значительно меньшее влияние.

С увеличением скорости прокатки, т. е. скорости металла на выходе из последней клетки блока, коэффициент плеча момента увеличивается. Чем больше коэффициент вытяжки металла в клетки, тем больше коэффициент плеча момента и тем большее влияние на него оказывает скорость прокатки. По мере перемещения в направлении от последней клетки блока к первой (против хода прокатки) на коэффициент плеча момента слабее воздействуют массовые силы. Так, при прокатке катанки диаметром 5,5 мм в чистовом блоке БМЗ увеличение скорости прокатки от 50 до 150 м/с практически не оказывает влияния на коэффициент плеча момента в пяти первых клетях. В предпоследней клетки он увеличивается на 16%, в последней – на 27%. Таким образом, влияние массовых сил на коэффициент плеча момента при скорости прокатки катанки на выходе из блока до 150 м/с обязательно следует учитывать в двух-трех последних клетях блока.

На рис. 1 показаны расчетные кривые коэффициента плеча момента в последней клетки современного блока в зависимости от скорости прокатки и вытяжки, при этом межклетьевые усилия равны нулю.

С увеличением отношения α / f' возрастает влияние массовых сил на коэффициент плеча момента; заднее натяжение его увеличивает, переднее – уменьшает.

При прокатке с натяжением равнодействующая сил давления валков на металл смещается по длине дуги контакта и отклоняется (по условиям равновесия сил) в сторону, обратную направлению натяжения [9].

Оба фактора – смещение равнодействующей и ее наклон – оказывают различное влияние на величину плеча момента. При переднем натяжении

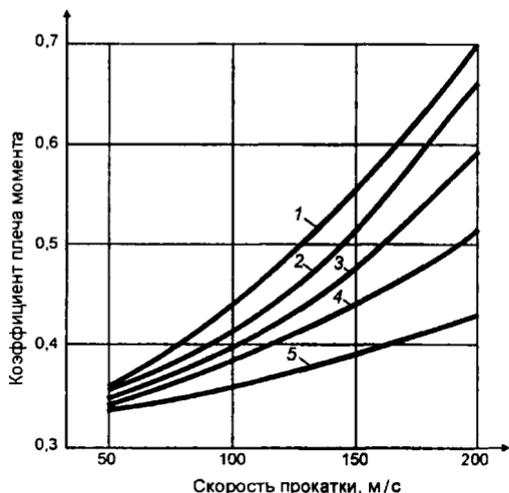


Рис. 1. Влияние скорости прокатки и вытяжки на коэффициент плеча момента в последней клетке чистового блока (катанка диаметром 6,5 мм из стали 70, $\psi_1 = \psi_0 = 0$):

1 - $\mu = 1,5$; 2 - $\mu = 1,4$; 3 - $\mu = 1,3$; 4 - $\mu = 1,2$; 5 - $\mu = 1,1$

величина плеча при заднем натяжении будет тогда, когда равнодействующая направлена по касательной к валку; в этом случае плечо момента равно катающему радиусу валка.

При одновременном действии переднего и заднего натяжений (подпоре) в клетке блока величина плеча момента определяется соотношением величин продольных усилий. При $\psi_1 = \psi_2 = 0$ (режим свободной прокатки без продольных усилий) или $\psi_1 = \psi_2$ второе слагаемое в уравне-

или заднем подпоре расстояние точки приложения равнодействующей от плоскости оси валков увеличивается, а наклон равнодействующей уменьшает плечо момента. При заднем натяжении или переднем подпоре точка приложения равнодействующей смещается в сторону выхода металла из валков, а наклон равнодействующей увеличивает плечо момента (рис. 2).

При прокатке с большим передним натяжением или задним подпором, когда плечо равнодействующей равно радиусу трения в подшипниках валков, крутящий момент в отдельной клетке равен нулю. Максимальной

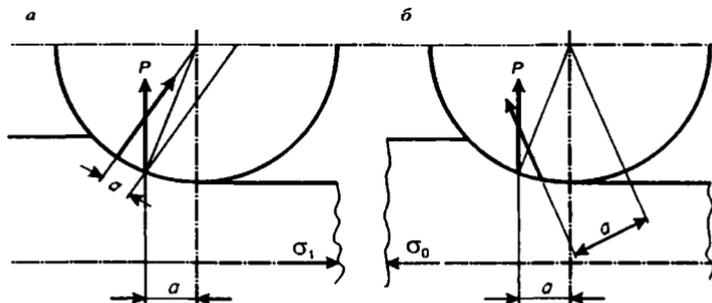


Рис. 2. Схема действия сил в клетке чистового блока при прокатке с межклетьевыми усилиями:

а - переднее натяжение (задний подпор); б - заднее натяжение (передний подпор)

нии (2) обращается в нуль и межклетьевые усилия не оказывают влияния на коэффициент плеча момента.

Практически во всех конструкциях чистовых блоков, изготовленных различными фирмами, наблюдаются случаи неравномерного распределения межклетьевых усилий не только по величине, но и по знаку. Нечетные клетки чаще работают с задним натяжением и передним подпором, четные – с передним натяжением и задним подпором. В этом случае совместное влияние межклетьевых усилий и массовых сил на коэффициент плеча момента в большей степени сказывается в нечетных клетях блока, что необходимо учитывать при расчете энергосиловых параметров прокатки.

Таким образом, установлено, что:

1) при определении коэффициента плеча момента необходимо учитывать влияние динамического эффекта (массовых сил), особенно для условий прокатки в высокоскоростных блоках чистовых клетей современных проволочных станов. Получено аналитическое выражение для коэффициента плеча с учетом массовых сил и межклетьевого натяжения;

2) массовые силы увеличивают коэффициент плеча момента вследствие увеличения момента прокатки; изменение среднего давления прокатки оказывает значительно меньшее влияние;

с увеличением скорости прокатки и коэффициента вытяжки металла в клетки коэффициент плеча момента растет, причем чем больше коэффициент вытяжки металла в клетки, тем большее влияние на коэффициент плеча момента оказывает скорость прокатки;

с увеличением отношения α/f' растет влияние массовых сил на коэффициент плеча момента, при этом заднее натяжение увеличивает коэффициент плеча момента, переднее – уменьшает;

3) влияние массовых сил на коэффициент плеча момента при скорости прокатки катанки на выходе из блока до 150 м/с обязательно следует учитывать в двух-трех последних клетях блока;

совместное влияние межклетьевых усилий и массовых сил на коэффициент плеча момента в большей степени сказывается в нечетных клетях блока, что необходимо учитывать при расчете энергосиловых параметров прокатки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Eimicke O.* Kalt und Warmwalzen von Leichtmetallblechen / Z.VDI, Bd. 87. – 1943. – S. 435 – 438.
2. *Вусатовский З.* Основы прокатки. – М.: Металлургия, 1967. – 581 с.
3. *Королев А. А.* Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. – М.: Металлургия, 1969. – 461 с.
4. *Спиридонов Н. П.* Графоаналитический метод определения плеча полной равнодействующей // Прокатное производство: Сб. науч. тр. ИЧМ. – Киев. – 1956. – Т. 10. С. 39 – 48.

5. *Кирилин Н. М.* Аналитическое определение положения равнодействующей металла на валки при простом процессе прокатки // Изв. вузов. Машиностроение. – 1959. – № 11. – С. 46 – 48.

6. Теория прокатки: Справ. / А. И. Целиков, А. Д. Томленов, В. И. Зюзин и др. – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.

7. *Рокотян Е. С.* Исследование прокатных станов с целью повышения их производительности // Прокатные станы и технология прокатки: Сб. науч. тр. ВНИИМетМаш. – М.: Машгиз, 1955. – С. 127 – 166.

8. *Валквист Г.* Исследование энергосиловых параметров при горячей прокатке металла / Под ред. Е. С. Рокотяна. – М.: Metallurgizdat, 1957. – 112 с.

9. Прокатка на мелкосортных станах / А. П. Чекмарев, В. П. Гречко, В. В. Гетманец и др. // М.: Металлургия. – 1967. – 363 с.

10. *Цоухар Г.* Силовые воздействия при прокатке в вытяжных калибрах. – М.: Металлургия. – 1963. – 207 с.

11. *Хензель А., Шпиттель Т.* Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением: Справ./ Под. ред. В. П. Полухина. – М.: Металлургия. – 1982. – 380 с.

12. Давление и момент прокатки в высокоскоростных чистовых блоках с учетом массовых сил в зонах деформации/ А. А. Горбанев, В. В. Филиппов, С. М. Жучков и др. // Литье и металлургия. – 2001. – № 3. – С. 70 – 74.