

УДК 621.771.07

В. А. Николаев (Запорожская государственная инженерная академия)

Напряжение при волочении полос в неприводных валках

Для расчета напряжений (усилий) волочения в монолитных волоках используют известные выражения, приведенные в работах [1-3 и др.]. Закономерности воздействия на условия деформации и на напряженное состояние металла в неприводных валках (роликах) имеют существенные отличия [1, 4-6]. При волочении в неприводных валках (прокатка-волочение – ПВ) существенно снижается влияние контактных касательных напряжений и изменяется кинематика продольного течения металла в очаге деформации. За счет возникновения значительных продольных растягивающих напряжений в процессе ПВ опережение и угол критического сечения существенно больше, чем в классическом процессе прокатки в приводных валках. Уменьшаются продольные подпирющие напряжения σ_3 в очаге деформации в результате действия растягивающих напряжений от усилия волочения полосы. В работе [7] теоретически и практически показана целесообразность установки клетки с неприводными валками в линии непрерывного сортового стана. Наличие клетки с неприводными валками, в которой полоса протягивается валками предыдущей клетки, в зависимости от условий прокатки позволяет сократить потребляемую мощность прокатки на 6,5-43,7 %. В работе [4] на основании энергетического метода получены теоретические зависимости напряжения волочения (протягивания) в неприводных роликах, учитывающие влияние основных технологических параметров. В упрощенном виде для практического использования рекомендуются следующие выражения для расчета напряжений:

$$\frac{\sigma_b}{2\tau_s} = (\ln \lambda + \alpha / 2) \left[1 + \frac{f}{\alpha} (2m - 1) \right]; \quad (1)$$

$$\frac{p_{cp}}{2\tau_s} = (\ln \lambda + \alpha / 2) / (\lambda - 1); \quad (2)$$

$$m = 0,5 \left(1 + \frac{f_{ш}}{f} \cdot \frac{r}{R} \right), \quad (3)$$

где σ_b – напряжение волочения; p_{cp} – среднее нормальное контактное напряжение; τ_s – напряжение

Теоретическими исследованиями установлено, что в процессе прокатка-волочение (ПВ) снижение влияния внешнего трения в очаге деформации обеспечивает уменьшение усилия прокатки. Процесс ПВ может быть использован при $\sigma_b / \sigma_T < 0,5$

сдвига металла; λ – коэффициент высотной деформации; α – угол контакта; f – коэффициент трения в очаге деформации; $f_{ш}$ – коэффициент трения в шейках валков; r – радиус шейки; R – радиус валка.

Выражения (1) и (2) мало отличаются от приведенных более точных выражений. Авторы [4] отмечают, что при $f = 0,1$ и увеличении коэффициента λ от 1,1 до 2,2 параметр $\sigma_b / 2\tau_s$ возрастает от 0,75 до 1,0, а параметр $p_{cp} / 2\tau_s$ уменьшается от 1,5 до 0,8, которые адекватны экспериментальным данным. Из выражения (1) также следует, что коэффициент трения не влияет на напряжения σ_b при $m = 0,5$ и мало влияет при $m > 0,5$ ($m = 0,6-0,7$).

Принимая во внимание незначительное влияние коэффициента трения определим напряжение волочения в неприводных валках из условия равновесия горизонтальных составляющих сил, действующих на очаг деформации:

$$P_x - T_{x1} + T_{x2} - \frac{T_b}{2} = 0, \quad (4)$$

где T_{x1} , T_{x2} – горизонтальные составляющие сил трения соответственно в зонах отставания и опережения; P_x – горизонтальная составляющая равнодействующей усилия деформации; T_b – усилие волочения в неприводных валках.

Равнодействующие указанных сил при равномерном распределении соответствующих напряжений расположены в средней точке длины каждой зоны. Решаем выражение (4) в напряжениях, принимая закон трения Амонтона $T = fP$ (где P и T – нормальное усилие и сила трения), и получаем для одного валка (ширина полосы $B = l$)

$$p_{cp} l_d \frac{\alpha}{2} - p_{cp} f (l_d - l_\gamma) + p_{cp} f l_\gamma = T_b / 2, \quad (5)$$

где p_{cp} – среднее нормальное контактное напряжение; l_d – длина дуги контакта; l_γ – длина зоны опережения; f – коэффициент трения.

После преобразования уравнения (5) получим

$$\frac{\sigma_B}{p_{cp}} = \frac{\Delta h}{h} \left[1 - \frac{2f}{\alpha} \left(1 - \frac{2\gamma_\phi}{\alpha} \right) \right], \quad (6)$$

где α – угол контакта; γ_ϕ – фактический угол критического сечения.

Принимаем для $l_d \alpha = R\alpha^2 = \Delta h$. Для освобождения уравнения (5) от среднего нормального контактного напряжения p_{cp} используем соотношение между касательными напряжениями в законах трения Амонтона и Зибеля [8, 9].

$$f_{II} = f \cdot \frac{p_{cp}}{\sigma_T}, \quad (7)$$

где f_{II} – показатель трения; σ_T – напряжение течения металла.

Решая совместно уравнения (6) и (7) получим для одного валка

$$\frac{\sigma_B}{\sigma_T} = \frac{f_{II}}{f} \cdot \frac{\Delta h}{h} \left[1 + \frac{2f}{\alpha} \left(\frac{2\gamma_\phi}{\alpha} - 1 \right) \right], \quad (8)$$

где $n = \gamma_\phi / \alpha \approx 0,55-0,60$.

Параметр $\frac{\sigma_B}{\sigma_T}$ показывает относительную величину напряжения натяжения σ_B , необходимую для преодоления сопротивления горизонтальных сил в очаге деформации.

На основании исследований при волочении металла параметр f_{II} / f находится в пределах 0,86-0,91.

Имея в виду выражения (7) и (8), получим

$$n_\sigma = \frac{p_{cp}}{\sigma_T} \cdot \frac{\sigma_B / \sigma_T}{\frac{\Delta h}{h} \left[1 + \frac{2f}{\alpha} \left(\frac{2\gamma_\phi}{\alpha} - 1 \right) \right]}. \quad (9)$$

По выражениям (1), (2) и (8), (9) выполнены расчеты параметров для условий волочения, указанных на рисунке.

Как следует из рисунка, функция σ_B / σ_T возрастает с увеличением относительного обжатия с $\sim 0,08-0,17$ (при $\varepsilon = 0,05$) до $\sim 1,06$ (при $\varepsilon = 0,5$). Увеличение обжатия способствует достижению условий $\sigma_B / \sigma_T = 1$ и пластическому течению полосы после выхода из валков. Данные, полученные по формулам (1) и (8), близки между собой.

Из рисунка б следует, что функция p_{cp} / σ_T , определенная по формуле (9), практически не зависит от относительного обжатия. Функция p_{cp} / σ_T , рассчитанная по формуле (2), изменяется по параболической зависимости, уменьшаясь с $\sim 1,3$ до 0,87 с увеличением относительного обжатия [4]. Значение функции p_{cp} / σ_T при $\varepsilon = 0,4$ превышает единицу, что вызывает сомнение. Действительно, при прокатке в приводных валках без натяжения, где коэффициент трения заметно влияет на напряженное состояние, параметр p_{cp} / σ_T не превышает 1,15 [9]. При волочении в неприводных валках с незначительным

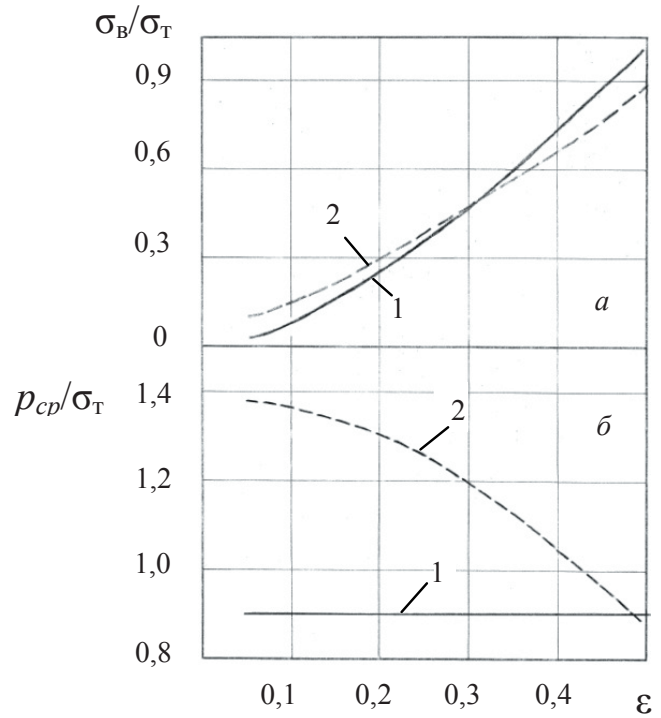


Рис. Влияние относительного обжатия на параметры σ_B / σ_T (а) и p_{cp} / σ_T (б). $R = 25$ мм; $H = 2$ мм; $f = 0,1$; $n = 0,6$: 1 – по формулам (8), (9); 2 – по формулам (1), (2).

влиянием коэффициента трения параметр $p_{cp} / \sigma_T < 1$, что соответствует данным рисунка б.

При ограничении в практических условиях величины напряжения волочения в неприводных валках отношением $\sigma_B / \sigma_T = 0,5$, величина обжатия полосы в клети может достигать $\varepsilon \approx 30$ % (рисунок, а). Имея в виду, что напряжение течения металла $\sigma_{те}$ после выхода несколько больше (в $\sim 1,15-1,2$ раза), чем среднее напряжение течения металла (σ_T), предельная величина относительного обжатия может быть соответственно больше. Прокатка-волочение в неприводных валках является более эффективным процессом, нежели прокатка в приводных валках.

В качестве примера приведем сравнение энергосиловых параметров для клети № 1 непрерывного стана 2030 [10, табл. 29]. При существующем процессе с передним напряжением σ_n усилие прокатки равно $P = 9,36$ МН, а мощность двигателя составляет $N = 2572$ кВт. В первую очередь определены усилие и мощность прокатки без влияния переднего натяжения. В результате расчета получим соответственно: $P_1 = 10,9$ МН, $N_1 = 3070$ кВт. При расчете по формуле (8) установили значение σ_B / σ_T ($\sigma_B / \sigma_T = 0,275$). В существующем процессе соотношение $\sigma_n / \sigma_T = 0,175$. Принимая во внимание пропорциональность изменения среднего нормального контактного напряжения и усилия прокатки, получим

$$P_B = P_1 (1 - \sigma_B / \sigma_T) = 10,9 \cdot 0,725 \approx 8,0 \text{ МН,}$$

где P_B – усилие на валки в процессе ПВ.

Таким образом, в процессе прокатка-волочение усилие на валки снижается на 14,2 %, не считая

вероятность снижения P_B , в результате некоторого уменьшения длины дуги контакта.

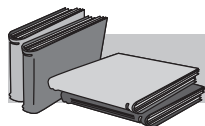
Процесс ПВ может быть использован на непрерывном широкополосном (ШСП) и на дрессировочном станах. На ШСП, например, процесс ПВ может быть использован при прокатке утолщенного заднего конца полосы в клетке № 1. С этой целью при подходе утолщенного участка полосы к клетке № 1 электродвигатели этой клетки отключают и процесс ПВ осуществляется за счет натяжения полосы валками клетки № 2. В этом случае в клетке № 2 несколько снижается усилие прокатки и повышается мощность прокатки. Такой же способ может быть применен и в клетках № 2, 3 стана.

Следует иметь в виду, что целостность полосы на межклетевом участке обусловлена величиной растягивающих напряжений. Напряжение волочения полосы по расчету равно $\sigma_B = 0,275 \cdot \sigma_T = 0,275 \cdot 460 =$

$= 124$ МПа. Напряжение течения металла (СТ2кп) после прокатки равно [11] $\sigma_{TE} = 530$ МПа. Тогда отношение $\sigma_B / \sigma_{TE} = 124 \cdot 530 = 0,234$, что находится в пределах существующих значений параметра σ_B / σ_T .

Вывод

Теоретическими исследованиями установлено, что в процессе прокатка-волочение (ПВ) снижение влияния внешнего трения в очаге деформации обеспечивает уменьшение усилия прокатки при допустимых значениях σ_B / σ_T (σ_B / σ_{TE}). Увеличение обжатия обуславливает повышение сопротивления волочению и при обжатиях $\varepsilon > 0,35$ отношение $\sigma_B / \sigma_T > 0,5$ и процесс ПВ могут быть ограничены прочностью металла. Процесс ПВ может быть использован, например, при прокатке утолщенного заднего конца полосы на непрерывном широкополосном, а также на дрессировочном станах.



ЛИТЕРАТУРА

1. Перлин И. Л., Ерманок М. З. Теория волочения. – М.: Металлургия, 1971. – 448 с.
2. Николаев В. О. Технологія волочіння металу. – Запоріжжя: ЗДІА, 2003. – 155 с.
3. Николаев В. А., Васильев А. Г. Оценка методов определения коэффициента трения при волочении // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1991. – № 7. – С. 48-50.
4. Степаненко В. И., Стукач А. Г., Железняк Л. М. Силовые условия при волочении через роликковую волоку // Там же. – 1973. – № 8. – С. 97-103.
5. Добров И. В., Грудев А. П., Коковихин Ю. И. Сравнительный анализ процессов прокатки и волочения в роликковых волоках // Там же. – 1987. – № 10. – С. 44-48.
6. Добров И. В. Анализ влияния коэффициента внешнего трения на параметры процесса волочения в роликковых волоках // Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. – Дніпропетровськ, 2005. – С. 131-135.
7. Непрерывная прокатка сортовой стали с использованием неприводных рабочих клетей / А. П. Лохматов, С. М. Жучков, Л. В. Кулаков и др. – Киев: Наук. думка, 1998. – 239 с.
8. Чекмарев А. П., Нефедов А. А., Николаев В. А. Теория продольной прокатки. – Харьков: ХГУ, 1965. – 212 с.
9. Николаев В. А. Теория прокатки. – Запорожье: ЗГИА, 2007. – 227 с.
10. Современный цех холодной прокатки углеродистых сталей / И. В. Франценюк, Ю. Д. Железнов, Л. А. Кузнецов, В. Г. Камышев. – М.: Металлургия, 1984. – 154 с.
11. Теория прокатки: Справочник / А. И. Целиков, А. Д. Томленов, В. И. Зюзин и др. – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.

Summary

V. A. Nikolaev

Tension in the drag strips in non drive rolls

Theoretical studies found that in the process of rolling-drawing (RD) reducing the influence of external friction in the focus of deformation provides a reduction efforts rolling. The process of the RD can be used in $\sigma_B / \sigma_T < 0.5$

Анотація

В. О. Ніколаєв

Напруга при волочінні смуг у непривідних валках

Теоретичними дослідженнями встановлено, що в процесі прокатки-волочіння (ПВ) зниження впливу зовнішнього тертя в зоні деформації забезпечує зменшення зусилля прокатки. Процес ПВ може бути використаний при $\sigma_B / \sigma_T < 0,5$

Ключевые слова

Прокатка-волочение, обжатие, неприводные валки, очаг деформации, волочение полос, монолитные волоки, клеть