

УДК 677.06.620.17

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ПО ДУГЕ КОНТАКТА ВАЛКОВ,  
КАК ФУНКЦИЯ СВОЙСТВ ПРОКАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА**

*Г.К. КУЗНЕЦОВ, В.В. ФАРУКШИН, М.С. КРАСОВСКАЯ*

(Костромской государственный технологический университет)

Общая картина взаимодействия валков с прокатываемым материалом рассмотрена ранее в [1...3]. Однако в этих работах не дается описания напряженного состояния по дуге контакта для конкретных условий прокатки материала, скоростных режимов и свойств прокатываемой полосы.

Распределение давления по дуге контакта определяет целый ряд технологических показателей процесса, таких как максимальное давление на материал, тяговую способность пары валков, величину дуги контакта. Кроме того, от него зависят механические характеристики работы валковой пары, прежде всего, сопротивление перекачиванию, его зависимость от скорости прокатки, то есть энергетические показатели процесса.

Для обоснования допущений при решении данной задачи рассмотрим действие сил на элементарный участок дуги контакта валка с прокатываемым материалом.

Выделим в прокатываемой полосе элемент, параллельный оси  $y$  (рис. 1). На него со стороны валка действуют нормальная  $dN = n(\varphi)dS$  и касательная  $dT = t(\varphi)dS$  эле-

ментарные силы, где  $dS$  – длина дуги элементарной площадки;  $n(\varphi)$  – закономерность распределения нормальных сил,  $t(\varphi)$  – закономерность распределения касательных сил;  $\varphi$  – угол, определяющий положение элемента на дуге контакта.

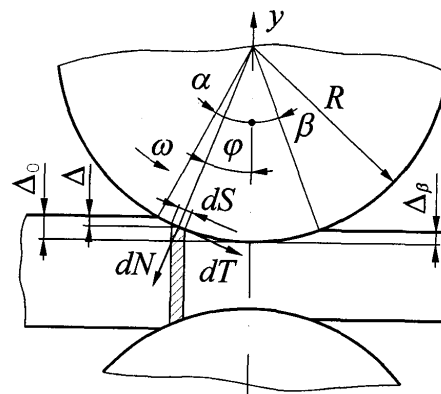


Рис. 1

Длину элементарной дуги представим как  $dS = R d\varphi$  ( $R$  – радиус валка).

Общую силу, сжимающую прокатываемую полосу, определим из выражения

$$P = \int n(\varphi)R \cos(\varphi)d\varphi \pm \int t(\varphi)R \sin(\varphi)d\varphi = R \int [n(\varphi) \cos(\varphi) \pm t(\varphi) \sin(\varphi)]d\varphi.$$

Зависимость элементарной касательной силы от нормальной не всегда предельна, то есть определяется коэффициентом, меньшим коэффициента трения. Кроме того, при незначительной величине углов на входе полосы в жало валков  $\alpha$  и на выходе из него  $\beta$  значение  $\sin(\varphi)$  также весьма мало.

Поэтому вторым слагаемым в скобках можно пренебречь. Если считать также, что величина  $\cos(\varphi)$  близка к единице, то силу  $P$  с достаточной степенью точности можно выразить как  $P = R \int n(\varphi)d\varphi$ .

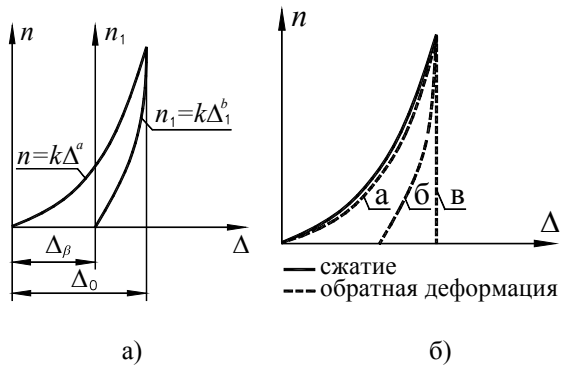


Рис. 2

Распределение нормальных сил по дуге контакта зависит от деформационных свойств прокатываемой полосы или эластичного покрытия валка, если он его имеет, и скорости деформирования.

Свойства обрабатываемого материала в данном случае следует характеризовать кривой сжатия при взаимодействии с валком и линией, определяющей восстановление его формы (рис. 2-а) [4]. При сжатии материала зависимость деформации от нагрузки будет нелинейной.

Форма кривой при обратной деформации зависит от характера материала (рис. 2-б): он может быть абсолютно упругим (а), упруговязким (б) и пластичным (в). В первом случае материал при выходе из жала валков полностью восстановит свою форму, во втором – частично, в третьем – обратной деформации не будет.

В валковой паре эти свойства материала определяют углы  $\alpha$  и  $\beta$ , которые мож-

но найти по кривым деформации (рис. 2-а):  $\cos(\alpha) = (R - \Delta_0)/R$ ,  $\cos(\beta) = (R - \Delta_1)/R$ . При пластичном материале  $\beta = 0$ .

Вязкое сопротивление материала при деформировании определяется его коэффициентом вязкости  $\mu$ , который при уплотнении материала должен возрастать, и скоростью деформирования  $d\Delta/dt$ , где  $\Delta$  – деформация элемента полосы, которую можно найти как функцию положения элемента на входной дуге:  $\Delta = R[\cos(\varphi) - \cos(\alpha)]$ .

Тогда скорость деформирования будет равна  $d\Delta/dt = R \sin(\varphi)\omega$  (знак минус после дифференцирования отсутствует вследствие разного направления скорости и угла), где  $\omega = d\varphi/dt$  – угловая скорость вращения валка.

В [5] коэффициент вязкости принят линейно зависящим от деформации, тогда нормальная элементарная сила, действующая на элемент, может быть выражена как  $n = k\Delta^a + \mu\Delta d\Delta/dt$ , где  $k$  – коэффициент жесткости (упругости);  $\mu\Delta$  – "динамический" коэффициент вязкости.

После соответствующих подстановок получаем выражение для нахождения нормального давления на входной части дуги контакта в функции угла и угловой скорости:

$$n(\varphi, \omega) = kR^a [\cos(\varphi) - \cos(\alpha)]^a + \mu R^2 \omega [\cos(\varphi) - \cos(\alpha)] \sin(\varphi). \quad (1)$$

Примем, что при  $\varphi = 0$  нормальное давление  $n = n_0$ . При восстановлении формы после выхода полосы из жала валков вязкая компонента давления отсутствует [6], и сила взаимодействия будет определяться только упругой составляющей (см. рис. 2-а), описываемой степенной зависимостью:  $n = k\Delta^b$  или в функции угла  $\varphi$ :

$$n(\varphi) = kR^b [\cos(\varphi) - \cos(\beta)]^b. \quad (2)$$

Полученное выражение должно соблюдаться при следующих условиях:  $n_{\varphi=0} = n_0$  (для сопряжения кривых на входной и выходной дугах контакта) и  $n_{\varphi=\beta} = 0$ . После подстановки первого условия в выражение (2) получаем  $n_0 = kR^b [1 - \cos(\beta)]^b$ , что дает возможность определить показатель степени  $b$ .

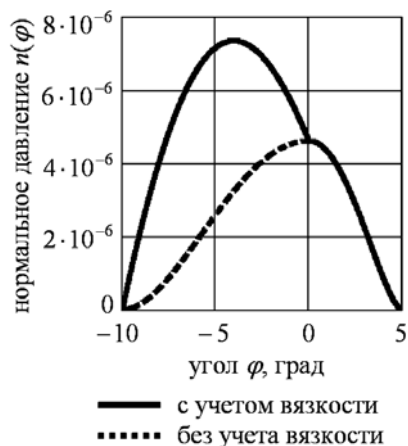


Рис. 3

Выражения (1) и (2) могут служить для построения эпюры распределения нормальных давлений по всей дуге контакта. Эпюра, построенная на основе приближенно заданных величин ( $k = 2$ ;  $\mu = 0.23$ ;  $\omega = 2$ ;  $R = 0,1$ ;  $a = 2$ ;  $\alpha = 10^\circ$ ;  $\beta = 5^\circ$ ), приведена на рис. 3.

Для конкретных случаев построения эпюр необходимо иметь информацию о свойствах прокатываемого материала. Эпюра нормальных сил, положение ее центра тяжести легко связываются с полной нагрузкой на полосу, с моментом со-

противления перекатыванию, то есть с коэффициентом трения качения, со всеми внешними силовыми факторами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Г.К., Фомин Ю.Г. Механика валковых механизмов текстильных машин: Учебное пособие. – Иваново, ИГТА, 1989.
2. Фомин Ю.Г. и др. Основы теории, конструкция и расчет валковых машин. – Часть 1. – Иваново, 1999.
3. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки. – М.: Металлургия, 1980.
4. Кузнецова Н.С. Взаимосвязь деформации и напряжения порции волокнистого материала при сжатии и снятии нагрузки // Вестник КГТУ. 2005, № 11.
5. Ишлинский А.Ю. О качении жестких и пневматических колес по деформируемому грунту / В кн.: Прикладные задачи механики. Кн. первая. – М.: Наука, 1986.
6. Фарушкин В.В., Титов С.Н., Кузнецов Г.К. Влияние вязких свойств системы на ее упругие колебания // Вестник КГТУ. – 2004, № 9.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 29.01.07.

УДК 677-486.2:539.11

### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ МОМЕНТА СИЛЫ, ИЗГИБАЮЩЕГО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКУЮ НИТЬ, ОТ ЕЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ

О.Ф. БЕЛЯЕВ, В.А. ЗАВАРУЕВ, Л.А. КУДРЯВИН,

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Ранее в [1] нами описана экспериментально полученная зависимость между натяжениями ведущей и ведомой ветвей микропроволоки при огибании ею трикотажной иглы и показано, что если микропроволока упругая, эта зависимость теоретически не объясняется. Не исключено, что ее можно будет объяснить, если микропроволока обладает упругопластическими свойствами. Поскольку в основе теоретических расчетов лежит зависимость изгибающего момента от радиуса кривиз-

ны изгибаемой нити, возникла необходимость получить эту зависимость для микропроволоки.

Для определения зависимости между радиусом кривизны, например, полотна или достаточно толстого стержня, и изгибающим их моментом сил существует довольно много методов. Однако использование их в случае тонкой нити (в том числе и микропроволоки) встречает большие трудности, связанные со сложностью из-