

УДК 621.774.3

Онучин А. Б.
Романцев Б. А.
Гончарук А. В.
Латкин Д. И.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПЛОЩАДИ КОНТАКТА МЕТАЛЛА С ВАЛКОМ ПРИ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКЕ

Так как для процесса винтовой прокатки на данный момент отсутствует точное решение объемной задачи теории пластичности [1–3], усилие металла на валки рассчитывают, определяя среднее давление и площадь контактной поверхности. Очевидно, что для создания надежного и эффективного оборудования необходим максимально точный расчет площади контактной поверхности металла с валком при винтовой прокатке.

Целью данной работы является разработка методики расчета площади контакта металла с валком при винтовой прокатке.

При винтовой прокатке отрыв металла от валков происходит, как показано на рис. 1, в плоскости, смещенной в сторону выхода заготовки на некоторую величину c , таким образом, точки отрыва металла от валков не совпадают с точками, где расстояние от поверхности валка до оси заготовки имеет наименьшее значение.

Таким образом, касание металла с валками происходит не по дуге AD , а по дуге ADE , и ширина контактной поверхности определяется не величиной b , а хордой s , причем $s > b$.

За половину оборота заготовки точка на ее поверхности переместится в направлении, нормальном к оси заготовки O_3 , на расстояние z , которое является абсолютной величиной частного обжатия. Вследствие тангенциальной раскатки фактический отрыв металла от валка происходит в точке E , которая смещена в направлении, нормальном оси OO_3 , относительно точки D предположительного отрыва металла от валка на величину g . Указанное смещение на величину g обуславливает формоизменение металла на последующем цикле обжатия заготовки, т. к. при определении величины b , зависящей от положения точки A начального касания металла с валком со стороны входа заготовки, следует брать не величину частного обжатия z , а величину, равную сумме $z + g$.

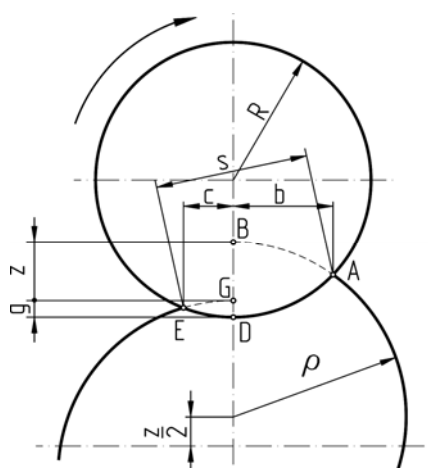


Рис. 1. Схема к определению граничных точек контактной поверхности металла с валком

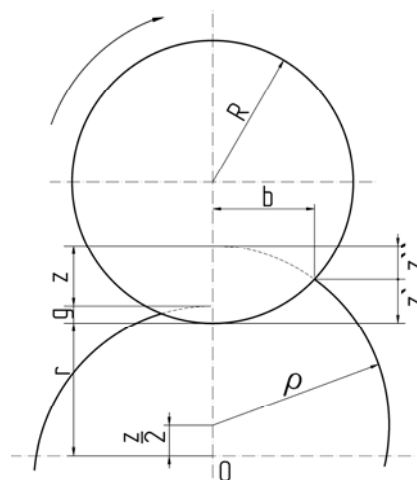


Рис. 2. Схема к определению ширины контактной поверхности со стороны входа заготовки в валки

Исходя из рассмотренной схемы, учитывающей характер движения металла в процессе прокатки, определим величины b , c и s .

Согласно схеме рис. 2 можно записать:

$$R^2 = b^2 + (R - z')^2;$$

$$\rho^2 = b^2 + (\rho - z'')^2;$$

$$z + g = z' + z''.$$

В результате подстановки получим:

$$z + g = R + \rho - \left(\sqrt{R^2 - b^2} + \sqrt{\rho^2 - b^2} \right).$$

Ввиду малости величины b по сравнению с R и ρ можно принять:

$$\sqrt{R^2 - b^2} \approx R - \frac{b^2}{2R};$$

$$\sqrt{\rho^2 - b^2} \approx \rho - \frac{b^2}{2\rho}.$$

После подстановки данных выражений в предыдущее равенство и соответствующих преобразований имеем:

$$b = \sqrt{\frac{2R\rho}{R + \rho}(z + g)}.$$

Так как $\rho = r + \frac{z}{2}$, то:

$$b = \sqrt{\frac{D(d + z)}{D + d + z}(z + g)}, \quad (1)$$

где b – ширина контактной поверхности на входной стороне стана; D – диаметр валка; d – диаметр заготовки.

Для определения ширины контактной поверхности c на выходе металла из очага деформации требуется найти точку E отрыва металла от валков.

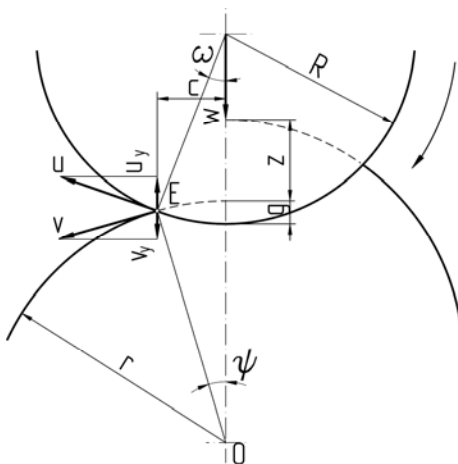


Рис. 3. Схема к определению ширины контактной поверхности со стороны выхода заготовки из валков

Исходя из схемы, показанной на рис. 3 [1], точка отрыва может быть найдена из условия:

$$\overline{v}_y = \overline{w} - \overline{u}_y, \quad (2)$$

где \overline{v}_y – вертикальная составляющая окружной скорости заготовки;

\overline{u}_y – вертикальная составляющая окружной скорости u валка;

\overline{w}_y – поступательная скорость перемещения точек поверхности валка в направлении нормальном оси прокатки o .

Согласно схеме рис. 3:

$$v_y = v \sin \psi; \quad u_y = u \sin \omega;$$

$$\sin \psi = \frac{c}{r}; \quad \sin \omega = \frac{c}{R}.$$

Отсюда:

$$v_y = \frac{c}{r} v; \quad u_y = \frac{c}{R} u.$$

Скорость w определится отношением:

$$w = \frac{z}{\tau},$$

где τ – вертикальная составляющая окружной скорости заготовки.

Последнее в свою очередь может быть найдено из соотношения:

$$\pi r = v \tau.$$

Тогда:

$$w = \frac{zv}{\pi r}. \quad (3)$$

После подстановки найденных выражений для v_y , u_y и w в условие (2) и замены радиусов r и R на диаметры d и D имеем:

$$c = \frac{Dzv}{\pi(Dv + du)}.$$

Окружные скорости заготовки и валка в точке отрыва E можно принять одинаковыми, т. е. $v = u$. Тогда:

$$c = \frac{Dz}{\pi(D+d)} \quad \text{или} \quad c = \frac{z}{\pi(1+i)}. \quad (4)$$

Величина g , входящая в выражение (1), определяются как:

$$g = w \Delta \tau,$$

где $\Delta \tau$ – время поворота заготовки на угол ψ .

Очевидно:

$$r\psi = v \Delta \tau.$$

Подставляя значения $\Delta \tau$ и ω в выражение для g , получаем:

$$g = \frac{\psi}{\pi} z.$$

Ввиду малости угла ψ можно принять:

$$\psi \approx \sin \psi = \frac{c}{r}.$$

Тогда:

$$g = \frac{zc}{\pi r}.$$

После подстановки значения c имеем:

$$g = \frac{2Dz^2}{\pi(D+d)d}. \quad (5)$$

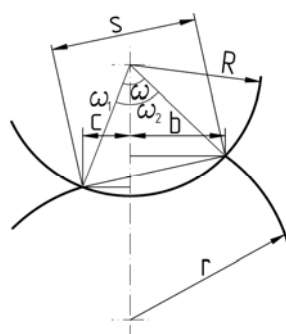


Рис. 4. Схема к определению общей ширины контактной поверхности

Заменим в формуле (1) величину g ее значением, согласно выражению (5). Тогда окончательно получаем:

$$b = \sqrt{\frac{D(d+z)}{D+d+z} \left[1 + \frac{2Dz}{\pi(D+d)d} \right] z}. \quad (6)$$

Для определения величины s обратимся к схеме рис. 4, согласно которой:

$$s = 2R \sin \frac{\omega}{2}; \quad \omega = \omega_0 + \omega_1; \quad \sin \omega_0 = \frac{b}{R}; \quad \sin \omega = \frac{c}{R}.$$

Принимая во внимание эти равенства и произведя соответствующие выкладки, получаем:

$$s = \sqrt{2R^2 - 2 \left[\sqrt{(R^2 - b^2)(R^2 - c^2)} - bc \right]}. \quad (7)$$

Итак, получено аналитическое выражение для определения ширины контактной поверхности в одном из сечений, исходя из схемы прокатки, учитывающей непрерывное сближение деформирующих поверхностей.

Каждое сечение характеризуется частным обжатием, диаметрами вала и заготовки, а так же шагом подачи (расстоянием до следующего сечения).

Согласно схеме на рис. 5 радиусы вала и заготовки в сечении i соответственно равны:

$$R_i(x) = R_{II} - xtg(\alpha); \quad r_i(x) = \frac{B}{2} + xtg(\alpha),$$

где $R_i(x)$ – радиус вала в текущем сечении; R_{II} – радиус вала в пережиме; x – расстояние от области пережима до текущего сечения; α – угол конусности участка вала в текущем сечении; B – расстояние между валами.

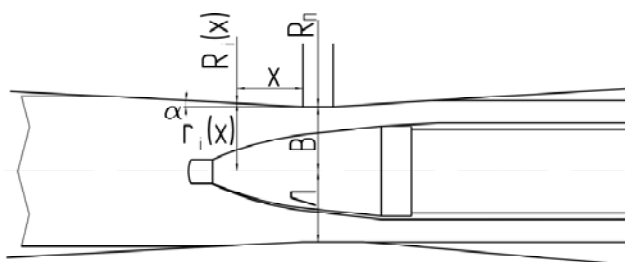


Рис. 5. Схема к определению радиуса валка и заготовки в произвольном сечении

Для определения величины частного обжатия воспользуемся известной формулой:

$$\Delta = L_i |tg\varphi \pm tg\alpha|,$$

φ – угол образующей валка; α – угол образующей оправки; L_i – величина полушага.

Для определения шагов подачи, следует рассчитать величину полушага на выходе ($L_{вых}$) из очага деформации:

$$L_{вых} = 0,5\pi d_2 tg\beta \frac{\eta_o}{\eta_T},$$

d_2 – наружный диаметр гильзы; β – угол подачи; η_o – коэффициент осевой скорости; η_T – коэффициент тангенциальной скорости.

Далее согласно закону сохранения объемов итерационным методом определяем величины остальных полушагов (L_i):

$$L_i = 0,5\pi d_i tg\beta \frac{R_{II} S_{II} \eta_o}{R_i S_i \eta_T},$$

d_i – наружный диаметр заготовки в i -ом сечении; R_i – радиус валка в i -ом сечении; S_{II} – площадь поперечного сечения гильзы; S_i – площадь заготовки в i -ом поперечном сечении.

После определения величин полушагов подачи (L_i), мы можем составить схему пятна контакта и определить его площадь F . Согласно схеме на рис. 6 площадь будет равна сумме площадей трапеций (A_i), основаниями которых будут являться длины дуг контакта S_i , а высотами – шаги подачи.

$$A_i = \frac{S_{i-1} + S_i}{2} L_i; \quad F = \sum_{i=1}^n A_i.$$



Рис. 6. Схема к определению площади контактной поверхности

После определения площади контакта валков с заготовкой можно рассчитать энерго-силовые параметры процесса прошивки.

Для реализации расчетов по предложенной методике была написана программа в среде программирования Delphi 7. Расчеты проводились для условий прошивки заготовок $\varnothing 60$ – 65 мм, по режимам указанным в табл. 1.

Таблица 1

Основные факторы экспериментальной прошивки

Фактор	Значение
Угол подачи	12–30°
Схема прошивки	бочковидная
Обжатие перед носком оправки	6–8 %
Обжатие в пережиме	12–14 %
Коэффициент овализации в пережиме	1,14
Диаметр валков в пережиме	380 мм
Углы входного и выходного конусов вала	2°30'
Диаметр заготовки	60–65 мм
Диаметр гильзы	60–65 мм
Толщина стенки	5–7 мм

Для апробации разработанной методики был проведен эксперимент по прошивке заготовок Ø60–65 мм из стали 45 в гильзы Ø60–65 мм с толщиной стенки 5–7 мм. Результаты замеров площади контактной поверхности проведенных на заготовках, заторможенных в стане в процессе прошивки, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментальные и расчетные размеры контактной поверхности

Угол подачи	Экспериментальные данные	Результаты расчета
12°	25,2 см ²	25,4 см ²
18°	25,3 см ²	25,5 см ²
24°	25,6 см ²	26,0 см ²
30°	27,0 см ²	27,9 см ²

Сравнительный анализ показал, что отклонение полученных результатов расчета от экспериментальных данных составляет не более 3 %.

ВЫВОДЫ

Получено аналитическое выражение для определения ширины контактной поверхности при прошивке заготовок в двухвалковом стане винтовой прокатки в одном из сечений, исходя из схемы прокатки, учитывающей непрерывное сближение деформирующих поверхностей. Предложена методика расчета энергосиловых параметров с учетом характера движения металла в процессе прокатки. Для реализации расчетов по предложенной методике была разработана программа в среде программирования Delphi 7.

Сравнительный анализ результатов расчета с экспериментальными данными показал, что расхождение в определении размеров контактной площади металла с валками не превышает 3 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов Ф. А. Горячая прокатка и прессование труб / Ф. А. Данилов, А. З. Глейберг, В. Г. Балакин. – М. : Металлургия, 1972. – 576 с.
2. Новодережкин В. П. Теория винтовой прокатки: геометр. задача, кинемат. задача, очаг деформации / В. П. Новодережкин. – Совет. спорт, 2008. – 141 с.
3. Розов Н. В. Холодная прокатка стальных труб / Н. В. Розов. – М. : Металлургия, 1977. – 184 с.

Онучин А. Б. – аспирант НИТУ «МИСиС»;

Романцев Б. А. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой НИТУ «МИСиС»;

Гончарук А. В. – д-р техн. наук, проф. НИТУ «МИСиС»;

Латкин Д. И. – аспирант НИТУ «МИСиС».

НИТУ «МИСиС» – Национальный исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов», г. Москва, Россия.

E-mail: alexustasu@gmail.com