

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МГНОВЕННОГО ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПОЛОСОВОЙ ШАГОВОЙ ПРОКАТКЕ ОБРАТНЫМ ХОДОМ

Г.И. Коваль, В.В. Фоменко

GEOMETRIC PARAMETERS OF INSTANT DEFORMATION SITE AT REVERSE STRIP STEP ROLLING

G.I. Koval, V.V. Fomenko

В статье описана методика расчета геометрических параметров при полосовой шаговой прокатке обратным ходом.

Ключевые слова: шаговая прокатка обратным ходом, геометрические параметры, мгновенный очаг деформации.

The article describes the design procedure of geometrical parameters at reverse strip step rolling.

Keywords: reverse step rolling, geometrical parameters, instant deformation site.

Проектирование технологии и оборудования полосовой шаговой прокатки [1, 2], осуществляемой, пользуясь терминологией прокатки на станах ХПТ, обратным ходом, требует знания геометрических параметров мгновенного очага деформации.

При получении зависимостей для расчета геометрических параметров мгновенного очага деформации применяем известные методы, основанные на использовании в качестве исходных данных параметров прокатных валков, принятии условия пересечения поверхности валков и конуса деформации при определении линии входа металла в валки с учетом линейного смещения металла, определяемого по «правилу Емельяненко», допущении, что линия выхода металла из валков находится в плоскости осей поворота валков.

Для определения угла касания и площади контактной поверхности полосы с валками необходимо знать геометрические границы мгновенного очага деформации.

Зависимости для определения координаты Z передней границы мгновенного очага деформации [3], с учетом особенностей шаговой прокатки обратным ходом имеют вид:

- для условий прокатки калибрующим участком валков (рис. 1)

$$\cos \left\{ \frac{\sqrt{R_{\text{кал}}^2 - (Z - D_0/2)^2} + X_{\delta 1}}{\rho} - \frac{e \sqrt{1 - \left[\frac{(D_0/2 - Z)^2 + e^2 - \rho^2}{e(D_0 - 2Z)} \right]^2}}{\rho} \right\} - \frac{\Delta X + X_k}{\rho} \left\{ - \frac{(D_0/2 - Z)^2 + e^2 - \rho^2}{e(D_0 - 2Z)} \right\} = 0, \quad (1)$$

- для условий прокатки калибрующим и обжимным участками валков, а также только обжимным участком валков (рис. 2)

$$\cos \left\{ \frac{\sqrt{\rho^2 - (Z - Z_0)^2} + X_0}{\rho} - \frac{e \sqrt{1 - \left[\frac{(D_0/2 - Z)^2 + e^2 - \rho^2}{e(D_0 - 2Z)} \right]^2}}{\rho} \right\} - \frac{\Delta X + X_k}{\rho} \left\{ - \frac{(D_0/2 - Z)^2 + e^2 - \rho^2}{e(D_0 - 2Z)} \right\} = 0. \quad (2)$$

Координата X линии входа металла в валки также определяется по формуле [3], учитывающей особенности шаговой прокатки обратным ходом (рис. 3)

$$X = \rho \arccos \frac{(D_0/2 - Z)^2 + e^2 - \rho^2}{e(D_0 - 2Z)} + e \sqrt{1 - \left[\frac{(D_0/2 - Z)^2 + e^2 - \rho^2}{e(D_0 - 2Z)} \right]^2} - \Delta X + X_k. \quad (3)$$

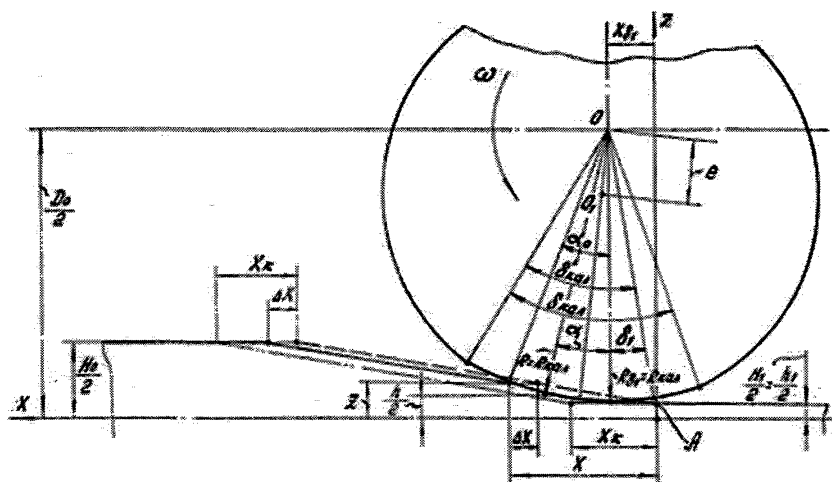


Рис. 1. Геометрия очага деформации при прокатке калибрующим участком валков

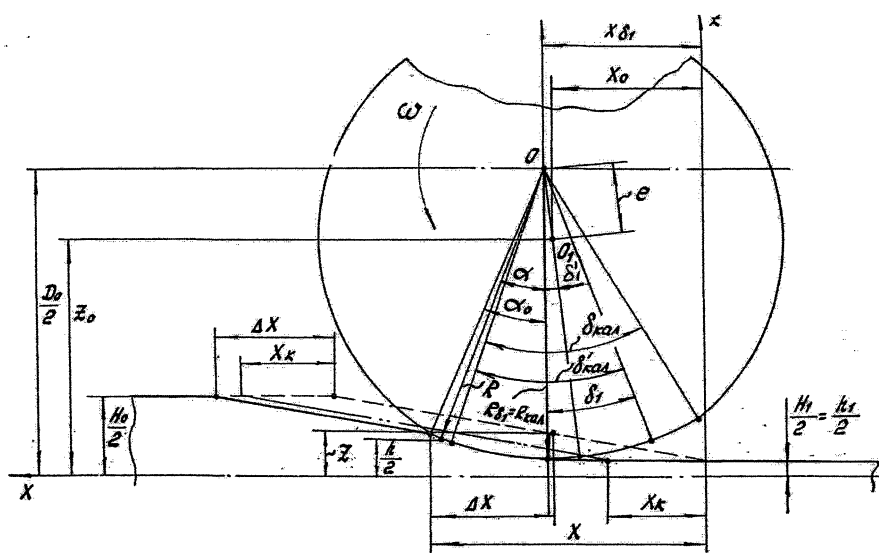


Рис. 2. Геометрия очага деформации при прокатке калибрующим и обжимным участками валков

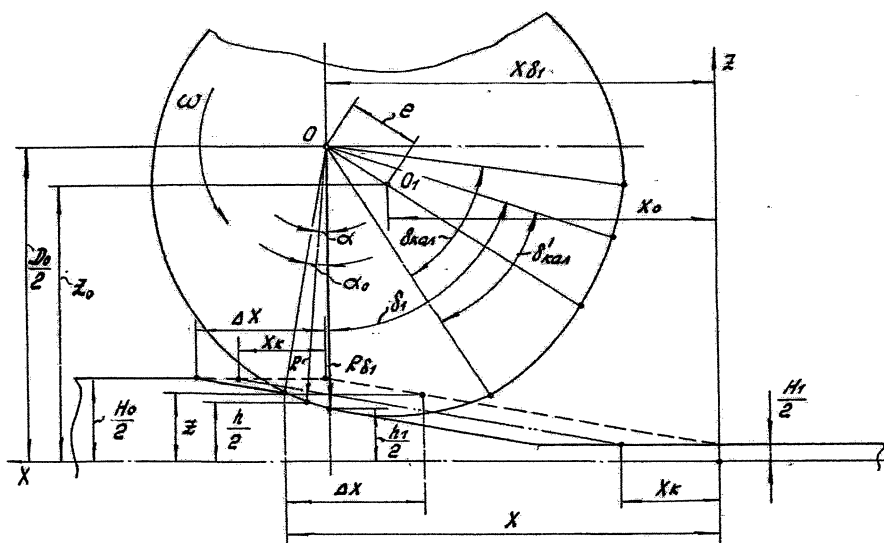


Рис. 3. Геометрия очага деформации при прокатке обжимным участком валков

В зависимостях (1), (2), (3) обозначено: D_0 – расстояние между осями валков; ρ – радиус кривизны обжимного участка; e – эксцентриситет обжимного участка; $R_{\text{кал}}$ – радиус калибрующего участка.

Учитывая, что данные зависимости получены при начале отсчета угла поворота валков на линии OO_1 , а фактически обжатие полосы начинается в точке A (см. рис. 1), следует связать координаты угла поворота валков δ_1 и δ_1^1 , характеризующие положение мгновенного очага деформации. Согласно рис. 2

$$\delta_1^1 = \delta_1 - (\delta_{\text{кал}}^1 - \delta_{\text{кал}}/2).$$

Угол $\delta_{\text{кал}}^1$, характеризующий часть длины калибрующего участка валков, осуществляющего обжатие заготовки на конусе деформации, определяется по формуле

$$\delta_{\text{кал}}^1 = m\lambda/R_{\text{кал}},$$

где m – подача полосы; λ – вытяжка полосы.

Координаты центра кривизны обжимного участка валков в принятой системе координат равны

$$X_0 = X_{\delta_1} - e \sin \delta_1^1,$$

$$Z_0 = D_0/2 - e \cos \delta_1^1.$$

Параметр X_k , характеризующий смещение начала обжимного участка валка от линии OO_1 , определяется соотношением [3] при $Z = H_1/2$

$$X_k = \rho \arccos \frac{(D_0/2 - H_1/2)^2 + e^2 - \rho^2}{e(D_0 - 2H_1)} + e \sqrt{1 - \left[\frac{(D_0/2 - H_1/2)^2 + e^2 - \rho^2}{e(D_0 - 2H_1)} \right]^2}.$$

Положение задней границы мгновенного очага деформации определяется по следующим зависимостям:

– при прокатке калибрующим участком валка

$$X_{\delta_1} = R_{\text{кал}} \delta_1^1,$$

– при прокатке калибрующим и обжимным участками валков, а также только обжимным участком валков

$$X_{\delta_1} = R_{\text{кал}} \delta_{\text{кал}}^1 + \rho (\delta_1 - \delta_{\text{кал}}^1) + e \left\{ \sin \left[\delta_1 - \left(\delta_{\text{кал}}^1 - \frac{\delta_{\text{кал}}}{2} \right) \right] - \sin \frac{\delta_{\text{кал}}}{2} \right\}.$$

Угол касания [4]

$$\alpha_0 = \arctg \frac{X - X_{\delta_1}}{(D_0/2 - Z)}.$$

Боковая граница мгновенного очага деформации определяется шириной исходной полосы с учетом ее поперечной деформации. С достаточной степенью точности ширину полосы в пределах мгновенного очага деформации при полосовой шаговой прокатке принимаем постоянной и равной ширине полосы на выходе из мгновенного

очага деформации. Используя результаты экспериментальных исследований, принимаем линейный закон изменения ширины полосы по длине конуса деформации

$$B_{\delta_1} = B_0 + (B_1 - B_0) \frac{(\delta_{\text{отр}} + \delta_{\text{кал}} - \delta_{\text{кал}}/2) - \delta_1}{(\delta_{\text{отр}} + \delta_{\text{кал}}^1 - \delta_{\text{кал}}/2)}.$$

Ширину исходной полосы B_0 при заданном значении требуемой ширины готовой полосы B_1 можно определить по формуле

$$B_0 = B_1 \left(\frac{H_1}{H_0} \right)^c,$$

где H_0 , H_1 – высота исходной и готовой полосы.

Показатель уширения c может быть определен экспериментально в зависимости от прокатываемого материала.

Центральный угол между серединой калибрующего участка и концом обжимного участка валков определяется по формуле [3]

$$\delta_{\text{отр}} = \arccos \frac{(D_0 - H_0)^2 + 4e^2 - 4\rho^2}{4e(D_0 - H_0)}.$$

С использованием зависимостей, определяющих геометрические границы мгновенного очага деформации с учетом результатов работы [4], получены формулы для расчета площади горизонтальной проекции поверхности контакта валков с полосой:

– при прокатке калибрующим участком валков

$$F_{\Gamma} = B_{\delta_1} \alpha_0 R_{\text{кал}},$$

– при прокатке одновременно калибрующим и обжимным участками валков

$$F_{\Gamma} = B_{\delta_1} \left[(\delta_{\text{кал}}^1 - \delta_1) R_{\text{кал}} + R_{\delta_1} (\alpha_0 - \delta_{\text{кал}}^1 + \delta_1) \right] \times \left[1 - \frac{K_1}{2} (\alpha_0 - \delta_{\text{кал}}^1 - \delta_1) \right].$$

При прокатке только обжимным участком валков

$$F_{\Gamma} = B_{\delta_1} R_{\delta_1} \alpha_0 \left(1 - K_1 \frac{\alpha_0}{2} \right).$$

В принятой для определения геометрических параметров мгновенного очага деформации системе координат радиус рабочей поверхности валков определяется следующими соотношениями:

– на калибрующем участке

$$R_{\delta_1} = R_{\text{кал}},$$

– на обжимном участке

$$R_{\delta_1} = \sqrt{\rho^2 - e^2 \sin^2 \delta_1^1} + e \cos \delta_1^1.$$

Клиновидность валка, определяющая интенсивность изменения радиуса валка:

– на калибрующем участке при $e=0$

$$K_1 = 0;$$

– на обжимном участке

$$K_1 = \frac{e \sin \delta_1^1}{\sqrt{\rho^2 - e^2 \sin^2 \delta_1^1}}.$$

При расчете кинематических и энергосиловых параметров необходимо знать высоту полосы h в пределах мгновенного очага деформации и высоту полосы на выходе из валков h_1 . Эти параметры находятся из следующих геометрических соотношений:

– при прокатке калибрующим участком валков

$$h = D_0 - 2R_{\text{кал}} \cos \alpha,$$

$$h_1 = H_1/2;$$

– при прокатке обжимным участком валков

$$h = D_0 - 2R_{\delta 1} (1 - K_1 \alpha) \cos \alpha,$$

$$h_1 = D_0 - 2R_{\delta 1}.$$

В этих формулах угол α является произвольным углом в пределах мгновенного очага деформации.

Линейное смещение конуса деформации в сторону исходной полосы при деформации обжимным участком валков

$$\Delta X = m\lambda - \Delta X_1.$$

Величина ΔX_1 , определяется по формуле, полученной с использованием результатов работы [5]

$$\Delta X_1 = \frac{-h_1 + \sqrt{h_1^2 + 4K_1 H_0 m}}{2K_1}.$$

Линейное смещение металла при деформации калибрующим участком валков принято изменяющимся по линейному закону

$$\Delta X = \frac{(m\lambda - \Delta X_{\kappa}) \delta_1}{\delta_{\text{кал}}^1}. \quad (4)$$

Линейное смещение в конце калибрующего участка ΔX_{κ} определяется по формуле (4) при

$$\delta_1 = \delta_{\text{кал}}^1.$$

Заключение. Для условий полосовой шаговой прокатки обратным ходом разработана методика расчета геометрических параметров мгновенного очага деформации.

Литература

1. Пат. 1834724 (РФ). Способ шаговой прокатки / Г.И. Коваль.

2. Коваль, Г.И. Новые принципы в технологии и оборудовании для полосовой шаговой прокатки / Г.И. Коваль // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1997.-МЗ.-С. 29.

3. Выдрин, В.Н. Формоизменение, геометрия рабочих валков и конуса деформации при многоручьевой прокатке на стане прокатки-ковки / В.Н. Выдрин, Е.Н. Березин, Г.И. Коваль // Steel in the USSR. - 1980. -№4.- С. 67.

4. Выдрин, В.Н. Площадь контактной поверхности в мгновенном очаге деформации при многоручьевой прокатке на стане прокатки-ковки / В.Н. Выдрин, Е.Н. Березин, Г.И. Коваль // Изв. вузов. Черная металлургия. - 1981. -№10.- С. 51.

5. Емельяненко, П. Т. Теория косо́й и пилигримовой прокатки труб / П.Т. Емельяненко. - М.: Металлургиздат, 1949. - 494 с.

Поступила в редакцию 17 марта 2009 г.