

В.С. МЕДВЕДЕВ, канд. техн. наук,
Д.Г. ГАЛУШКИН, УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ ФЛАНЦЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ. СООБЩЕНИЕ 1

Приведена методика аналитического определения геометрических параметров очага деформации при прокатке фланцевых профилей в калибрах с открытыми ручьями. Путем совместного решения уравнений поверхностей вращения валков и плоских поверхностей заготовки получены общие аналитические выражения для расчета координат граничных точек очага деформации. Методика может быть использована при создании универсальной математической модели прокатки фасонных профилей.

Приведена методика аналітичного визначення геометричних параметрів осередка деформації при прокатці фланцевих профілів у калібрах з відкритими ривчакми. Шляхом сумісного вирішення рівнянь поверхонь оберту валків та плоских поверхонь заготівлі отримані загальні аналітичні залежності для розрахунку координат граничних точок осередка деформації. Методика може бути використана при створенні універсальної математичної моделі прокатки фасонних профілів.

The technique for analytical determining of deformation zone geometrics at rolling flanged sections in open grooves is given. Overall analytical expressions for calculating coordinates of boundary points of a deformation zone were derived by the joint solution of equations of roll revolution surfaces and billet flat surfaces. The technique can be used for simulation of shaped sections rolling.

При математическом моделировании течения металла в фасонных калибрах необходимо знать форму и размеры очага деформации. Определение геометрических параметров очага деформации позволяет более точно рассчитать формоизменение металла и силовые условия прокатки, спроектировать оптимальную калибровку валков, выбрать необходимое оборудование и решить другие технологические задачи. В работе [1] приведены формулы для расчета границ очага деформации открытых и закрытых фланцев двухвалкового фасонного калибра при прокатке двутавровой балки. В работе [2] получены аналитические выражения для расчета контура очага деформации при прокатке швеллера. Аналитическое определение длины очага деформации в этих работах свелось к совместному решению уравнения поверхности вращения валков, контактирующей с прокатываемым металлом, и уравнения поверхности заготовки. Для упрощения решения задачи авторами [1,2] приняты ряд допущений, которые снизили на 15% точность в определении длины очага деформации. В работе [3] приведена методика расчета средней длины очага деформации при прокатке угловых профилей в развернутых калибрах. Данная методика не пригодна для определения геометрических параметров очага деформации при прокатке фланцевых профилей.

Целью настоящей работы является аналитическое определение геометрических параметров очага деформации при прокатке фланцевых профилей в калибрах с открытыми и закрытыми ручьями (рис.1 и 2).

В настоящей статье приведена методика расчета границ очага деформации в открытых фланцах.

Определение границ очага деформации осуществляется путем совместного решения уравнений поверхностей исходной заготовки и прокатных валков с использованием среды MathCAD.

Поверхности исходной заготовки описываются уравнениями плоскостей, а прокатных валков – поверхностями вращения цилиндра и конуса.

Принятые допущения: наружная поверхность открытого фланца не имеет уклона; обжатие по наружной поверхности фланца отсутствует; обжатия по стенке со стороны верхнего и нижнего валков равны; радиусом закругления на пересечении поверхностей фланца и стенки пренебрегаем; радиусы верхнего и нижнего валков по стенке одинаковы.

Границы очага деформации определяются координатами характерных точек А, D, E и С, расположенных на поверхностях контакта металла с валками. Начало координат расположим в плоскости выхода профиля из валков.

Рассмотрим сначала параметры очага деформации на участке стенки.

Точка E находится на линии пересечения цилиндрической поверхности валка радиусом R и горизонтальной плоскости заготовки с координатой $z = H/2$. Из геометрических соотношений (см. рис.1) координаты характерных точек E и C определяются по формулам:

$$x_E = \sqrt{R(H-h) - \left(\frac{H-h}{2}\right)^2} = l, \quad y_E = C_0, \quad z_E = \frac{h}{2}, \quad (1)$$

$$x_C = 0, \quad y_C = c_0, \quad z_C = \frac{h}{2}. \quad (2)$$

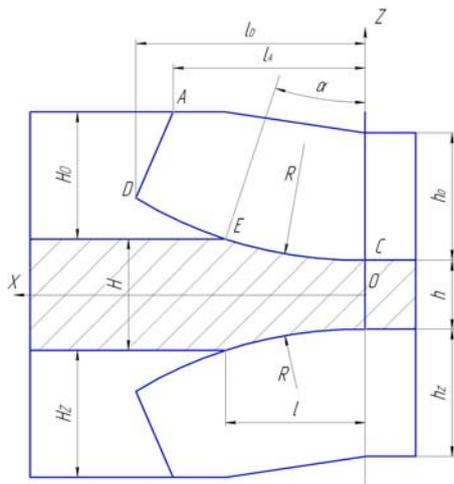


Рисунок 1 – Сечение очага деформации в плоскости XOZ

Точка D находится на пересечении поверхностей 1, 2 и 3 (рис. 3).

Поверхность 1 принадлежит внутренней поверхности открытого фланца и представляет собой наклонную плоскость, которая повернута к координатной плоскости XOZ на угол φ_0 . Поверхность 2 формируется конической поверхностью валка при пересечении ее с фланцем профиля.

Поверхность 3 образуется цилиндрической частью валка при пересечении ее со стенкой профиля. Координаты точки D находим путем совместного решения уравнения наклонной плоскости 1 и окружности

радиуса R , лежащей в плоскости, параллельной XOZ, на расстоянии c_0 .

В общем виде уравнение плоскости в отрезках представляется как

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} + \frac{z}{c} = 1, \quad (3)$$

где x, y, z - координаты в декартовой системе координат;

a, b, c - отрезки, отсекаемые плоскостью на координатных осях.

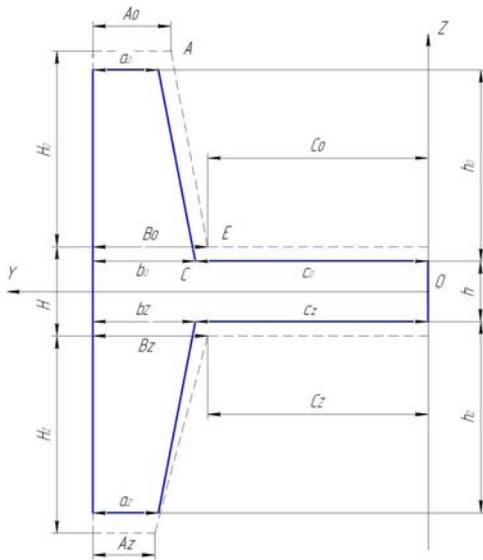


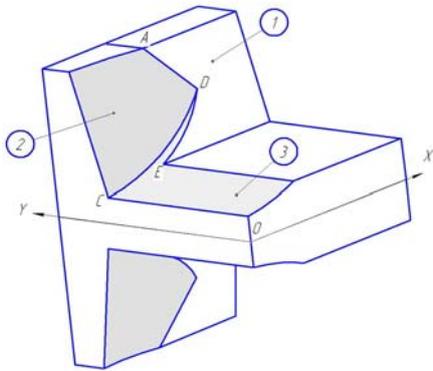
Рисунок 2 – Схема совмещения заготовки и калибра

Поскольку плоскость 1 не пересекает координатную ось X, уравнение принимает следующий вид:

$$\frac{y}{b} + \frac{z}{c} = 1. \quad (4)$$

Для нахождения длины отрезков b и c рассмотрим пересечение плоскости 1 с осями координат Y и Z (рис.4). Из геометрических соотношений, приведенных на рис.4, следует

$$b = C_0 + B_0 - A_0 - \Delta. \quad (5)$$



– Поверхности очага деформации

Рисунок 3

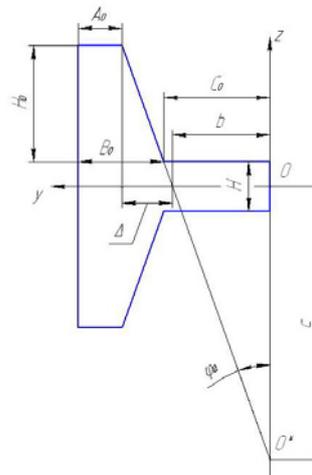


Рисунок 4 – Пересечение плоскости 1 с осями координат Y и Z

Учитывая, что $\Delta = (H_0 + \frac{H}{2}) \cdot \tan(\varphi_0)$, получим длину отрезка b

$$b = C_0 + B_0 - A_0 - \left[(H_0 + \frac{H}{2}) \cdot \tan \varphi_0 \right]. \quad (6)$$

Длина отрезка c равна $c = \frac{b}{\tan \varphi_0}$, а с учетом (6)

$$c = -\frac{C_0 + B_0 - A_0 - \left[\left(H_0 + \frac{H}{2} \right) \cdot \tan \varphi_0 \right]}{\tan \varphi_0}. \quad (7)$$

Подставив выражения (6) и (7) в уравнение (4), получим уравнение плоскости 1

$$\frac{y}{C_0 + B_0 - A_0 - \left[\left(H_0 + \frac{H}{2} \right) \tan \varphi_0 \right]} - \frac{z \tan \varphi_0}{C_0 + B_0 - A_0 - \left[\left(H_0 + \frac{H}{2} \right) \tan \varphi_0 \right]} = 1. \quad (8)$$

откуда

$$z = \frac{2y - 2C_0 - 2B_0 + 2A_0 + 2 \tan(\varphi_0)H_0 + H \tan(\varphi_0)}{2 \tan(\varphi_0)}. \quad (9)$$

Из рис. 2 следует $y_D = c_0$. (10)

Координату z_D находим из уравнения (9) при $y = c_0$

$$z_D = \frac{2c_0 - 2C_0 - 2B_0 + 2A_0 + 2H \tan(\varphi_0) + H \tan(\varphi_0)}{2 \tan(\varphi_0)}. \quad (11)$$

Из рис.3 видно, что поверхность 3 имеет в своем основании окружность радиусом R , лежащую в плоскости, параллельной XOZ . Точка D лежит на радиусе этой окружности.

Координату x_D находим из уравнения окружности радиусом R .

В общем виде уравнение окружности записывается уравнением

$$x^2 + z^2 = R^2. \quad (12)$$

С учетом переноса осей из уравнения (12) находим

$$z = \sqrt{R^2 - x^2} + R + \frac{h}{2}. \quad (13)$$

Решив уравнение (13) относительно x получим координату x_D

$$x_D = \frac{1}{2} \sqrt{8Rz + 4zh - h^2 - 4hR - 4z^2} = l_D. \quad (14)$$

Далее рассмотрим граничную точку A , которая принадлежит конической поверхности 2 и одновременно верхней горизонтальной плоскости фланца заготовки.

Координаты y_A и z_A легко определить из геометрических соотношений (см. рис.2)

$$y_A = C_0 + B_0 - A_0, \quad (15)$$

$$z_A = H_0 + \frac{H}{2}. \quad (16)$$

Для определения координаты x_A подставим в уравнение конуса, ось вращения которого совпадает с осью валка, а основание – с окружностью основания цилиндрической поверхности 3 при $y = C_0$, значения координат y_A и z_A .

Уравнение конуса в общем виде представляется эллипсоидом вращения

$$\frac{x^2}{R^2} + \frac{y^2}{R^2} - \frac{z^2}{c^2} = 0, \quad (17)$$

где R - радиус окружности, лежащей в основании конуса;

c - высота конуса.

Приведя ось конуса к оси вращения валка и выразив из уравнения (17) значение z , получим

$$z = \frac{h}{2} + R - R\sqrt{\frac{(s + c_0 - y)^2}{s^2} - \frac{x^2}{R^2}}, \quad (18)$$

где s - высота конуса, равная $s = R \cdot \left(\frac{B_0 - A_0}{H_0}\right)$.

Выразив из уравнения (18) значение x и подставив вместо y и z значения y_A и z_A , получим координату x_A

$$x_A = \sqrt{\frac{R^2(s + c_0 - y_A)^2}{s^2} - \left(R + \frac{h}{2} - z_A\right)^2} = l_A. \quad (19)$$

Полученные аналитические выражения используются при решении задач определения формоизменения и энергосиловых параметров прокатки в фасонных калибрах с применением вариационных принципов механики сплошных сред.

Выводы

Приведена методика аналитического определения геометрических параметров очага деформации при прокатке фланцевых профилей в калибрах с открытыми ручьями. Путем совместного решения уравнений поверхностей вращения валков и плоских поверхностей заготовки с использованием среды MathCAD получены общие аналитические выражения для расчета координат граничных точек очага деформации. Методика может быть использована при создании универсальной математической модели прокатки фасонных профилей.

Список литературы: 1. Производство облегченных профилей / [Макаев С.В., Винокуров И.Я., Мерекин Б.В. и др.]. – Свердловск : Metallurgizdat, 1962. – 215 с. 2. Гавриленко Е.Д. Исследование течения металла в очаге деформации при прокатке швеллеров / Е.Д. Гавриленко, Н.Ф. Грицук // Обработка металлов давлением : сб. науч. тр. – Харьков : УкрНИИмет, 1972. – С. 23–26. 3. Илюкович Б. М. Анализ формы очага деформации при прокатке угловых профилей в развернутых калибрах / Б. М. Илюкович, С. В. Ершов, М. Н. Штода // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – № 1. – С. 37–40.

Поступила в редколлегию 13.06.2009