

УДК 621.774.36

Дехтярев В. С.

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ КАЛИБРОВКИ СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

Деформирующим инструментом при холодной пильгерной прокатке являются калибры и оправка [1]. По сравнению с калибрами оправки представляют собой более простую деталь, имеющую вид тела вращения с линейной или криволинейной образующей длиной несколько большей длины развертки рабочей части ручья. Развитие энергетического машиностроения непрерывно повышает требований к качеству продукции, изготавливаемой на станках ХПТ. Формирование уровня свойств, качества наружной и внутренней поверхности, точности геометрических размеров осуществляется рабочей частью ручья переменного сечения (калибровка). На вышеуказанные параметры влияет не только точность расчета калибровки, но и точность ее построения. Поэтому развитие метода построения калибровки является актуальной задачей.

Существующий уровень развития методов изготовления деформирующего инструмента позволяет выполнить оправки любой формы образующей с круглым профилем поперечного сечения [2]. Поэтому особенности

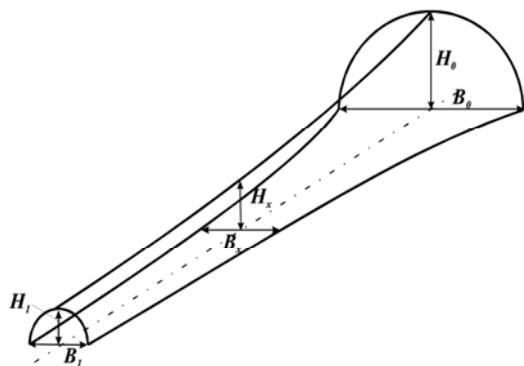


Рис. 1. Существующий метод расчета формы рабочей поверхности калибров для станков ХПТ

расчета и выполнения оправок далее рассматриваться не будут. Подходы к решению задачи определения продольной и поперечной формы калибров станков типа ХПТ в настоящее время подразумевают отдельное определение продольной формы ручья, имеющей в качестве образующей определенный закон изменения интенсивности обжатий по длине рабочего конуса, и поперечной, определяемой в основном требованием заполнения калибров, круглости поперечного сечения и состояния поверхности готовой трубы. Существующие методы расчета формы рабочей поверхности калибров для станков ХПТ основаны на определении формы продольных образующих ручья по максимальной глубине калибра (гребню) и по его ширине (выпускам) в контрольных сечениях (рис. 1). При этом по длине рабочей части ручья поперечный профиль остается постоянным.

Раздельное исполнение калибровки инструмента в продольном и поперечном направлении снижает контроль выполнения геометрических размеров рабочей части ручья калибров. Если калибровка гребня (калибровка в продольном направлении) особых затруднений с ее точным выполнением не вызывает, то выполнение поперечного профиля (калибровки в поперечном направлении) несет определенные трудности.

Теоретическая форма профиля поперечного сечения ручья, а, при возможности, его получение на станке типа ЛР41, еще не означают того, что после ручной доработки он сохранит расчетную форму и размеры. Это связано с погрешностями в ручной работе и отсутствием адекватных средств контроля поперечного профиля. До настоящего времени на практике (кроме станков с ЧПУ) не применяются приборы, позволяющие контролировать форму поперечного сечения ручья. Контроль производится только по двум параметрам: глубине H и ширине B . Глубину ручья контролируют индикаторным глубиномером с ценой деления индикатора 0,01 мм, а ширину – штангенциркулем. Такой подход не дает адекватных данных о форме и размерах поперечного профиля ручья калибра.

Значительным прогрессом в расширении возможностей холодной и теплой пильгерной прокатки труб и прутков, в части создания требуемых форм поперечного сечения ручья,

является создание фирмой MDM (SMS-Meer) пятикоординатного станка с ЧПУ типа GG 52 CNC с широкими возможностями шлифовки с высокой точностью до $\pm 0,005$ мм ручьев, имеющих, по сути, любые плавные поперечные контуры ручья [2].

Как указывается в работе [3], для минимизации растягивающих напряжений в зоне выпуска калибра и достижения максимальной точности и качества трубы формирование рабочей поверхности инструмента должно происходить по зонам очага деформации в соответствии с их назначением, т. е. поперечный профиль ручья калибров по длине образующей должен быть переменным.

Но использование современных расточных станков не изменило подхода к определению координат ручья калибра. Как и ранее, координаты, характеризующие геометрические размеры калибра, задаются в каждом контрольном сечении значениями ширины и глубины ручья калибра. Возможные неточности, которые при этом могут возникать при формировании поперечного профиля, присущи и всей рабочей поверхности ручья калибра.

Цель работы – совместное определение параметров калибра как в продольном, так и в поперечном направлении.

Для унификации метода построения примем за основу построения поперечного профиля калибра метод, описанный в работе [4]. Данный мод позволяет задать в параметрическом виде профиль поперечного сечения любой сложности.

Все современные расточные станки работают с совокупностью точек, которые характеризуют поверхность. Последовательное соединение точек между собой формирует общие геометрические параметры. Для обеспечения точности построения ручья калибра стана ХПТ необходимо охарактеризовать рабочую поверхность в каждой контрольной точке каждого контрольного сечения в соответствии с правилами, описанными выше. Рабочая поверхность ручья калибра формируется путем определения продольной образующей и типом поперечного профиля, проходящего вдоль образующей. Увеличение числа координат, характеризующих профиль, приведет к увеличению образующих, характеризующих рабочую поверхность (рис. 2).

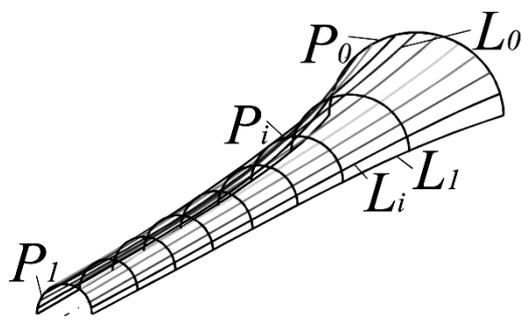


Рис. 2. Способ формирования рабочей части ручья калибра

С учетом проведенного анализа [3] формирования металла в зависимости от типа поперечного профиля калибра, рабочая поверхность должна иметь переменный по длине рабочего конуса тип калибра.

Так, для зоны редуцирования необходимо применять овальный калибр, для зоны обжатия – круглый калибр с выпусками по радиусу, для зоны калибрования – круглый калибр с выпусками по касательной. Длина рабочего конуса, на которой должен применяться один из типов поперечного профиля, определяется по развертке продольной образующей. Расчет рабочей поверхности калибра с переменным по длине хода типом поперечного профиля необходимо осуществлять по зонам для соответствующего типа калибра. Расчеты будем проводить в полярной системе координат [5].

Зона редуцирования (овальный калибр). Овальный калибр (рис. 3) является одним из наиболее простых типов поперечного профиля, так как он образован одной дугой окружности.

Данный тип поперечного профиля описывается следующим видом уравнения:

$$\rho^2 \cdot \sin^2(\varphi) + (\rho \cdot \cos(\varphi) - \theta_y)^2 = R_i^2, \quad 90^\circ \leq \varphi \leq \varphi_k; \quad (1)$$

где ρ – радиус вектор, который равен R_k ; R_i – радиус овального калибра.

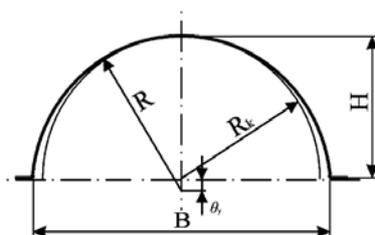


Рис. 3. Овальный калибр:

θ_y – эксцентриситет; H – высота калибра; B – ширина калибра; R_k – расчетный радиус трубы

Как видно из уравнения для определения координат необходимо знать величину эксцентриситета, которую возможно найти исходя из периметра калибра:

$$\theta_y = \sqrt{\frac{B_i^2}{4} - R_{ki}^2}, \quad (2)$$

где B – ширина калибра.

Зная параметры уравнения (1), можно рассчитать координаты каждой точки принадлежащей поверхности ручья, описанной данным типом поперечного профиля используя следующие зависимости:

$$\begin{cases} x = \rho \cdot \cos(\varphi) \\ y = \theta_y + \rho \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \quad 90^\circ \leq \varphi \leq \varphi_k, \quad (3)$$

где φ – полярный угол, характеризующий положение точки, $\rho = R_i$.

Используя уравнения (1), (2) и (3), можно рассчитать параметры рабочей поверхности калибра в каждом контрольном сечении, которому присущ данный тип поперечного профиля калибра.

Зона обжатия (круглый калибр с выпусками по радиусу). Круглый калибр с выпусками по радиусу (рис. 4) образован двумя дугами окружностей.

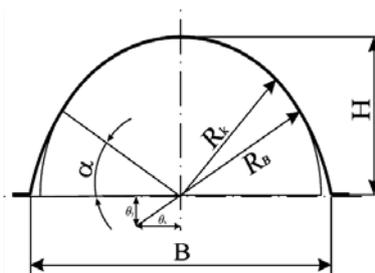


Рис. 4. Поперечный профиль с выпуском по радиусу;

H – высота калибра; B – ширина калибра; R_k , R_g – радиусы круглой части калибра и выпуска соответственно; θ_x , θ_y – эксцентриситеты центра окружности, формирующей выпуск; α – угол выпуска

Поверхность ручья калибра, образованная данным типом поперечного профиля, будет определяться следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \rho^2 \cdot \sin^2(\varphi) + \rho^2 \cdot \cos^2(\varphi) = R_{ki}^2; & 90^\circ \leq \varphi \leq \alpha; \\ (\rho \cdot \sin(\varphi) - \theta_x)^2 + (\rho \cdot \cos(\varphi) - \theta_y)^2 = R_{Bi}^2; & \alpha \leq \varphi \leq \varphi_k; \end{cases} \quad (4)$$

Радиус выпуска рассчитывается исходя из расчетной ширины калибра. Для выбранного типа поперечного профиля калибра радиус выпуска будет рассчитываться по следующей формуле [6]:

$$R_B = \frac{h_k^2 + b_k^2 - 2 \cdot h_k \cdot b_k \cdot \cos(\alpha)}{4 \cdot (h_k - b_k \cdot \cos(\alpha))}, \quad (5)$$

где h_k и b_k – полувысота и полуширина калибра соответственно; α – угол выпуска.

Как видно из системы уравнений, неопределенными значениями остаются величины эксцентриситетов центра окружности радиуса выпуска. Решим систему уравнений относительно параметра « θ_x », учитывающего следующее:

$$\theta_y = \theta_x \cdot \operatorname{tg}(\alpha); \quad (6)$$

$$\rho = R_k. \quad (7)$$

В результате решения системы получим:

$$\theta_x = \frac{R_{ki} \cdot \cos(\alpha) - \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{A} + R_{ki} \cdot \sin(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\alpha)}{\operatorname{tg}^2(\alpha) + 1}; \quad (8)$$

$$A = 2 \cdot R_{Bi}^2 - R_{ki}^2 + R_{ki}^2 \cdot \cos(2 \cdot \alpha) - R_k^2 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha) + 2 \cdot R_{Bi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha) + 2 \cdot R_{ki}^2 \cdot \sin(2 \cdot \alpha) \cdot \operatorname{tg}(\alpha) - R_{ki}^2 \cdot \cos(2 \cdot \alpha) \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha).$$

Зная все параметры системы уравнений, можно найти координаты любой точки, которая лежит на линии, образующей поперечный профиль. Положение точки задается путем изменения полярного угла φ вдоль линии профиля. Таким образом, можно рассчитать координаты в каждом контрольном сечении вдоль длины рабочего конуса, на которой используется данный тип поперечного профиля, используя следующие зависимости:

– для круглой части:

$$\begin{cases} x = \rho \cdot \cos(\varphi) \\ y = \rho \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \quad 90^\circ \leq \varphi \leq \alpha, \quad \rho = R_k;$$

– для выпуска:

$$\begin{cases} x = \theta_x + \rho \cdot \cos(\varphi) \\ y = \theta_y + \rho \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \quad 90^\circ \leq \varphi \leq \alpha, \quad \rho = R_B.$$

Зона калибрования (круглый калибр с выпусками по касательной). Круглый калибр с выпусками по касательной (рис. 5) образован дугой окружности и прямой линией, касательной к ней.

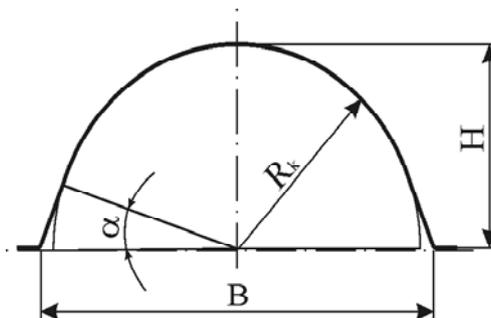


Рис. 5. Поперечный профиль с выпуском по касательной:

H – высота калибра; B – ширина калибра; R_k – радиусы круглой части калибра; α – угол выпуска

Поверхность ручья калибра, образованная данным типом поперечного профиля, будет определяться следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \rho^2 \cdot \sin^2(\varphi) + \rho^2 \cdot \cos^2(\varphi) = R_{ki}^2 \\ \operatorname{ctg}(\varphi) = w + \beta \end{cases} \quad \begin{cases} 90^\circ \leq \varphi \leq \alpha; \\ \alpha \leq \varphi \leq \varphi_k, \end{cases} \quad (9)$$

где β – угловой коэффициент прямой, равный α ; w – коэффициенты прямой.

Для нахождения координат поверхности, образованной круглым калибром с выпусками по касательной, используем следующие зависимости:

– для круглой части:

$$\begin{cases} x = \rho \cdot \cos(\varphi) \\ y = \rho \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \quad 90^\circ \leq \varphi \leq \alpha, \quad \rho = R_k;$$

– для выпуска:

$$\begin{cases} x = \rho \cdot \cos(\varphi) \\ y = w \cdot x + \beta \end{cases} \quad \alpha \leq \varphi \leq \varphi_k.$$

Расчет контрольных координат в каждом контрольном сечении осуществляется исходя из параметров рассчитанной продольной образующей ручья и ширины калибра, рассчитанной по известным методикам. Для расчета координат поверхности ручья калибра необходимо знать протяженности зон очага деформации и количество контрольных сечений в каждой зоне.

ВЫВОДЫ

Получил дальнейшее развитие метод определения рабочей части ручья калибров станков ХПТ. Разработан новый метод определения и расчета рабочей части ручья калибров с переменным типом поперечного профиля по длине рабочего конуса. Получена зависимость для расчета рабочей поверхности ручья калибра с переменным типом поперечного профиля.

В работе получена зависимость для расчета эксцентриситета окружности, которая образует радиус выпуска, от параметров калибра, таких как радиус выпуска калибра, угол выпуска калибра и радиус круглой части.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Технология трубного производства : учебник для вузов / [Данченко В. Н., Коликов А. П., Романцев Б. А. и др.]. – М. : Интермет Инжиниринг, 2002. – 638 с.*
2. *Фролов В. Ф. Холодная пильгерная прокатка труб : монография / В. Ф. Фролов, В. Н. Данченко, Я. В. Фролов. – Днепропетровськ : Пороги, 2005. – 255 с.*
3. *Дехтярьов В. С. Тримірне моделювання параметрів холодної пильгерної прокатки / В. С. Дехтярьов, Я. В. Фролов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 59–64.*
4. *Дехтярьов В. С. Новый метод построения поперечного профиля рабочей части ручья калибров станков ХПТ / В. С. Дехтярьов, Я. В. Фролов, А. С. Бобух // Теория и практика металлургии. – 2009. – № 5–6. – С. 64–66.*
5. *Данко П. Е. Высшая математика в упражнениях и задачах / П. Е. Данко, А. Г. Попов. – [Часть 1]. – М. : Высшая школа, 1974. – 465 с.*
6. *Орро П. И. Производство стальных тонкостенных труб / П. И. Орро, Я. Е. Осада. – М. : Металлургия, 1951. – 416 с.*

Дехтярьов В. С. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: Pilgering@meta.ua