

УДК 621.73-52

*И. Б. Покрас, доктор технических наук, профессор**Э. Р. Ахмедзянов, кандидат технических наук**А. С. Житников, аспирант*

Ижевский государственный технический университет

РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ ВАЛЬЦОВАННЫХ ЗАГОТОВОК

Рассматриваются вопросы, связанные с расчетом поперечных размеров вальцованной заготовки на основе использования некоторых результатов метода Ю. Б. Бахтинова. Описана методика расчетов, пример и приведены сравнительные результаты расчетов.

Ключевые слова: горячая объемная штамповка, заготовительное производство, вальцовка, методика расчета размеров

Расчету поперечных размеров при вальцовке посвящены работы многих отечественных авторов: С. А. Смирнова, А. П. Атрошенко, В. К. Скрыбина, К. М. Кауфмана и др. Во всех этих работах для определения поперечных размеров используются номограммы, полученные либо на основе применения метода соответственной полосы, либо рассчитанные с применением вариационного принципа минимума полной мощности (в частности метод В. К. Смирнова) с последующей корректировкой полученных результатов, введением поправочных коэффициентов путем сопоставления теоретических результатов с экспериментальными данными [1, 2].

Эти методы не учитывают в достаточной мере особенностей кинематики течения металла и граничных условий при вальцовке в калибрах, они могут дать удовлетворительные результаты для тех условий вальцовки, при которых определены экспериментальным путем поправочные коэффициенты [3].

В данной статье предлагается метод расчета поперечных размеров вальцованной заготовки, основанный на применении метода соответственной полосы Ю. Б. Бахтинова, разработанный для прокатки в калибрах, лишенный этих недостатков. Методика включает определение поперечных размеров (высоты h и ширины b заготовки) и количества проходов n . Различия метода Ю. Б. Бахтинова, разработанного для прокатки в калибрах, и предлагаемого метода заключается в том, что соотношения высоты h к ширине b заготовки в первом случае значительно меньше, чем при вальцовке из-за разных условий потери устойчивости, что дает существенно различные результаты в каждом из этих случаев.

По предлагаемой методике расчет ведется против хода вальцовки. Конечные размеры вальцуемой заготовки h_n и b_n нам известны, при расчете обозначаем их h_1 и b_1 . Задача состоит в определении размеров заготовки, задаваемой в последний калибр. Эти размеры обозначим h_0 и b_0 .

Вопросы расчета по проходам продольных размеров заготовки, усилий и крутящих моментов, а также конструирования секторов-штампов являются общими при вальцовке по различным схемам и поэтому в данной статье не рассматриваются. Построение эпюры поперечных сечений и конструирование вальцованной заготовки подробно описаны в работах [4, 5] и здесь также не рассматриваются.

Последовательность расчета

1. Определяем количество проходов n .

Необходимое количество проходов при вальцовке различных заготовок определяем с помощью графика (рис. 1), где области применения двухручьевого (зона I) и трехручьевого вальцовки (зона II) даны в зависимости от суммарного коэффициента вытяжки λ_Σ и параметра G_p .

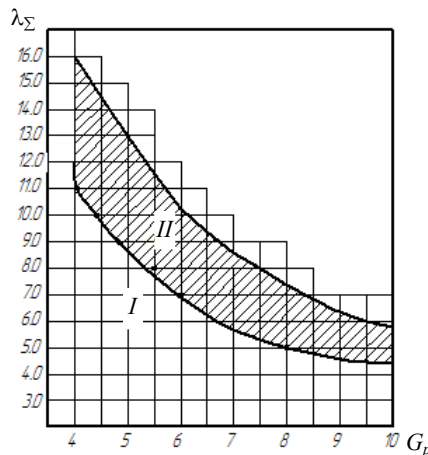


Рис. 1. График для определения количества проходов [6]:
I – зона вальцовки за два прохода; II – зона вальцовки за три прохода

Значение суммарного коэффициента вытяжки λ_Σ находим по формуле

$$\lambda_\Sigma = \frac{F_0}{F_{\min}}, \quad (1)$$

где F_0 – площадь поперечного сечения исходной заготовки; $F_{\min}$ – площадь поперечного сечения вальцованной заготовки.

В общем случае, когда вальцовка производится за несколько проходов, λ_Σ определяется как произведение коэффициентов вытяжки в отдельных проходах:

$$\lambda_\Sigma = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_n,$$

где $\lambda_1 = \frac{F_{\text{заг}}}{F_1}$; $\lambda_2 = \frac{F_1}{F_2}$; $\lambda_3 = \frac{F_2}{F_3}$, ..., $\lambda_n = \frac{F_{n-1}}{F_n}$ – коэффициенты вытяжки при первом, втором, третьем и т. д. пропусках [7].

Значение параметра G_p определим по формуле

$$G_p = \frac{A}{\sqrt{F_0}}, \quad (2)$$

где A – расстояние между осями валков.

Затем по графику на рис. 1 определяем необходимое количество проходов. Если по полученным результатам λ_{Σ} и G_p мы попадаем в область зоны I, то вальцовка ведется за 2 прохода, если в зону II, то за 3 прохода.

2. После определения числа проходов n можно перейти к методике расчета поперечных размеров в зависимости от схемы вальцовки. В данной статье ограничимся рассмотрением двухручьевым процессом вальцовки по схемам круг – овал – квадрат и круг – овал – круг.

Определим поперечные размеры вальцованной заготовки по схеме круг – овал – квадрат (рис. 2).

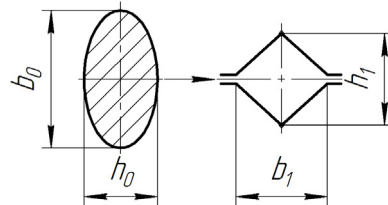


Рис. 2. Схема обозначения к определению размеров овальной полосы при вальцовке в квадратном калибре

Находим размеры b_0 и h_0 овального сечения заготовки, подаваемой в квадратный калибр.

Ширину овала, являющуюся высотой при вальцовке в квадратном калибре, определяем по формуле [8]

$$b_0 = 0,8h_1 + 0,00041\alpha^2 R_{\kappa}^{\kappa\kappa}, \quad (3)$$

где $R_{\kappa}^{\kappa\kappa} = R_0 - 0,385h_1$ – катающий радиус; R_0 – начальный радиус вала; h_1 – высота ребрового квадрата; α – угол захвата.

Для определения угла α используем график на рис. 3.

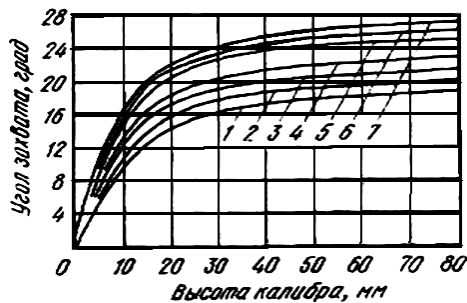


Рис. 3. Опытные значения угла захвата в зависимости от высоты калибра при прокатке по системе: 1 – ромб – квадрат; 2 – ромб – ромб, овал – круг; 3 – квадрат – ромб; 4 – квадрат – овал, квадрат – шестиугольник, квадрат – ящичный калибр; 5 – овал – квадрат, шестиугольник – квадрат; 6 – ребровой овал – горизонтальный овал; 7 – горизонтальный овал – ребровой овал [9]

Высоту овальной полосы найдем по формуле

$$h_0 = b_1 - \Delta b_{\text{об.-кв}}, \quad (4)$$

где $\Delta b_{\text{об.-кв}}$ – уширение при вальцовке овальной полосы в квадратном калибре, определяем по формуле [10]

$$\Delta b_{\text{об.-кв}} = \left(\sqrt{1,12 \frac{b_0}{h_1} + a^2} + a - 1 \right) h_0. \quad (5)$$

Здесь

$$a = \left(1,12 \frac{b_0}{h_1} - 1 \right) \left[\exp \left(-0,95 \frac{h_0}{b_k} \sqrt{\frac{h_1}{b_0}} \right) - 0,5 \right]. \quad (6)$$

Критическую ширину b_k овальной полосы найдем по формулам:

$$b_k = \sqrt{1 - \left(1 - 0,9 \frac{h_1}{b_0} \right)^2} \cdot \frac{\delta^2 - 1}{\delta^2} \frac{2\delta - 1}{2\delta} \sqrt{R_k^{\text{кв}} (0,86b_0 - 0,77h_1)}, \quad (7)$$

$$\delta = 2\mu \sqrt{R_k^{\text{кв}} / (0,86b_0 - 0,77h_1)}, \quad (8)$$

где μ – коэффициент трения, значение которого находим по методу, изложенному в работе [11].

Следует отметить, что величину уширения по формуле (5) определить нельзя, т. к. изначально неизвестна высота овала h_0 , поэтому ее необходимо вычислить, используя метод последовательных приближений. Для этого воспользуемся рекомендуемыми допустимыми значениями отношения сторон при вальцовке овальной полосы в квадратном калибре $a_0 = \frac{b_0}{h_0} \leq 5$ [12]. Примем это соотношение равным 4.

Откуда $h_i = b_0 / 4$.

Затем по формулам (4), (5), (6), (7), (8) найдем значение h_0 и сравним его с h_i . Если выполняется равенство $h_0 = h_i$, то значение h_0 найдено верно, если нет, тогда, используя метод последовательных приближений, нужно добиться равенства.

После определения поперечных размеров вычислим коэффициенты вытяжки в первом и втором проходах λ_1 и λ_2 :

$$\lambda_2 = \frac{F_{\text{об}}}{F_{\text{кв}}}, \quad (9)$$

где $F_{\text{об}} = 0,33 \left(\frac{m_0}{h_0} + 2 \right) b_0 h_0$ – площадь поперечного сечения овала; $\frac{m_0}{h_0}$ – притупление овальной полосы 0,1...0,3 [13]; $F_{\text{кв}} = c_1^2 [1 - 0,86(r_1 / c_1)^2]$ – площадь поперечного сечения вальцованной заготовки (r_1 – радиус скругления квадратной заготовки; c – сторона квадрата).

Коэффициент вытяжки в первом проходе

$$\lambda_1 = \frac{\lambda_{\Sigma}}{\lambda_2}. \quad (10)$$

Определим поперечные размеры вальцованной заготовки по схеме круг – овал – круг (рис. 4).

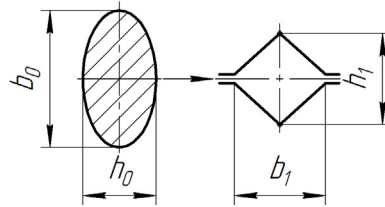


Рис. 4. Схема обозначения к определению размеров овальной полосы при вальцовке в круглом калибре

Находим размеры h_0 и b_0 овального сечения заготовки, подаваемой в круглый калибр. Ширину овала, являющуюся высотой при вальцовке в круглом калибре, определяем по формуле [14]

$$b_0 = 1,07d_1 + 0,00041\alpha^2 R_{\kappa}^{\text{сп}}, \quad (11)$$

где $R_{\kappa}^{\text{сп}} = R_0 - 0,44d_1$; d_1 – диаметр вальцованной заготовки.

Для определения угла α используем график на рис. 3.

Высоту овала найдем по формуле

$$h_0 = d_1 - \Delta b_{\text{ов.-кр}}, \quad (12)$$

где $\Delta b_{\text{ов.-кр}}$ – уширение при вальцовке овальной полосы в круглом калибре:

$$\Delta b_{\text{ов.-кр}} = \left(\sqrt{0,97 \frac{b_0}{d_1} + a^2 + a - 1} \right) h_0. \quad (13)$$

Здесь

$$a = \left(0,97 \frac{b_0}{d_1} - 1 \right) \left[\exp \left(-1,02 \frac{h_0}{b_{\kappa}} \sqrt{\frac{d_1}{b_0}} \right) - 0,5 \right]. \quad (14)$$

Критическую ширину овальной полосы b_{κ} найдем по формуле

$$b_{\kappa} = \sqrt{1 - \left(1 - 1,07 \frac{d_1}{b_0} \right)^2} \cdot \frac{\delta^2 - 1}{\delta^2} \frac{2\delta - 1}{2\delta} \sqrt{R_{\kappa}^{\text{сп}} (0,86b_0 - 0,89d_1)}, \quad (15)$$

где

$$\delta = 2\mu \sqrt{R_{\kappa}^{\text{сп}} / (0,86b_0 - 0,89d_1)}. \quad (16)$$

Величину уширения по формуле (13) определить нельзя, т. к. изначально неизвестна высота овала h_0 , поэтому ее необходимо вычислить, используя метод последовательных приближений. Для этого воспользуемся рекомендуемыми допустимыми значениями отношения сторон при вальцовке овальной полосы в круглом калибре $a_0 = \frac{b_0}{h_0} \leq 3,5$ [15]. Примем это соотношение равное 2, откуда $h_i = b_0 / 2$.

Затем по формулам (12), (13), (14), (15), (16) найдем значение h_0 и сравним его с h_i . Если выполняется равенство $h_0 = h_i$, то значение h_0 найдено верно, если нет, то, используя метод последовательных приближений, нужно добиться равенства.

После определения поперечных размеров определим коэффициенты вытяжки λ_1 и λ_2 по проходам. Коэффициент вытяжки во втором проходе

$$\lambda_2 = \frac{F_{\text{ов}}}{F_{\text{кр}}}, \quad (17)$$

где $F_{\text{ов}} = 0,33(\frac{m_0}{h_{10}} + 2)b_0h_0$ – площадь овала; $F_{\text{кр}} = \frac{\pi d_0^2}{4}$ – площадь круга.

Для оценки возможности использования предлагаемой методики было проведено сравнительное исследование вальцовки заготовки, приведенной на рис. 5, и результатов расчетов по методике В. К. Смирнова [16].

Вальцовка в обоих случаях производится на консольных вальцах модели С1237 с расстоянием между осями валков $A = 505$ мм, частота вращения валков $n = 20$ об/мин, известны размеры вальцованной заготовки в горячем состоянии.

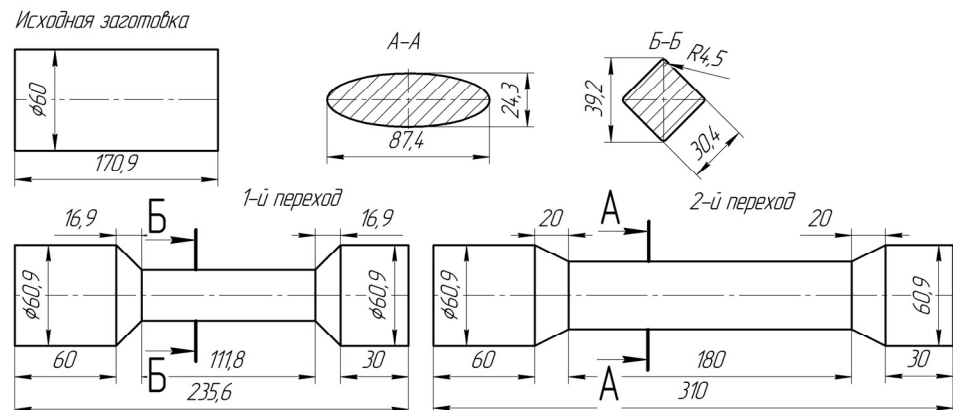


Рис. 5. Исходная заготовка и переходы вальцованной заготовки

Сравнение результатов расчета поперечных размеров при вальцовке по предлагаемой методике с результатами расчета по методике В. К. Смирнова приведено в таблице.

Сравнение параметров расчета поперечных размеров

Схема вальцовки	Методика вальцовки	A/F_0	F_0	$F_{\min}$	N	b_1	b_0	h_1	h_0	λ_1	λ_2	λ_{Σ}
Круг – овал – квадрат	Предлагаемая методика	9,36	2910	905	2	39,2	87,4	30,4	24,3	1,88	1,7	3,2
Круг – овал – квадрат	Методика по В. К. Смирнову	5,9	2910	905	2	39,2	89,3	30,4	22,6	1,99	1,61	3,2

Из сравнения результатов следует, что совпадение удовлетворительное (различия по ширине b_0 – 2,2 %, по высоте h_0 – 7,5 %) и данная методика может быть рекомендована к применению.

Библиографические ссылки

1. Смирнов В. К., Литвинов К. И., Харитонин С. В. Применение горячей вальцовки заготовок в кузнечно-штамповочном производстве // Кузнечно-штамповочное производство: перспективы и развитие : сб. науч. тр. – Екатеринбург : ГОУВПО «УГТУ-УПИ», 2005. – С. 611–614.
2. Кауфман К. М. Коэффициенты вытяжки при вальцовке // Кузнечно-штамповочное производство. – 1966. – № 11. – С. 14–18.
3. Там же.
4. Атрошенко А. П. Технология горячей вальцовки. – Л. : Машиностроение, 1969. – 176 с.
5. Смирнов В. К., Литвинов К. И., Харитонин С. В. Горячая вальцовка заготовок. – М. : Машиностроение, 1980. – 153 с.
6. Атрошенко А. П. Технология горячей вальцовки.
7. Там же.
8. Северденко В. П., Бахтинов Ю. В., Бахтинов В. Б. Валки для профильного проката. – М. : Металлургия, 1979. – 224 с.
9. Там же.
10. Там же.
11. Там же.
12. Смирнов В. К., Литвинов К. И., Харитонин С. В. Горячая вальцовка заготовок.
13. Северденко В. П., Бахтинов Ю. В., Бахтинов В. Б. Валки для профильного проката.
14. Там же.
15. Смирнов В. К., Литвинов К. И., Харитонин С. В. Горячая вальцовка заготовок.
16. Там же.

I. B. Pokras, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

E. R. Akhmedzyanov, Candidate of Technical Sciences, Izhevsk State Technical University

A. S. Zhitnikov, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

Calculation of Rolled Blanks Lateral Dimensions

Some questions connected with calculation of the cross-section dimensions of rolled blanks on the basis of some results of Yu. B. Bakhtinov's method are considered. The calculation technique and an example are described, and the comparative results of calculations are given.

Key words: forging process, blank production, rolling, dimensions calculation method

Получено: 15.11.11