

УДК 621.73-52

И. Б. Покрас, доктор технических наук, профессор;
Э. Р. Ахмедзянов, кандидат технических наук, доцент;
А. С. Житников, соискатель
Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ВАЛЬЦОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ПОЛОСЫ

Предложена методика проектирования технологии вальцовки с использованием метода эквивалентной полосы. Результаты позволяют рассчитать количество переходов с использованием аналитических формул метода эквивалентной полосы Ю. Б. Бахтинова и применить в системах автоматизированного проектирования.

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

Вальцовка заготовок представляет собой разновидность процесса продольной периодической прокатки и заключается в получении профилированных заготовок в фигурных ручьях деформирующего инструмента, устанавливаемого на валках, вращающихся навстречу друг другу [3]. Применение вальцовки дает возможность получать фасонные заготовки с большими перепадами площадей поперечных сечений вдоль оси, что позволяет, отказавшись от протяжки и подкатки, выполнять штамповку поковок удлиненной формы на кривошипных горячештамповочных прессах.

В существующих методиках для расчета технологии вальцовки широко используются номограммы и поправочные коэффициенты, это затрудняет разработку программного обеспечения для использования в системах автоматизированного проектирования (САПР). Использование метода эквивалентной полосы Ю. Б. Бахтинова позволило рассчитать поперечные размеры и количество переходов, не прибегая к номограммам и эмпирическим формулам.

В статье представлена методика проектирования технологического процесса вальцовки, адаптированная для последующего применения в составе САПР.

Разработка технологического процесса вальцовки по предлагаемой методике состоит из следующих этапов.

Установление необходимости применения ковочных вальцев

Поскольку при штамповке поковок удлиненной формы вальцовка заготовок заменяет собой протяжку и подкатку, то целесообразность применения ковочных вальцев будет определяться необходимостью использования протяжного или подкатного ручья, а также их сочетания для штамповки заданной поковки. Таким образом, если окажется, что данная поковка не может быть изготовлена без применения протяжки или подкатки, то для получения фасонной заготовки необходимо применять ковочные вальцы.

Для определения формы и размеров фасонной заготовки, изготавливаемой вальцовкой, и необходимости применения ковочных вальцев следует вос-

пользоваться методикой, описанной в работе [1]. В ее основе лежит построение эпюры диаметров и эпюры сечений с последующим расчетом параметров α и β , характеризующих сложность процесса. Необходимость применения вальцовки определяется в соответствии с диаграммой [1, с. 54].

Конструирование вальцованной заготовки, выбор формы (круг, квадрат) и размеров исходной заготовки. Выбор вальцев

Выполнение данного этапа рассмотрим на примере поковки рычага, приведенной на рис. 1, а. Для определения размеров исходной заготовки, исходя из эпюры сечений расчетной заготовки (рис. 1, б), производится построение эпюры сечений вальцованной заготовки (контур 2 на рис. 1, в), после чего конструируется вальцованная заготовка (рис. 1, г), которую необходимо получить на ковочных вальцах.

При этом необходимо руководствоваться следующими соображениями. В целях упрощения конструкции ручьев вальцовочных штампов криволинейные участки (рис. 1, б) контура эпюры сечений расчетной заготовки (контур 1) заменяют прямолинейными (контур 2). Указанную корректировку следует производить пользуясь условием равенства объемов. Однако для упрощения расчетов при нахождении контура 2 равенство объемов элементов расчетной и вальцованной заготовки можно заменить равенством соответствующих площадей эпюры сечений расчетной и вальцованной заготовки. Концевые участки контура эпюры сечений вальцованной заготовки выполняются в виде прямых линий, перпендикулярных оси заготовки, а длины этих участков, во избежание «закусывания» облойным мостиком и из соображений удобства укладки заготовки в ручей штампа, следует делать короче соответствующих участков эпюры сечений расчетной заготовки. Длины промежуточных участков эпюры сечений вальцованной заготовки и получаемой заготовки после вальцовки должны быть равны [1].

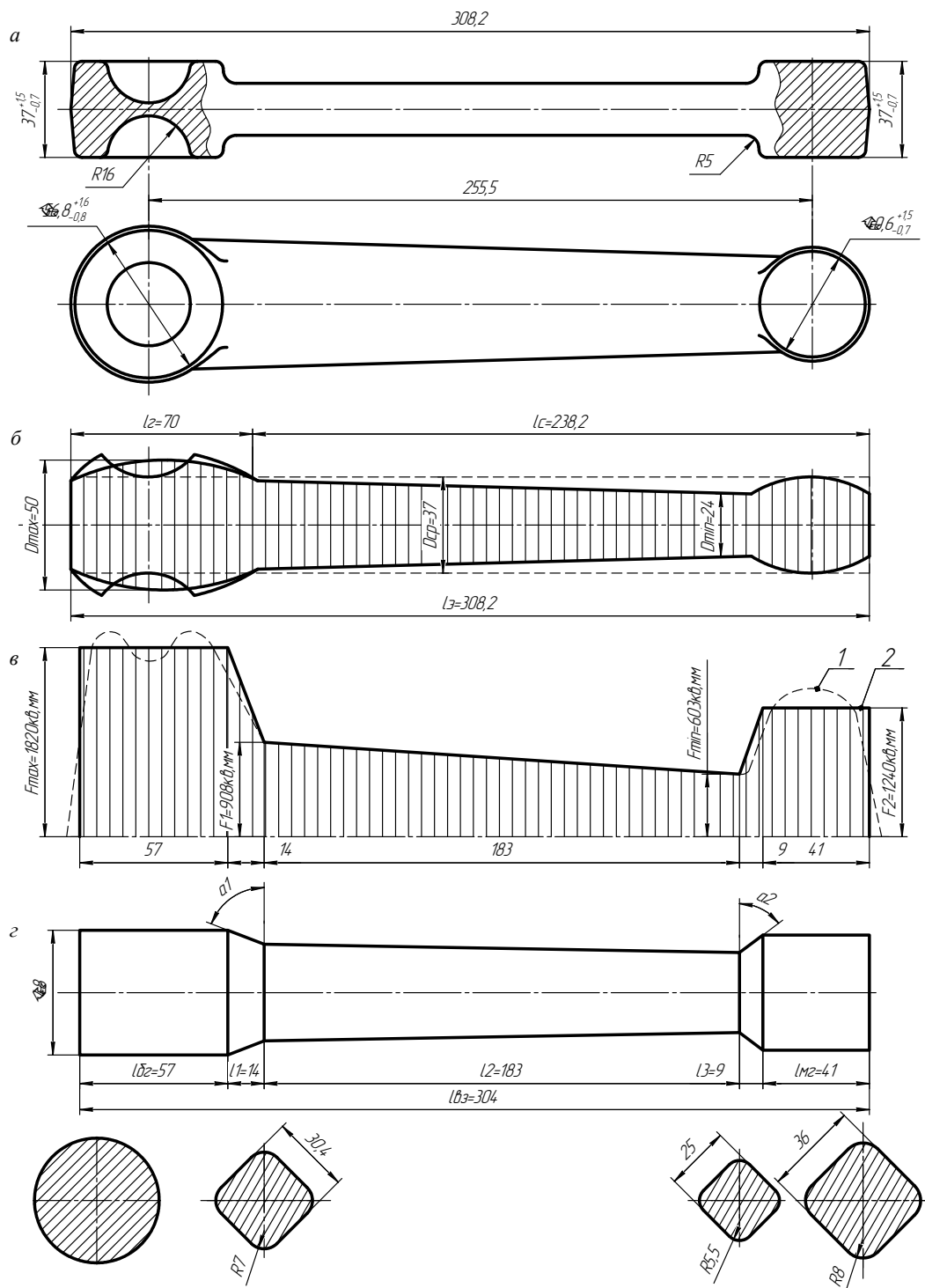


Рис. 1. Конструирование вальцованной заготовки для поковки рычага:

a – поковка рычага; *б* – расчетная заготовка (эпюра диаметров); *в* – эпюра поперечных сечений вальцованной заготовки; *г* – вальцованная заготовка

Для исключения зажимов при вальцовке и последующей штамповке между отдельными участками вальцуемой заготовки должны быть предусмотрены переходные участки l_1 и l_3 с углом наклона α_1 и α_2 , равным $45\text{--}60^\circ$, и радиусом закругления R_1 и R_2 , равным $5\text{--}40$ мм (рис. 1, *г*). Для удерживания заготовки клещами в процессе вальцовки на одном конце ее необходимо оставить необжимаемый участок (клещевину) длиной не менее $0,4\text{--}0,5$ диаметра или

стороны исходной заготовки, хотя это и приводит к некоторому излишнему расходу металла. В целях экономии металла в качестве такого участка следует использовать большую головку вальцованной заготовки (рис. 1, *a, в, г*).

В тех случаях, когда участок заготовки с наибольшей площадью поперечного сечения находится посередине вальцованной заготовки (рис. 2, *б*) и является необжимаемым, вальцовка производится с

поворотом либо без поворота. При вальцовке без поворота на одном конце заготовки необходимо предусмотреть также необжимаемый участок ($l_{кл}$) для захвата клещами.

Если при последующей штамповке вальцованную заготовку необходимо удерживать в клещах и переносить ее из ручья в ручей, то при конструировании вальцованной заготовки требуется предусмотреть клещевину. В этом случае клещевина может быть или необжимаемая часть исходной заготовки (рис. 2, б) или концевая часть, образуемая при вальцовке в последнем переходе (рис. 2, а, в, г). Преимущество клещевины, получаемой вальцовкой, по сравнению с необжимаемой частью – в меньшем расходе металла.

Поперечные размеры исходной заготовки F'_{max} выбираются по максимальной площади поперечного сечения эпюры сечений вальцованной заготовки F_{max} с учетом потери металла на угар:

$$F'_{max} = \delta \cdot F_{max}, \quad (1)$$

где δ – потери металла на угар (при газовом 1,013–1,016; при мазутном 1,016–1,02).

Исходя из выбранной формы сечения исходной заготовки, подсчитывается диаметр для круглой заготовки:

$$d' = 1,13 \sqrt{F'_{max}} \quad (2)$$

или сторона квадрата для квадратной заготовки:

$$c = \sqrt{F'_{max}} \quad (3)$$

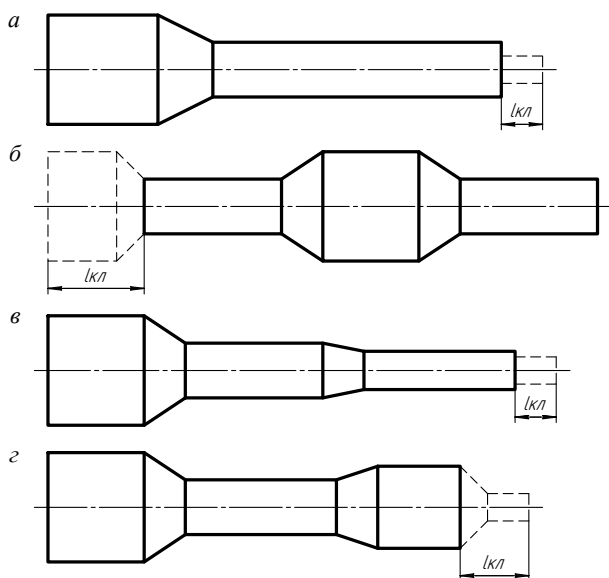


Рис. 2. Типовые формы вальцованных заготовок (штриховой линией показана клещевина) [1]

Затем по сортаменту выбирается ближайший больший размер исходной заготовки с площадью поперечного сечения $F'_{зг}$. После окончательного вы-

бора исходной заготовки вносится уточнение в длину $l_{кл}$ необжимаемых участков вальцованной заготовки.

Пользуясь формулой (4) или эпюрой сечений вальцованной заготовки (рис. 1, в – контур 2) и формулой (5), определяется объем расчетной заготовки V_3 , а затем подсчитывается объем $V'_{зг}$ и длина $l'_{зг}$ исходной заготовки по формулам:

$$V_{по} = V_{п} + V_{о} = V_3, \quad (4)$$

где $V_{по}$ – объем поковки $V_{п}$ с обломом $V_{о}$, равный объему расчетной заготовки V_3 ;

$$V_{по} = V_{эс} M, \quad (5)$$

где h_3 – высота отрезков; M – принятый масштаб по оси ординат;

$$V'_{зг} = V_3 \frac{100 + y}{100}, \quad (6)$$

$$l'_{зг} = \frac{V'_{зг}}{F'_{зг}}, \quad (7)$$

где y – угар металла в % (при мазутном нагреве 2–3 %; при газовом 1,5–2 %; при индукционном 0,5–1 %); $V'_{зг}$ – площадь поперечного сечения исходной заготовки в горячем состоянии.

Длина заготовки $l_{зг}$ в холодном состоянии [1]:

$$l_{зг} = 0,98 l'_{зг}. \quad (8)$$

Выбор вальцев. Для вальцовки заготовок используют ковочные вальцы следующих типов: одно-клетевые консольные и двухпорные, двухклетевые непрерывной вальцовки, многоклетевые последовательной вальцовки. Принцип работы и модели ковочных вальцев описаны в работах [1] и [3]. Для выбора ковочных вальцев необходимо знать наибольший диаметр исходной заготовки в мм.

Определение общего максимального коэффициента вытяжки $\lambda_{общ\max}$ и выбор схемы вальцовки в зависимости от формы исходной заготовки и числа проходов

Общий максимальный коэффициент вытяжки при вальцовке [1]:

$$\lambda_{общ\max} = \frac{F_{зг}}{F_{min}}, \quad (9)$$

где $F_{зг}$ – площадь исходной заготовки; F_{min} – минимальная площадь поперечного сечения вальцуемой заготовки.

Если вальцовка происходит за несколько пропусков, то суммарный коэффициент вытяжки λ_{Σ} определяется как произведение коэффициентов вытяжки в отдельных пропусках, т. е.

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_n, \quad (10)$$

где $\lambda_1 = \frac{F_{3T}}{F_1}$, $\lambda_2 = \frac{F_1}{F_2}$, ..., $\lambda_n = \frac{F_{n-1}}{F_n}$ – коэффициенты

вытяжки при первом, втором и т. д. пропусках.

Количество пропусков определяется из условия:

$$\lambda_{\text{общ макс}} \geq \lambda_{\Sigma}. \quad (11)$$

Вальцовку с использованием калибров различной формы осуществляют в основном из круглой или квадратной (прямоугольной) заготовки за один, два, три или четыре прохода. Наибольшее распространение получили следующие системы калибров: круг – овал, овал – круг, квадрат – овал, овал – квадрат, квадрат – ромб, ромб – ромб, ромб – квадрат.

Одноручьевую вальцовку осуществляют по схеме круг (квадрат) – плоский овал. Двухручевую вальцовку в первом проходе ведут по схеме круг – овал или квадрат – ромб. При втором проходе по схеме овал (ромб) – квадрат или овал – круг. При трехручевой вальцовке в первом проходе профилирование заготовки производят по схеме круг – овал или квадрат – ромб. Во втором проходе по схеме овал (ромб) – ромб. В третьем проходе вальцовку ведут на квадрат. Общая схема вальцовки из круглой и квадратной заготовки приведена на рис. 3.

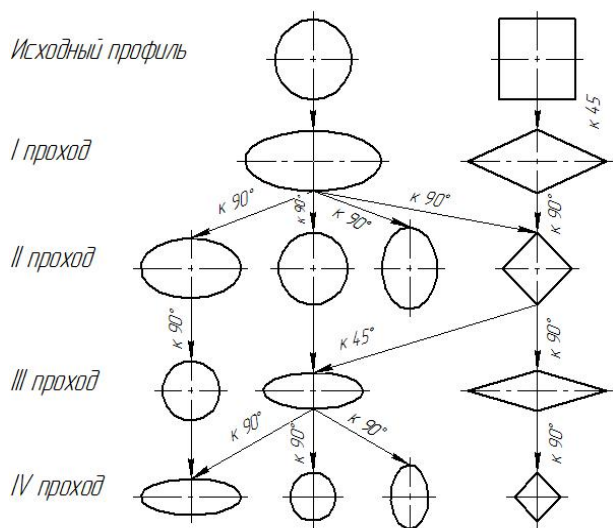


Рис. 3. Схема вальцовки из круглой и квадратной заготовки [1]

Расчет коэффициента трения μ

Коэффициент трения μ находим из выражения [2]:

$$\mu = a^T k_1 k_2 k_3 k_4, \quad (12)$$

где $a^T = (1,05 - 0,0005t)$ – среднее значение коэффициента трения в зависимости от температуры вальцовки.

Значение коэффициентов k_1 , k_2 , k_3 , k_4 выбираются по данным работы [2]. Значения коэффициента k_1 , учитывающего влияние металла валков и качество их изготовления, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения коэффициента k_1

Валки стальные	k_1	Валки чугунные	k_1
Полированные	0,8	шлифованные	0,7
Шлифованные	0,9	обточенные	0,8
Обточенные	1,0	с сеткой разгара	1,0
С сеткой разгара	1,2	–	–
Насеченные	1,4	–	–

Значения коэффициента k_2 , учитывающего влияние скорости прокатки, берутся по графику на рис. 4.

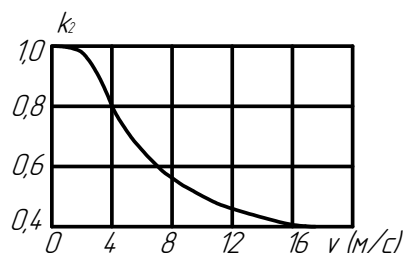


Рис. 4. Значения коэффициента k_2 в формуле (12)

Сопоставление скорости вращения всех типов валцов, применяемых для вальцовки [1, 3], показал, что максимальная скорость вращения достигает $\approx 0,9$ м/с. В связи с этим, исходя из значений, приведенных на рис. 4, коэффициент k_2 можно принять равным 1.

Значения коэффициента k_3 , учитывающего влияние пластичности металла для различных марок стали, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения коэффициента k_3

Стали или сплавы	Марка	k_3
Углеродистые	Ст1	1,0
Ледебуритные	P18	1,1
Перлитномартенситные	ШХ15,4Х13	1,3
Аустенитные	1Х13НЧ19,1Х18Н9Т	1,45
Ферритные	ЭИ341	1,55
Аустенитные с включением карбидов	X15H60	1,6

Значения коэффициента k_4 , учитывающего влияние формы заготовки и калибра на изменение коэффициента трения, наиболее распространенных систем калибров приведены в табл. 3.

Таблица 3. Значения коэффициента k_4

Схема прокатки (форма заготовки – форма калибра)	k_4
Прямоугольник – разрезной калибр; круг – гладкая бочка	0,89
Овал – ребровой овал; ребровой квадрат – ромб; овал – круг	0,975
Круг – эллиптический овал; эллиптический овал – круг	1,0
Ромб – квадрат; шестиугольник – шестигранник	1,025
Круг – овал; эллиптический овал – овал	1,035
Овал – квадрат; круг – ромб	1,12

Окончание табл. 4

Схема прокатки (форма заготовки–форма калибра)	k_a
Квадрат–овал	1,15
Шестиугольник–квадрат	1,22
Калибры сложной формы	$\sqrt{c_{f0}/c_{f1}}$

Определение поперечных размеров заготовок и ручьев по переходам вальцовки и определение возможности получения вальцованной заготовки по предварительно выбранному количеству проходов с последующим их увеличением (при такой необходимости)

Для расчета используется чертеж поковки, по которой определяются размеры вальцованной заготовки [1, 3].

Максимально допустимое абсолютное обжатие рассчитывается как

$$\Delta h_{\max} = 0,9\mu^2 R_k, \quad (13)$$

где μ – коэффициент трения; R_k – катающий радиус:

$$R_k = R_0 - 0,5h_1\sqrt{c_{f1}}, \quad (14)$$

где R_0 – начальный радиус вала.

Абсолютное обжатие [1]:

$$\Delta h = c_{f0}h_0 - c_{f1}h_1, \quad (15)$$

где c_{f0} , c_{f1} – коэффициенты формы заготовки, задаваемой в калибр и соответственно выходящей из калибра, они приведены в табл. 4 [2].

Таблица 4. Значения коэффициентов формы c_{f0} , c_{f1}

Форма заготовки и калибра	c_{f0} , c_{f1}
Ромб	0,62
Прямоугольник, квадрат	0,98
Круг, эллиптический овал, ребровой овал	0,785
Овал	0,735
Плоский овал	0,86
Ребровой квадрат	0,59

Для предотвращения проскальзывания нужно, чтобы выполнялась равенство

$$\Delta h \leq \Delta h_{\max}. \quad (16)$$

Найдем высоту заготовки h_0 , задаваемую в последний калибр, которая обеспечивает получение высоты заготовки на выходе h_1 :

$$h_0 = \frac{1}{c_{f0}}(h_1c_{f1} + 0,0003\alpha^2 R_k), \quad (17)$$

где $\alpha = 57,3 \times \mu$ – угол захвата.

После определения высоты находим ширину заготовки, задаваемую в последний калибр:

$$b_0 = b_1 - \Delta b, \quad (18)$$

где Δb – уширение, определяемое по формуле

$$\Delta b = \left[1 - \frac{h_1}{h_0} \sqrt{\frac{c_{f1}}{c_{f0}}} \left(\sqrt{\frac{h_0}{h_1} \sqrt{\frac{c_{f0}}{c_{f1}}} + a^2} - a \right) \right] b_1; \quad (19)$$

$$a = \left(\frac{h_0}{h_1} \sqrt{\frac{c_{f0}}{c_{f1}}} - 1 \right) (c_{\Delta b} - 0,5); \quad (20)$$

доля объема металла, смещенная в ширину:

$$c_{\Delta b} = \exp \left[1 - \left(1 + \frac{b_1}{b_k} \right) \sqrt{\frac{h_1}{h_0} \sqrt{\frac{c_{f1}}{c_{f0}}}} \right]; \quad (21)$$

критическая ширина полосы:

$$b_k = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{h_1}{h_0} \sqrt{\frac{c_{f1}}{c_{f0}}} \right)^2 \frac{\delta^2 - 1}{\delta^2} \frac{2\delta - 1}{2\delta} l_d}; \quad (22)$$

$$\delta = \frac{2\mu l_d}{h_0\sqrt{c_{f0}} - h_1\sqrt{c_{f1}}} = 2\mu \sqrt{\frac{R_k}{h_0\sqrt{c_{f0}} - h_1\sqrt{c_{f1}}}}; \quad (23)$$

длина дуги захвата:

$$l_d = \sqrt{R_k (h_0\sqrt{c_{f0}} - h_1\sqrt{c_{f1}})}. \quad (24)$$

Определив размеры h_0 и b_0 , находим величину вытяжки на последнем переходе:

$$\lambda_n = \frac{F_{n-1}}{F_n}. \quad (25)$$

Если при этой величине вытяжки выполняется условие $\lambda_n \geq \lambda_{\text{общ max}}$, то вальцовку можно осуществить за один проход, если же нет, то для получения необходимых размеров вальцованной заготовки потребуются еще один или несколько проходов (см. рис. 5).

Расчет каждого последующего прохода производим в такой же последовательности, как и предыдущего.

Определив коэффициент вытяжки следующего прохода, находим суммарный коэффициент вытяжки λ_Σ и сравниваем его с $\lambda_{\text{общ max}}$, и так до тех пор, пока не будет выполняться неравенство (11). Таким образом, количество необходимых проходов будет определяться величиной суммарной вытяжки, при которой будет выполняться неравенство (11).

После определения количества проходов необходимо добиться выполнения равенства

$$\lambda_\Sigma = \lambda_{\text{общ max}}. \quad (26)$$

Для этого, используя метод последовательного приближения, необходимо уменьшать величину обжатия до тех пор, пока не будет достигнуто равенство (26).

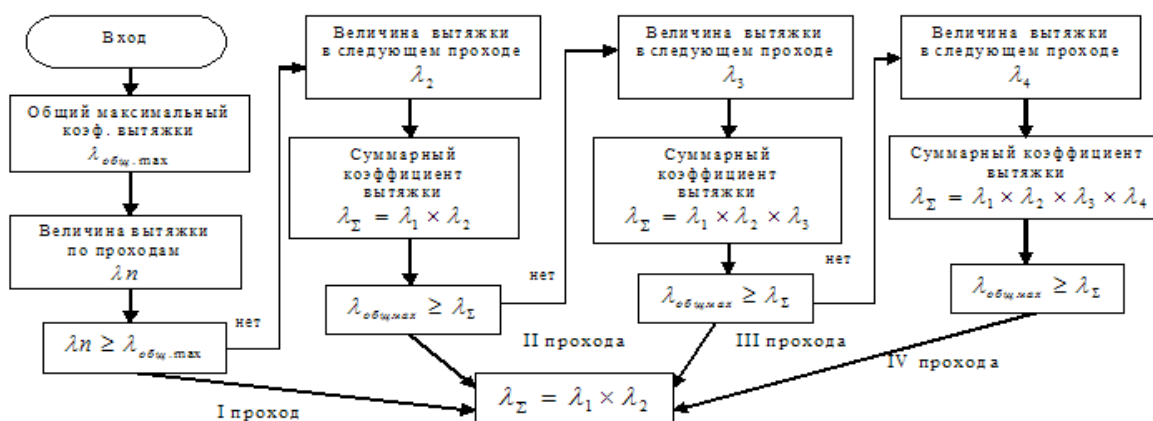


Рис. 5. Блок-схема определения числа проходов вальцовки

Определение продольных размеров заготовок и ручьев

Определяем продольные размеры овального ручья и центральные углы сектора-штампа. Для этого рассчитаем средние значения коэффициента вытяжки по проходам:

$$\lambda_{cp} = \frac{l_n}{l_{n-1}}. \quad (27)$$

Рассчитываем опережение металла при вальцовке:

– при вальцовке круглой заготовки в овальном калибре с постоянным обжатием:

$$S = 0,31(2 - \lambda)(\lambda - 1), \quad (28)$$

– с нарастающим обжатием:

$$S = 0,37(2 - \lambda_{cp})(\lambda_{cp} - 1), \quad (29)$$

где λ_{cp} – коэффициент вытяжки в среднем сечении конического участка;

– при вальцовке овальной заготовки в круглом калибре:

$$S = 0,25(2 - \lambda)(\lambda - 1). \quad (30)$$

С учетом опережения рассчитываем рабочую длину на секторах-штампах:

$$l_n = \frac{l}{1 + S}. \quad (31)$$

Определяем рабочий радиус-вектор на характерных участках сектора-штампа:

$$R = 0,5(A - h). \quad (32)$$

Средний рабочий радиус-вектор сектора-штампа [3]:

$$R_{cp} = 0,5 \left(A - \frac{d_0 + d_1}{2} \right). \quad (33)$$

Центральные углы сектора-штампа, соответствующие характерным участкам вальцованной заготовки, определяем по формуле [1]:

$$a_{yч} = \frac{b_{max} + b_{min}}{h_{max} + h_{min}}, \quad (34)$$

где $a_{yч}$ – отношение осей поперечного сечения вальцуемой заготовки на данном участке в соответствующем пропуске; b_{max} и h_{max} – максимальные оси поперечных сечений вальцуемой заготовки на данном участке; b_{min} и h_{min} – минимальные оси поперечных сечений вальцуемой заготовки на данном участке.

Угол рабочей части вальцовочного штампа определяется по формуле:

$$\theta_1 = \frac{l \times 57,3}{0,5 \left(A - \sqrt{\frac{F}{a_{yч}}} \right) (S + 1)}. \quad (35)$$

Общий суммарный угол вальцовочного штампа определяется по формуле (34) и не должен превышать 240–270° [1]:

$$\theta_{\Sigma} = \theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n (10 \div 15). \quad (36)$$

Предложенная методика позволяет разработать технологию вальцовки с использованием метода эквивалентной полосы, рассчитать количество переходов с использованием аналитических формул и применима в системах автоматизированного проектирования.

Библиографические ссылки

1. Атрошенко А. П. Технология горячей вальцовки. – Л. : Машиностроение, 1969. – 176 с.
2. Смирнов В. К., Литвинов К. И., Харитонин С. В. Горячая вальцовка заготовок. – М. : Машиностроение, 1980. – 153 с.
3. Северденко В. П., Бахтинов Ю. В., Бахтинов В. Б. Валки для профильного проката. – М. : Металлургия, 1979. – 224 с.

* * *

I. B. Pokras, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

E. R. Akhmedzyanov, PhD in Engineering, Associate professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. S. Zhitnikov, Applicant, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Improving the process of milling technology development by the equivalent strip method

The article offers the technique of milling technology development by the method of the equivalent strip. Results allow calculating the number of transitions by analytical formulas of the equivalent strip method by Yu. B. Bakhtinov. These results are applicable in systems of the computer-aided design.

Keywords: forging process, blank production, milling, dimension calculation method

Получено: 11.04.2013

УДК 532.137.2

*И. Б. Покрас, доктор технических наук, профессор;
Г. А. Чикуров, докторант, кандидат технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова*

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ И ТЕМПЕРАТУРАХ

Предложено устройство для экспериментального определения реологических характеристик ньютоновских жидкостей при переменных давлениях и температурах. Даны эскизы и описание конструкции устройства, его принципа действия. Приведены основные формулы для расчета реологических характеристик по получаемым с помощью устройства экспериментальным данным.

Ключевые слова: ньютоновские жидкости, реология, реологические характеристики, вискозиметр, вязкость

Устройства для исследования вязкого течения жидкостей называют вискозиметрами. Вискозиметры по принципу действия можно разделить на несколько типов: а) ротационные вискозиметры с вращающимися цилиндрами, конусами, плоскостями; б) капиллярные вискозиметры, в которых испытуемый материал истекает через капиллярную трубку под действием переменного давления или силы гравитации; в) вискозиметры с падающим шаром. Каждый из них способен обеспечить надежные количественные реологические данные, и их можно рассматривать как взаимно дополняющие друг друга, потому что каждый имеет характерные, присущие ему преимущества.

Существует множество различных конструкций вискозиметров для измерения вязкости жидкостей при нормальном атмосферном давлении. Однако вязкость жидкости существенно зависит от ее температуры и воздействующего на нее давления, а число вискозиметров для определения вязкости при переменных температурах и давлениях невелико и их конструкции довольно сложны.

Вискозиметры, основанные на определении скорости свободно падающего шарика при высоких давлениях, использовать неудобно, поскольку вязкость жидкости значительно увеличивается, и поэтому шарик падает очень медленно [1]. Ротационные вискозиметры, позволяющие измерять вязкость при высоких давлениях жидкости, имеют сложную конструкцию и очень трудоемки при изготовлении [2]. Вискозиметры с капиллярной трубкой предпочтительнее, если данные используются в задачах

течения жидкости по трубам. Большим преимуществом капиллярных вискозиметров является относительная простота их конструкции, простота вспомогательного оборудования для контроля и измерения разности давлений и скорости течения в капиллярной трубке.

Предлагаемая конструкция капиллярного вискозиметра, общий вид которой представлен на рис. 1, позволяет определять реологические характеристики жидкости с ньютоновским поведением при высоких давлениях и различных температурах.

Для привода вискозиметра в действие может быть использована любая машина для испытаний на сжатие, которая позволяет изменять скорость движения подвижной траверсы и рабочее пространство которой позволяет разместить и закрепить вискозиметр.

Особенностью разработанного капиллярного вискозиметра является то, что капилляр выполнен в виде кольцевого зазора между цилиндрическим отверстием в корпусе 1 вискозиметра и расположенным внутри этого отверстия стержнем 2. Схема течения жидкости по такому капилляру наилучшим образом соответствует схеме течения смазки при гидродинамическом волочении и гидропрессовании.

Корпус 1 вискозиметра выполнен в виде толстостенного цилиндра с внутренним отверстием переменного диаметра из стали 45ХНМФА и закален до твердости HRC 42.

Давление и течение жидкости в вискозиметре обеспечивается плунжером 3, который прикреплен к