

УДК 621.73.016: 621.73.043

Кухарь В. В.
Бурко В. А.
Короткий С. А.
Балалаева Е. Ю.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ НА КГШП ПОКОВОК ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ

В условиях ЗАО «Азовэлектросталь» (г. Мариуполь) освоен выпуск поглощающих аппаратов АПМ-120 типа Т1 и Т2 для автосцепки железнодорожных цистерн, вагонов и полувагонов [1]. Основным техническим предназначением данных устройств является гашение энергии удара, возникающего при комплектовании составов в автоматическом режиме. Конструкция поглощающего аппарата типа Т1 с демпфирующими элементами в виде наборных упругих колец показана на рис. 1. Некоторые детали поглощающих аппаратов представляют собой пластины, изготавливаемые горячей объемной штамповкой на КГШП 40 МН (цех № 192 предприятия), с последующей механообработкой, доваркой и сборкой [1].

Между тем, поковки пластин по классификационной принадлежности относят к поковкам, штампуемым на ПШМ [2–4], а их производство на КГШП считается низкотехнологичным [5]. В известной классификации [6] указано, что поковки прямоугольной или близкой к ней формы возможно штамповать способами осадки, приведено описание предпочтительного вида формообразования и рекомендации по выбору ручьев для изготовления на КГШП. Однако выполнение общих рекомендаций при штамповке, например, поковок «пластина неподвижная» и «пластина опорная» для деталей поглощающего аппарата, не позволяет исключить высокий расход металла в облой, высота которого достигает 7–12 мм при норме 4,0 мм для указанного оборудования. Отсутствие рациональных подготовительных операций при штамповке поковок типа пластин и пластин с наличием отростков на КГШП, а также износ опорных шеек коленчатого вала заводского пресса, обуславливает наличие здесь нерегламентированных зазоров при упругой деформации системы пресс-штамп и приводит к перерасходу металла, недоштамповке с незаполнением отростков и полотна поковок.

Целью данной работы является усовершенствование технологии штамповки на КГШП поковок для деталей поглощающего аппарата путем разработки комплекса научно-обоснованных мероприятий, обеспечивающих лучшее заполнение ручьев штампов, уменьшения отходов металла в облой и снижения погрешностей в системе пресс-штамп.

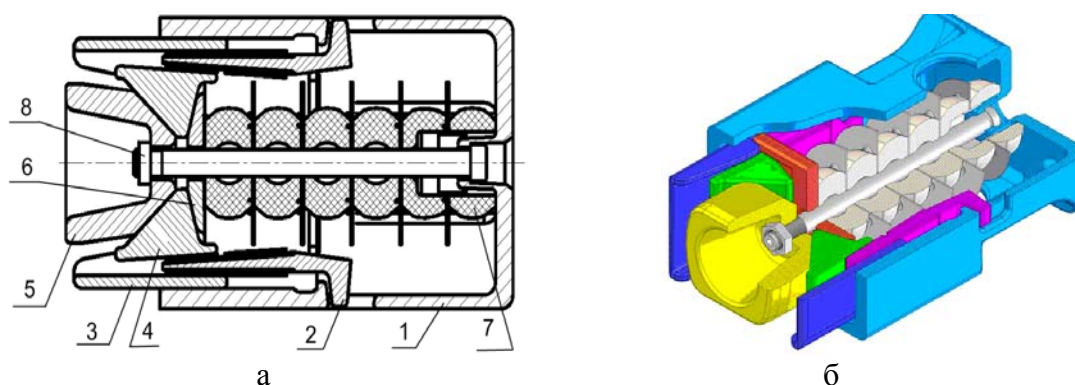


Рис. 1. Поглощающий аппарат типа Т1 в продольном разрезе (а) и сборе (б):

1 – корпус; 2 – пластина неподвижная; 3 – пластина подвижная; 4 – клин; 5 – конус нажимной; 6 – пластина опорная; 7 – пакет упругих элементов; 8 – болт стяжной с гайкой

Возможности операции осадки, с точки зрения приближения формы заготовки к конфигурации поковок некоторых типов, далеко не исчерпаны [7, 8], при этом большинство

технологических процессов горячей штамповки включают осадку заготовок на 5–20 % только в целях сбива окалины. Процессы осадки сопровождаются неравномерностью течения металла, характер которой зависит от температурно-скоростных условий деформирования, формы инструмента и степени деформации заготовки. Значительное влияние на формоизменение оказывает коэффициент контактного трения, соотношение размеров исходной заготовки, условия её подстуживания и др. факторы. Следовательно, неравномерность деформации при осадке может быть управляемой и положительно использованной для естественного бесштампового профилирования заготовок в технологияхковки и штамповки [8].

В работах [9, 10] отмечена целесообразность введения операций осадки выпуклыми продолговатыми плитами заготовок или слитков в технологияхковки поковок типа пластин, что позволяет снизить отходы обрезки за счет уменьшения величины «языков» при дальнейшей протяжке. Аналогичное использование выпуклых продолговатых осадочных плит для перераспределения металла на подготовительных переходах объемной штамповки обеспечит улучшение заполнения окончательных ручьев при производстве поковок, близких к прямоугольным в плане. Однако для выбора размеров исходной заготовки, радиусности осадочных плит и режимов деформации для производства поковок типа пластин с заданными геометрическими размерами необходимо иметь сведения о закономерностях формоизменения при осадке данным инструментом, которые до настоящего времени подробно не изучены.

Поковки для деталей поглощающего аппарата «пластина неподвижная» и «пластина опорная», приведенные на рис. 2 и рис. 3 соответственно, представляют собой близкие к прямоугольным в плане изделия, штампуемые плашмя на КГШП 40 МН «пластина неподвижная» (материал сталь 38ХС ГОСТ 4543-71, масса поковки без облоя 3,77 кг) имеет один вертикальный отросток, расположенный перпендикулярно плоскости разъема штампов, т. е. перпендикулярно полотну поковки. Основное полотно имеет возрастающее по мере приближения к отростку поперечное сечение слабовыраженной двутавровой формы (см. рис. 2), которое, согласно данным работы [6], можно отнести к несложному по конфигурации.

Базовая технология производства поковки «пластина неподвижная» включает нагрев прутка перед резкой, отрезку цилиндрической заготовки с размерами $\varnothing 90 \times 110$ мм (масса 5,49 кг), её нагрев до 1100 °С (имеется возможность нагрева как в камерной газовой печи, так и в кузнечном индукционном нагревателе), вертикальную установку и осадку плоскими плитами на 10 % для сбива окалины, предварительную и окончательную штамповку в открытых ручьях КГШП 40 МН. Обрезку облоя проводят в горячем состоянии на обрезном прессе силой 4,0 МН. Подача поковки от КГШП к обрезному прессу производится транспортером.

Поковка «пластина опорная» (материал 38ХС ГОСТ 4543-71, масса поковки без облоя 4,66 кг) является плоской и имеет четыре боковых отростка, ориентированных в горизонтальной плоскости (см. рис. 3). Отростки направлены попарно от центра в две взаимно противоположные стороны, образуя продольную ось поковки и не выходя за габариты её ширины. Основное полотно представляет собой тонкую призму с высотой 23 мм, уменьшающейся по мере приближения к отросткам.

Базовая технология штамповки поковки «пластина опорная» осуществляется на той же производственной линии, что и для предыдущей поковки. Она аналогично включает в себя горячую резку прутка на мерные заготовки $\varnothing 90 \times 160$ мм (масса 7,98 кг), нагрев заготовок до температуры 1100 °С, вертикальную установку заготовки и осадку на 20 % плоскими плитами, штамповку в предварительном и окончательном ручьях и горячую обрезку облоя.

Быстрое охлаждение полотна плоских поковок на штампе увеличивает сопротивление деформации металла, что дополнительно способствует раскрытию системы «пресс-штамп» и проявлению недоштамповки. Масса облоя при производстве поковки «пластина неподвижная» достигает 1,6 кг, т. е. до 57 % от массы поковки, а при штамповке поковки «пластина опорная» – до 3,0 кг, т. е. до 64 % от массы поковки. Для стабилизации окончательных размеров поковок в области полотна и отростков, а, соответственно, для снижения отбраковок, необходимо либо создание больших удельных усилий (давлений) на гравюре, что требует использования оборудования большей мощности, либо перераспределение деформаций по переходам штамповки с локализацией давлений в областях затрудненного формообразования.

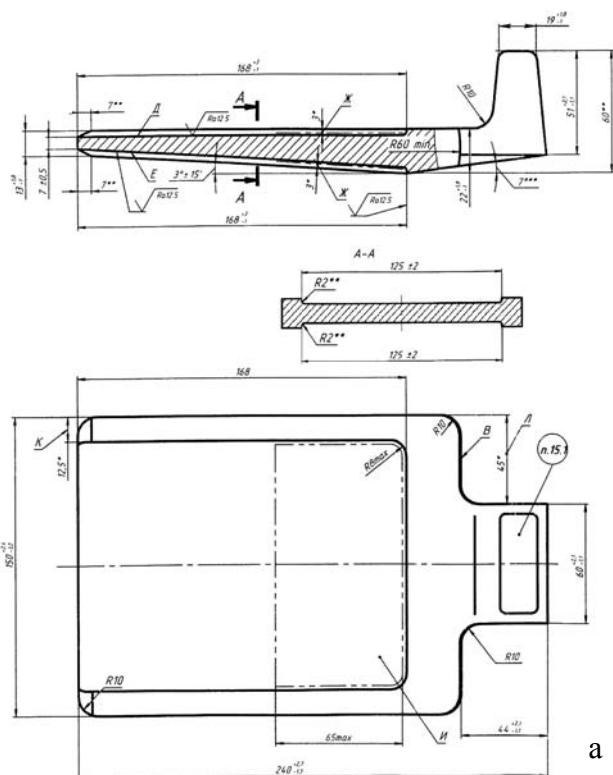


Рис. 2. Заводской чертёж (а) и поковка (б) «пластины неподвижной» (1835.02.011)

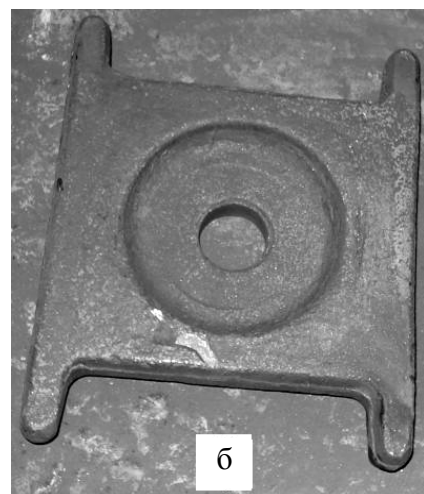
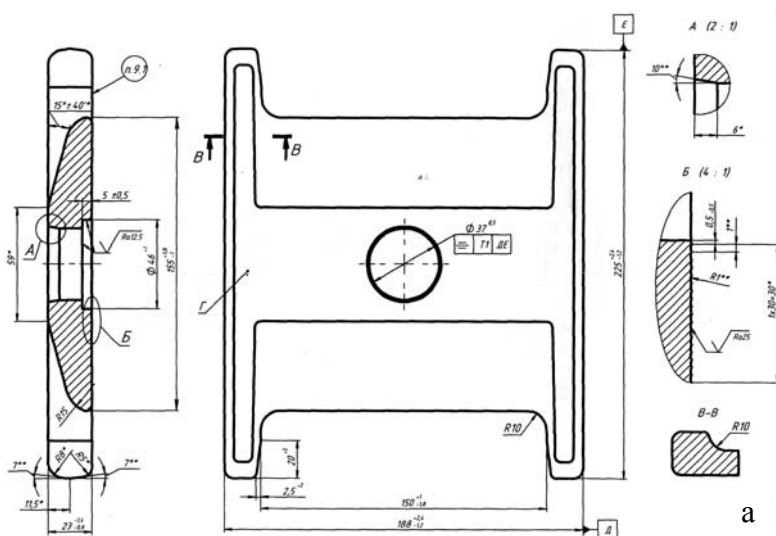


Рис. 3. Заводской чертёж (а) и поковка (б) «пластины опорной» (1835.02.005)

На основе предложенного способа повышения эффективности процессов штамповки поковок пластин путем использования подготовительно-заготовительной осадки выпуклыми продолговатыми плитам [11], проводили исследования формоизменения заготовок на данной операции. Исследования течения металла выполняли с привлечением методов математического моделирования в пакете конечно-элементного анализа Abaqus 6.5. В качестве влияющих факторов учитывали деформационные свойства материала заготовки (38ХС), коэффициент контактного трения (μ), температуру (t , °С) и скорость деформации ($\dot{\epsilon}$), а также следующие относительные показатели: отношение высоты H_0 к диаметру D_0 заготовки (H_0/D_0), отношение радиуса (R) осадочных плит к диаметру заготовки (радиусность R/D_0) и степень деформации (ϵ) при осадке. Для определения степени влияния указанных факторов на неравномерность деформации заготовки в продольном, поперечном и высотном направлении предложена обобщенная схема формоизменения, приведенная на рис. 4, с обозначением геометрических характеристик, которые контролировали в процессе исследования.

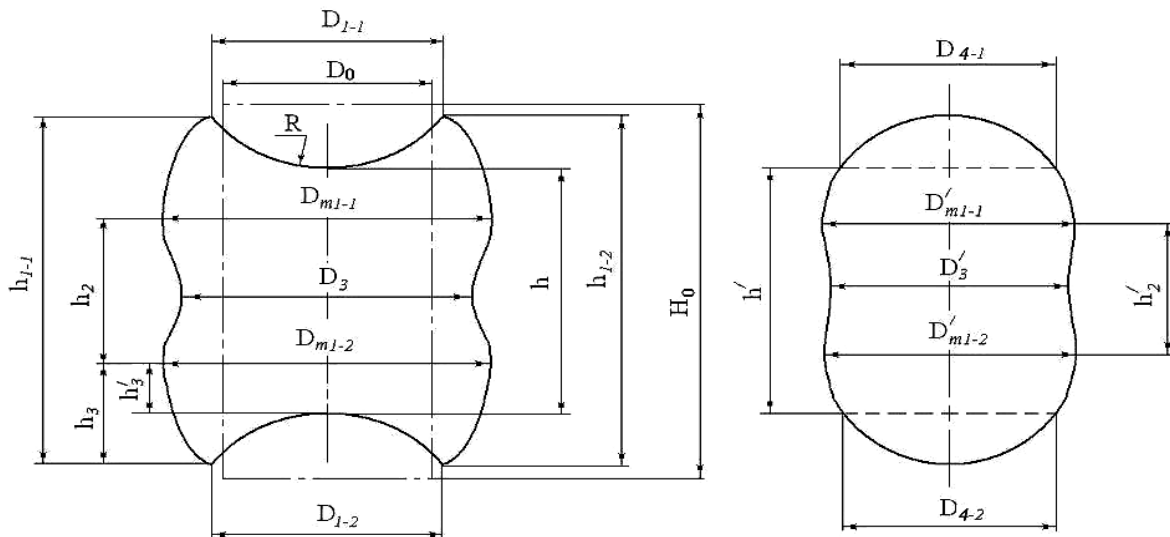


Рис. 4. Обобщенная схема формоизменения заготовки при торцевой осадке выпуклыми продолговатыми плитами

В основу теоретического решения положены допущения центрального внедрения выпуклых продолговатых плит в середину плоскости торцов заготовки и симметричной деформации относительно каждой из главных осей. Таким образом, для приведенной схемы (см. рис. 4) справедливыми являются равенства $(D_{l-1} \equiv D_{l-2}) = D_l$, $(h_{l-1} \equiv h_{l-2}) = h_l$, $(D'_{m1-1} \equiv D'_{m1-1}) = D'_m$, $(D_{m1-1} \equiv D_{m1-1}) = D_m$ и $(D_{5-1} \equiv D_{5-2}) = D_5$. На практике следует ожидать некоторого различия парных размеров. Степень деформации при осадке выпуклыми продолговатыми плитами упрощенно может быть вычислена по формуле [16]: $\varepsilon = (H_0 - h_{cp})/H_0$, где $h_{cp} = (h + h_l)/2$.

При моделировании принимали размеры заготовок $D_0 = 40$ мм и $H_0 = 40$ мм и 80 мм, т. е. варьировали величинами H_0/D_0 в пределах от 1,0 до 2,0; радиусы осадочных плит брали в пределах $R = 20 \div 100$ мм. После обработки графиков источника [12] методами матричного анализа получена функциональная зависимость сопротивления деформации σ_s для стали 38ХС от термомеханических условий деформирования, справедливая в интервале ковочных температур (от 800 °С до 1200 °С) до $\varepsilon \leq 0,6$ и для скоростей деформации $\dot{\varepsilon}$ от 0,1 до 50 с⁻¹:

$$\sigma_{s(38XC)} = A \cdot \varepsilon^2 + B \cdot \varepsilon + C, \quad (1)$$

где $A = (0,0062 \cdot \dot{\varepsilon} + 0,7777) \cdot t - 14,356 \cdot \dot{\varepsilon} - 1033,2$; $B = (-0,0142 \cdot \dot{\varepsilon} - 0,657) \cdot t + 28,823 \cdot \dot{\varepsilon} + 890,98$; $C = (-0,0019 \cdot \dot{\varepsilon} - 0,1612) \cdot t + 3,9945 \cdot \dot{\varepsilon} + 275,84$.

В качестве безразмерного параметра, характеризующего неравномерность деформации заготовки в поперечном направлении, принято соотношение $Y_1 = D_3/D_0$, в продольном направлении – $Y_4 = D'_m/D_4$, высотная неравномерность деформации выражена отношениями $Y_3 = (h_l - h)/H_0$ и $Y_5 = h'_2/H_0$. Параметр $Y_2 = D_3/D'_3$ описывает соотношение поперечного и продольного размеров, т. е. вытяжку заготовки в направлении, перпендикулярном оси выпуклых продолговатых осадочных плит. Постановочное моделирование показало, что изменение величины коэффициента контактного трения в пределах $\mu = 0,1 \div 0,4$ влияет на значения вышеуказанных безразмерных параметров максимум в четвертом знаке после запятой, что позволило не учитывать влияние μ на формоизменение при профилировании.

Регрессионные зависимости вышеуказанных безразмерных параметров от влияющих факторов получали совмещением численного моделирования формоизменения с методикой планирования эксперимента согласно с планом 2^5 полного факторного эксперимента [13]. Уровни и интервалы варьирования влияющих факторов приведены в табл. 1.

При искусственно внесенной дисперсии $S^2 = 0,0001$, исходя из предположения проведения двух параллельных опытов с уровнем надежности $\alpha = 0,95$, табличное значение критерия Кохрена составляет $G_{табл} = 0,6602$ [13]. При постоянном значении $S^2 = S^2_{max} = 0,0001$ имеем расчетное значение критерия Кохрена $G_p = 0,03125 < G_{табл}$, т. е. дисперсии однородны.

Таблица 1

Влияющие факторы и уровни их варьирования при моделировании осадки выпуклыми продолговатыми плитами стальных (38ХС) заготовок

Влияющие факторы (обозначения)	H_0/D_0 (X_1)	R/D_0 (X_2)	ε , (X_3)	$t/1000$ (X_4)	$\dot{\varepsilon}$, с ⁻¹ (X_5)
Основной уровень	1,5	1,5	0,3	1	15,01
Интервал варьирования	0,5	1,0	0,2	0,2	14,99
Верхний уровень	2,0	2,5	0,5	1,2	30
Нижний уровень	1,0	0,5	0,1	0,02	0,8

Условные обозначения при кодировании влияющих факторов:

$$X_1 = \frac{H_0/D_0 - 1,5}{0,5}; X_2 = \frac{R/D_0 - 1,5}{1,0}; X_3 = \frac{\varepsilon - 0,3}{0,2}; X_4^{38ХС} = \frac{t/1000 - 1}{0,2}; X_5 = \frac{\dot{\varepsilon} - 15,01}{14,99}. \quad (2)$$

После оценки значимости коэффициентов уравнений регрессии по t -критерию Стьюдента, который определен как $t_{\alpha, f} = 2,04$ [13], искомые зависимости принимают вид:

$$Y_1 = 1,2117 + 0,0034 \cdot X_1 + 0,0368 \cdot X_2 + 0,1678 \cdot X_3 + 0,0045 \cdot X_1 X_3 + 0,0274 \cdot X_2 X_3; \quad (3)$$

$$Y_2 = 1,0474 - 0,0118 \cdot X_1 - 0,0209 \cdot X_2 + 0,0383 \cdot X_3 - 0,0060 \cdot X_1 X_3 - 0,0199 \cdot X_2 X_3; \quad (4)$$

$$Y_3 = 0,5682 - 0,0445 \cdot X_1 - 0,0743 \cdot X_2 - 0,3094 \cdot X_3 + 0,0107 \cdot X_1 X_2 - 0,0249 \cdot X_1 X_3 - 0,0651 \cdot X_2 X_3 + 0,0122 \cdot X_1 X_2 X_3; \quad (5)$$

$$Y_4 = 1,0376 - 0,0124 \cdot X_2 + 0,0327 \cdot X_3 - 0,0062 \cdot X_1 X_2 - 0,0141 \cdot X_2 X_3 - 0,0043 \cdot X_1 X_2 X_3; \quad (6)$$

$$Y_5 = 0,1697 - 0,0533 \cdot X_3 + 0,0013 \cdot X_1 X_2. \quad (7)$$

Таким образом, влияние температуры и скорости деформации на формоизменение заготовок исключено из уравнений регрессии из-за незначимых величин коэффициентов. Расчетные величины критериев Фишера для уравнений (3)–(7) имеют значения $F(Y_1) = 2,5872$, $F(Y_2) = 1,9217$, $F(Y_3) = 0,11$, $F(Y_4) = 2,4988$, $F(Y_5) = 0,9427$, что меньше критической величины $F_{кр} = 3,3$ [13], следовательно, регрессионные модели адекватны.

Варианты штамповки с предварительной осадкой заготовки продолговатыми выпуклыми плитами зависят от конфигурации окончательной поковки и могут быть реализованы как с последовательной перекладкой из предварительного в окончательный ручей профилированной заготовки без кантовки, так и с выполнением кантовки. По чертежам предварительного ручья или поковки определяют соотношения габаритных размеров: $(D_3/D'_3)_{нок}$ и $(D_3/h)_{нок}$. В случае $(D_3/D'_3)_{нок} \leq Y_2$, определяют ε , задавшись величиной R/D_0 . Когда $(D_3/D'_3)_{нок} > Y_2$, уменьшают величину R/D_0 и проверяют выполнимость варианта штамповки с кантовкой полуфабриката перед укладкой в ручей. Если задаться величиной $H/D_0 = 2,0$, то аппроксимированную базовую степень осадки можно вычислить как: $\varepsilon = 0,91 - 0,43 \cdot (h/D_0)$. При известных $(D_3/D'_3)_{нок}$ и ε , используя уравнение (4), уточняют R/D_0 . Проверяют возможность размещения полуфабриката в полости предварительного (или окончательного) ручья расчетом Y_1 по уравнению (3), находят размер $D_3 = D_0 \cdot Y_1$ и $D'_3 = D_3/Y_2$. Необходимо, чтобы выполнялось условие $D_{3,нок} > D_3$ и $D'_{3,нок} > D'_3$. Проводят аналогичные расчеты, сравнивая геометрические характеристики неравномерности деформации заготовок Y_3 , Y_4 и т. д. и относительные геометрические параметры предварительного штамповочного ручья или поковки.

Для снижения перекосов системы пресс-штамп и аннигиляции влияния зазоров в системе коленчатого вала, штамповый блок к ползуну пресса прикреплен согласно способу [14].

Величина осаживания штампуемого полуфабриката в ручьях должна быть не меньше 5–6 мм [3]. Тогда профилированный полуфабрикат для штамповки поковки «пластина неподвижная» формируют с размерами (согласно рис. 4): $h \geq (22 + 2 \cdot (5 \dots 6)) = 34$ мм, где 22 мм – толщина полотна поковки по чертежу (рис. 2), $h_1 \geq (51 + 2 \cdot (5 \dots 6)) = 63$ мм, где 51 мм –

минимальная высота по торцевым выпуклостям. Кроме того, необходимо выполнение условий $(D_3 - D_1)/2 \geq 44/2$ мм и $D_4 \geq 60$ мм. Соотношение продольного и поперечного размера поковки $(D_3/D_3')_{нок} = (240 - 44)/150 = 1,306$ свидетельствует о желательности штамповки с кантовкой после осадки со значениями влияющих факторов $H_0/D_0 \approx 2,0$, $R/D_0 = 0,5$ и $\varepsilon = 0,5$. Однако такая технологическая схема затрудняет получение вертикального отростка. В связи с этим штамповку поковки необходимо проводить без кантовки полуфабриката с увеличением расчетного диаметра исходной заготовки до экономически оправданных пределов.

Согласно расчетам по уравнению (4), наибольшая вытяжка $Y_2 \approx 1,144$ заготовки реализуется при $H_0/D_0 \approx 1,0$ и $R/D_0 \approx 0,5$. Тогда, используя (3), получим: $Y_1 \approx 1,309$. Расчеты и проведенная апробация позволили определить необходимые размеры заготовки $D_0 = 92$ мм и $H_0 = 97$ мм ($V_{заг} = 648400$ мм³, масса 5,09 кг) при $R = 50$ мм ($R/D_0 = 0,556$) и подтвердили необходимость сохранения черного и чистового штамповочных ручьев. Получаемый поперечный размер полуфабриката $D_3 = 1,309 \cdot 92 = 120,4$ мм. Размер вдоль оси осадочных плит $D_3' = 120,4/1,144 = 105,6$ мм. Таким образом, профилированный полуфабрикат хорошо центрируется в предварительном ручье. Эскизы технологических переходов усовершенствованной технологии штамповки поковки «пластина неподвижная» приведены на рис. 5.

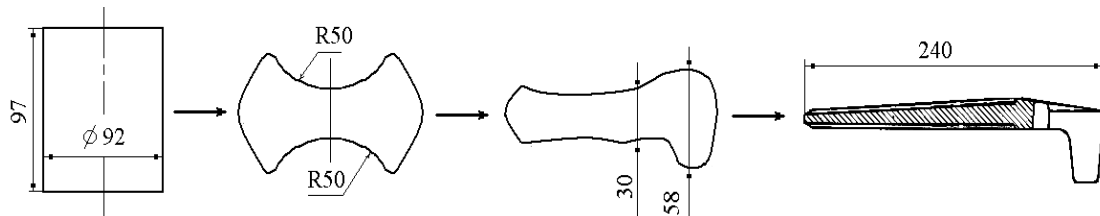


Рис. 5. Переходы штамповки поковки «пластина неподвижная»

При рассмотрении технологии штамповки поковки «пластина опорная», аналогично предыдущему случаю, для окончательного ручья обозначим: $h = 155$ мм, $h_1 = 225$ мм, $D_3 = 188$ мм, $D_3' = 23$ мм. Формирование профилированного полуфабриката перед предварительным ручьем определяется возможностями свободного формоизменения заготовки при осадке выпуклыми продолговатыми плитами, т. е. размеры могут колебаться в широких пределах. Например, размер $D_3' = (23 + A)$, где $A \geq (5 \dots 6)$ мм и т. д. Тогда для подготовительного ручья установим: $h = 145$ мм, $h_1 = 202$ мм, $D_3 = 155$ мм, $D_3' = 46$ мм. Здесь безразмерные соотношения: $(D_3/h)_{нок} = 1,11$; $(D_3/D_3')_{нок} = 3,26$. Реальное соотношение размеров D_3/D_3' профилированного полуфабриката, помещаемого в предварительный ручей, зависит от влияющих факторов. Руководствуясь соотношениями (3) и (4), определяли значения $\varepsilon = 0,38$, $H_0/D_0 = 2,0$ и $R/D_0 = 2,2$. Тогда реальное значение $D_3/D_3' = 1,051$. Для обеспечения центрирования профилированной заготовки после осадки в предварительном ручье, её размеры должны быть меньше размеров ручья. Из выражения (3) получаем безразмерный параметр $D_3/D_0 = 1,32$, соответственно $D_0 = 80$ мм, $R = 180$ мм. Тогда длина исходной заготовки $L_0 = 183$ мм ($V_{заг} = 921019$ мм³, масса 7,23 кг). Переходы штамповки по новой технологии приведены на рис. 6.

На рис. 5 и 6 эскизы поволоков на последних переходах показаны без облоя.

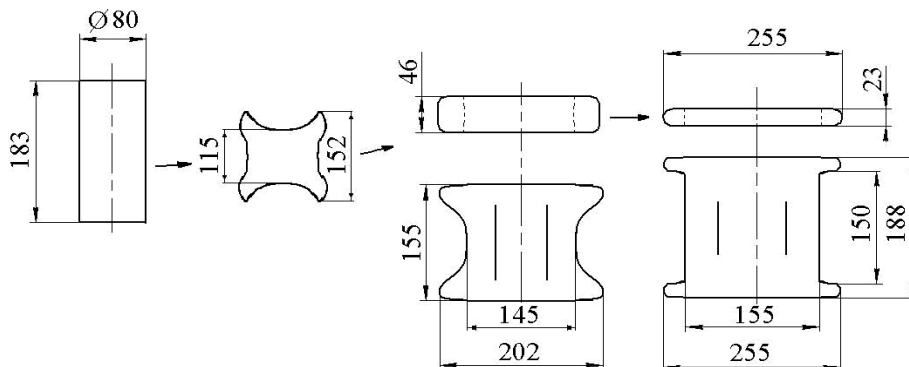


Рис. 6. Переходы штамповки поковки «пластина опорная»

ВЫВОДЫ

В результате усовершенствования технологий штамповки деталей поглощающих аппаратов в условиях ЗАО «Азовэлектросталь» достигнуты следующие технико-экономические показатели: для поковки «пластина неподвижная» снижена масса заготовки на 0,410 кг, т. е. на 7,45 % (или 11 % от массы поковки); для поковки «пластина опорная» снижена масса заготовки на 0,746 кг, т. е. на 10,3 % (или на 16 % от массы поковки). Для всех случаев обеспечено полное оформление полотна и отростков поволоков, исключена недоштамповка со снижением толщины облоя до нормируемой величины (4–4,5 мм). Отмечено повышение стойкости окончательных гравюр штампа на 14 %. Перспективным направлением исследований является определение ограничений рассматриваемого способа профилирования по возможностям формообразования отростков типовых поволоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульженко А. В. Освоение и внедрение процессов штамповки деталей поглощающего аппарата / А. В. Шульженко // Тезисы X научно-технической конференции молодых специалистов «Азовсталь–2008». – Мариуполь : Азовсталь, 2008. – С. 120.
2. Акаро И. Л. Классификация поволоков и технологических переходов горячей штамповки / И. Л. Акаро // Кузнечно-штамповочное производство. – 1980. – № 1. – С. 8–11.
3. Ковка и штамповка : справочник в 4 т. Т. 2. Горячая объемная штамповка / под ред. Е. И. Семенова. – М. : Машиностроение, 1986. – 592 с.
4. Иванюк А. В. Классификация поволоков, штампуемых на кривошипных горячештамповочных прессах / А. В. Иванюк // Вестник машиностроения. – 1988. – № 1. – С. 45–48.
5. Хмара С. М. Определение области рационального применения КГШП и ПШМ / С. М. Хмара, Н. Н. Марюта, В. А. Алев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – № 1. – С. 35–37.
6. Кондратенко В. Г. Классификация деталей, получаемых осадкой / В. Г. Кондратенко, В. Н. Гречищев // Вестник машиностроения. – 1988. – № 5. – С. 54–58.
7. Новые подходы к исследованию бочкообразования при осадке / В. В. Кухарь, О. А. Лаврентик, О. П. Павлова, В. Н. Возненко, А. В. Ефременко // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – С. 241–246.
8. Гринкевич В. А. Разработка концепции бесштампового профилирования заготовок на прессах с повышением точности формоизменения на окончательных операциях // В. А. Гринкевич, В. В. Кухарь, К. К. Диамантопуло // Вестник Национального технического университета «ХПИ» : сб. научн. тр. Тематический выпуск. Новые решения в современных технологиях. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2009. – № 32. – С. 26–32.
9. Иванушкин П. Ф. Рациональные методы ковки толстых пластин / П. Ф. Иванушкин, Н. Т. Костюченко // Обработка металлов давлением : сб. научн. тр. – Вып. XVIII. – М. : Металлургия, 1969. – С. 178–183.
10. Ковка слитков на прессах / Л. Н. Соколов, Н. М. Золотухин, В. Н. Ефимов и др.; под ред. Л. Н. Соколова. – К. : Техніка, 1984. – 127 с.
11. Пат. № 44484 Україна, МПК(2009) B21K 1/00, B21J 5/00. Спосіб штампування поволоков пластин / В. В. Кухар, В. А. Бурко, О. О. Лаврентік, А. В. Дубініна. – № u200902832; заявл. 26.03.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19. – 5 с. : іл.
12. Полухин П. И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов : справочник / П. И. Полухин, Г. Я. Гун, А. М. Галкин. – М. : Металлургия, 1983. – 352 с.
13. Новик Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. – М. : Машиностроение ; София : Техника, 1980. – 304 с.
14. Пат. № 45232 (Україна), МПК(2009), B30B. Спосіб кріплення верхньої плити штамп до повзуна преса / В. В. Кухар, О. Ю. Балалаєва, К. К. Диамантопуло, О. О. Тузенко, Д. М. Процько. – № u2009068825; заявл. 30.06.2009; опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20. – 4 с. : іл.

Кухарь В. В. – канд. техн. наук, доц. ПГТУ, докторант НМетАУ;

Бурко В. А. – ст. преп. ПГТУ;

Короткий С. А. – ст. преп. кафедры КИТ ДГМА;

Балалаева Е. Ю. – аспирант ПГТУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск;

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь;

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: kvv_mariupol@mail.ru