

4. Анищенко А.С. Состояние и перспективы внедрения изотермического деформирования и деформирования в режиме сверхпластичности / А.С. Анищенко, М.А. Цепин, Д.И. Чашников // Судостроительная промышленность. Серия : Металлургия и металловедение, 1987. — вып. 4. — С. 48-52.

**Bibliography:**

1. FSUE CRI SM «Prometey» [Electronic resource]. — (<http://www.cris-sm-prometey.ru>). (Rus.)
2. Ship's portal [Electronic resource]. — (<http://korabley.net>). (Rus.)
3. The Army and Navy of the Russian Federation [Electronic resource]. — (<http://armiya-i-flot.ru>). (Rus.)
4. Anishchenko A.S. Status and prospects of implementation of isothermal and superplastic deformation / A.S. Anishchenko, M.A. Tsepin, D.I. Chashnikov // Shipbuilding industry. Series: Metals and Metallography, 1987. — vol. 4. — P. 48-52.

Рецензент: С.С. Самоутугин,  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 07.11.2012

УДК 621.73

©Бурко В.А.\*

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ  
РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ШТАМПОВКИ ПОКОВОК  
ПРЯМОУГОЛЬНЫХ И КРУГЛЫХ В ПЛАНЕ**

*В статье рассмотрены особенности проектирования технологий штамповки поковок прямоугольных и круглых в плане и расчета переходов, выявлено различие подходов в определении важных технологических характеристик у многих авторов. Установлена необходимость привести имеющуюся и накопленную информацию в унифицированную систему понятий и определений.*

*Ключевые слова: штамповка, заготовка, ресурсосбережение, профилирование, пресс, облой, деформирующий инструмент.*

*Бурко В.А. Особливості проектування і реалізації ресурсозберігаючих технологій штампування поковок прямокутних та круглих в плані. У статті розглянуті особливості проектування технологій штампування поковок прямокутних і круглих в плані і розрахунку переходів, виявлена відмінність підходів у визначенні важливих технологічних характеристик у багатьох авторів. Встановлена необхідність привести існуючу і накопичену інформацію в уніфіковану систему понять і визначень.*

*Ключові слова: штампування, заготовка, ресурсозберігання, профілізація, прес, облой, деформуючий інструмент.*

*V.A. Burko. Features of planning and realization of economy technologies of stamping of purveyance rectangular and round in a plan. In the article the features of planning of technologies of stamping of purveyance are considered rectangular and round in a plan and calculation of transitions, distinction of approaches is exposed in determination of important technological descriptions for many authors. A necessity to drive present and accumulated information to the compatible system of concepts and determinations is set.*

*Keywords: stamping, purveyance, profiling, economy of resources, press, deforming instrument.*

\* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

**Постановка проблеми.** Методики расчета переходов штамповки и конструирования ручьев для круглых и плоских штампованных изделий имеют свои особенности, при этом количество традиционных способов придания исходной заготовке профилированной формы весьма ограничено. Реализация перспективных малозатратных методов приближения формы заготовки к конфигурации поковки связана с решением научно-технических задач, основанных на расширении области применения известных способов деформирования, разработки конструкций профилирующего инструмента, изучении закономерностей формоизменения заготовок в новых условиях.

**Анализ последних публикаций.** Множество факторов, влияющих на технологию горячей объемной штамповки, не позволяют полностью унифицировать процесс проектирования многопереходных процессов. По замечанию Г.П. Тетерина «проектирование предварительных ручьев, скорее, искусство, чем наука».

**Цель статьи** – проведение литературного обзора для выявления различия в подходах при определении важных технологических характеристик, при проектировании технологий штамповки поволоков прямоугольных и круглых в плане и расчета переходов, что не позволяет минимизировать расход металла.

**Изложение основного материала.** Штампованные поковки разделяют по признакам формы, положению линии разреза штампов, способам и количеству переходов штамповки, преобладающему виду деформации в окончательном ручье, исходному материалу (стали и цветные металлы), задействованному оборудованию и т.п., чему посвящено множество классификаций, разработанных различными авторами [1-6]. Причем в большинстве случаев поковки разделены на группы и подгруппы, среди которых значительное место занимают изделия типа тел вращения, в том числе с наличием утолщений в виде фланцев и буртов, и поковки типа пластин, характеризующиеся относительно вытянутой конфигурацией, тонким полотном, а иногда и наличием отростков. Такая формализация позволяет назначать технологические группы поволоков для укрупненных расчетов технико-экономических показателей в цехах и определять загрузку оборудования [7], а также применять принципы автоматизированного проектирования технологических процессов [8].

Процессы открытой объемной штамповки рассматривают как протекающие в несколько условных стадий [2, 19, 24, 30]. К ним относят стадию открытой деформации (свободную осадку, выдавливание, открытую прошивку или сочетание этих операций) в зависимости от конфигурации поковки, стадию заполнения большей части ручья металлом (при осадке за счет выпучивания боковой части заготовки), стадию окончательного заполнения углов с вытеснение лишнего металла в облой (заусенец) или компенсаторы. В свою очередь, каждая стадия может складываться из нескольких фаз. Формоизменение определяется установлением формы и размеров деформируемой заготовки в различных стадиях и фазах процесса штамповки.

При изготовлении поволоков типа тел вращения (например, гладких дисков) для установления формы и высоты  $h$  заготовки в конце первой стадии открытого осаживания находят так называемый коэффициент бочкообразности  $\lambda'$  и стрелку  $C$  бочки выпученной боковой поверхности, для чего используют методики в виде громоздких расчетных формул или графических зависимостей, приведенных, например, в источниках [2, 27]. Тогда искомую конечную высоту заготовки определяют по формуле [19]:

$$h = \frac{D_0^2(1 - \lambda')}{(D_n - 2C)^2} H_0, \quad (1)$$

где  $D_0$  и  $H_0$  – начальные диаметр и высота заготовки;  
 $h$  и  $D_n$  – конечные высота и диаметр штампуемой поковки.

В источнике [19] приведено рассмотрение особенностей закрытой объемной штамповки поволоков типа дисков с центральным сплошным выступом, дисков с односторонним кольцевым выступом, дисков со ступицей, комбинированной формы с односторонними выступами, комбинированной формы с двухсторонними выступами. Однако данные технологии состоят из однопереходной штамповки в торец из цилиндрической заготовки без образования облоя.

При открытой штамповке с момента соприкосновения со стенками штампа металла он выдавливается в полости ручья и облойную канавку. В конечный момент штамповки облойная канавка имеет минимальный раствор, соответствующий толщине заусенца  $h_3$ . При этом многие

авторы указывают приблизительно одинаковый диапазон отношений высоты очага деформации  $h_{оч}$  к толщине заусенца  $h_3$ . По Е.И. Семенову [4] -  $h_{оч}/h_3 \approx 2,0$ ; по М.В. Сторожеву [19] -  $h_{оч}/h_3 = 2-5$ ; по А.В. Ребельскому [17] -  $h_{оч}/h_3 = 2,5 - 3,0$ , причем последний автор рекомендует в расчетах принимать среднее значение  $h_{оч}/h_3 \approx e = 2,72$ , что оказывает незначительное влияние на расчеты формоизменения и усилия при штамповке.

Различие подходов в определении напряженно-деформированного состояния, давления на заусенечной канавке и расчетах усилий открытой штамповки поковок круглых в плане и удлиненной формы показано в источнике [21, 22]. Здесь, при рассмотрении поведения металла в районе мостика заусенечной канавки, отмечено, что преимущественным видом деформации является осадка с максимальными значениями касательных напряжений на контактной поверхности. При этом во время штамповки поковок прямоугольной формы металл, находящийся в магазине, не препятствует течению металла в зоне мостика, а удельное усилие  $p_3$  деформации заусенца рассчитывают по формуле [21, 22]:

$$p_3 = \sigma_s^* \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{b}{h_3} \right), \quad (2)$$

где  $\sigma_s^* = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s$ , здесь  $\sigma_s$  – сопротивление деформированию материала при рассматри-

ваемых условиях;

$b$  – ширина заусенечной (облойной) канавки.

Для поковок в виде тел вращения участок заусенца, деформируемый мостиком, окружен кольцом металла, находящегося в магазине, что влияет на энергосиловые параметры штамповки, т.к. кольцо затрудняет вытекание металла из зоны мостика. Удельное усилие  $p_3$  деформации заусенца в данном случае определяют по формуле [21, 22]:

$$p_3 = \sigma_s \left( 1,5 + \frac{b}{2h_3} \cdot \frac{D_n + \frac{2}{3}s}{D_n + s} \right) \approx \sigma_s \left( 1,5 + \frac{1}{2} \cdot \frac{b}{h_3} \right). \quad (3)$$

Аналогичные расхождения по определению удельного усилия течения металла в штампе, что связано с малым объемом металла, задействованного в пластической деформации в конце второй стадии штамповки [21, 22]. При этом процесс истечения металла в заусенец рассматривается аналогичным процессу выдавливания. Соответственно, объем поковки в последний момент штамповки разделяют на три зоны [2, 11, 19]. Первая зона концентрированного неоднородного напряженного состояния находится вблизи выхода металла в облойный мостик. Вторая зона занимает центральную часть поковки и по внешнему виду имеет линзообразную форму. Третья зона представляет оболочку, в которую заключена линзообразная зона напряженного состояния. В данной зоне пластическая деформация отсутствует и имеет место однородное напряженное состояние (гидростатическое давление).

При определении удельного усилия штамповки поковок удлиненной формы, имеющих в плоскости разреза форму прямоугольника, деформацию считают плоской. С учетом некоторых допущений записывают:

$$p = \sigma_s^* \left[ 1 + \frac{b}{h_3} + \left( 0,25 - 0,078 \ln \frac{h_{оч}}{h_3} \right) \frac{a}{h_3} \right] \approx \sigma_s^* \left( 1 + \frac{b}{h_3} + 0,15 \frac{a}{h_3} \right), \quad (4)$$

где  $a$  – ширина поковки.

При определении удельного усилия течения металла в штампе при штамповке поковок типа тел вращения принимают функциональную однородность распределения напряжений в радиальном направлении, зависящую от угла наклона линзообразной части объема металла. С учетом принимаемых допущений записывают [21, 22]:

$$p_n = \sigma_s \left[ 1,5 + \frac{b}{h_3} + \left( 0,167 - 0,044 \ln \frac{h_0}{h_3} \right) \frac{D_n}{h_3} \right] \approx \sigma_s \left( 1,5 + \frac{b}{h_3} + 0,1 \frac{D_n}{h_3} \right). \quad (5)$$

В работе [19] также приведены номограммы и расчетные формулы для определения усилия штамповки поковок круглых и квадратных в плане. Для реализации процессов штамповки на основе выдавливания целесообразным становится производство заготовок требуемых габаритных размеров [9, 12].

Вышеприведенный анализ относится к процессам одноручьевого штамповки. Множество факторов, влияющих на технологию горячей объемной штамповки, все же не позволяют полностью формализовать процесс проектирования многопереходных процессов. По замечанию Г.П. Тетерина «проектирование предварительных ручьев, скорее, искусство, чем наука» [24, 25]. В последнее время, на основе анализа реальных и внедренных технологических процессов, предприняты попытки привести имеющуюся и накопленную информацию в систему понятий, определений и положений, базирующихся на сущности многопереходных процессов [11, 12]. Решение задач оптимизации затрачиваемых в условиях штамповочного цеха ресурсов, производственных мощностей, электроэнергии, материалов и т.д. возможно с использованием прикладных алгоритмов с искомыми целевыми функциями [12]. Однако минимизация потерь металла здесь связана с увеличением количества переходов, а перерасход штамповой стали влечет за собой новое увеличение затрат в инструмент.

Широкое распространение получают методики проектирования технологических процессов горячей объемной штамповки при помощи электронно-вычислительных машин и специализированных компьютерных пакетов, чаще всего основанных на методах конечно-элементного моделирования [12-15]. При этом проектирование предварительных ручьев ведется по устаревшим методикам, обоснованным в середине прошлого столетия, а доведение до окончательных конструктивных размеров гравюр производят после тщательной апробации составленной математической модели с определением прогнозов по характеру течения металла, исключению дефектообразования и, как правило, после опытной штамповки. Назначение размеров на предварительные ручьи ведут, увеличивая в 2-3 раза радиусы закругления, рассчитанные для чистового ручья, и увеличивая высоту поковки на 5-6 см для обеспечения преимущественной деформации осадки на окончательном переходе [2, 21]. Показатели качества (в основном геометрические) могут быть улучшены путем совмещения моделирования технологических процессов в конечно-элементных пакетах и методов планирования эксперимента с решением задач оптимизации [15, 17], что нередко влечет за собой корректировку формы не только предварительного, но и окончательного ручьев.

Многие работы [30, 31] отражают результаты исследований в области многопереходной штамповки поковок типа тел вращения с установлением максимального влияния на формоизменение глубины прошиваемой части в ступице и угла наклона обода. Приближение формы заготовок к конфигурации поковок круглых в плане с развитым фланцем (деталь – «фланец раздаточной коробки автомобиля КамАЗ») при помощи доработки промежуточного перехода с использованием осадки в фигурных вставках позволило исключить штамповочные уклоны по наружным поверхностям с увеличением коэффициента использования металла с 0,42-0,48 до 0,51-0,58. Облой в большинстве случаев служит только для компенсации колебаний объема исходной заготовки и не является технологически необходимым для заполнения штампа.

В работах [30, 32] приведены результаты оптимизации калибровок и конструкций предварительных ручьев при штамповке и штампо-прокатке колес малого и большого диаметров. Причем установлено, что во многих случаях появление брака на производственных линиях связано с ошибками проектирования калибровок и предварительных ручьев из-за невозможности проведения огромного количества замеров. Формирование полуфабриката при производстве колес из слитков производят способами осадки с дальнейшей разгонкой, штамповкой, прокаткой, калибровкой, а отслеживание этапов формоизменения рекомендуется выполнять при помощи компьютерных программ по разработке калибровок и конечно-элементных пакетов.

Штамповку удлиненных поковок (прямоугольных и др.) можно вести в торец и плашмя в зависимости от конфигурации. К данным изделиям относят поковки лопаток (в том числе турбинных лопаток), суппортов, кронштейнов, различных пластин, клиньев и т.п.

Прикладыванием деформирующего усилия к торцу заготовки, находящейся в матрице, производят выдавливание удлиненных поковок весьма сложной конфигурации, в том числе из труднодеформируемых материалов [20-25]. Однако данные процессы весьма энергоемки и требуют применения кинематически сложного штампового инструмента для исключения вытека-

ния металла в зазор между полуматрицами. Кроме того, процессы выдавливания требуют освоения дорогостоящих износостойких инструментальных марок стали, в связи с неблагоприятными условиями работы деформирующего инструмента.

Поковки с тонким полотном, штампуемые плашмя по одной штуке, составляют около 13 % производства Волжского автомобильного завода, причем учет многоступенчатых вариантов штамповки без учета вальцуемых заготовок увеличивает составляющую таких поковок до 31 % [31, 33]. Большинство технологических процессов осуществляется в несколько переходов, причем объем предварительных ручьев установлен приблизительно на 15 % большим объема чистовых ручьев. Следует отметить необходимость соблюдения вытяжки полуфабриката в технологиях многоступенчатой штамповки для полного заполнения гравюр.

Для повышения коэффициента использования металла в 3-7 раз при массовом производстве турбинных лопаток применяют метод получения профилированной штанги, которую разрезают на мерные фасонные заготовки [33]. Профилированную штангу производят горячим гидропрессованием, при этом достигают равномерной мелкозернистой структуры металла, сокращения количества переходов штамповки и уменьшения припусков на механическую обработку.

Наибольшее распространение получил способ штамповки турбинных и компрессорных лопаток [31-33], а также поковок сельскохозяйственного машиностроения [22] с профилированием исходной заготовки в ковочных вальцах. Основной задачей такой профилирующей операции является получение удлиненных заготовок с требуемым перераспределением металла. Однако необходимость обслуживать ковочные вальцы и дополнительные штамповые комплекты, а также занимать дополнительные производственные площади, оправдывается только при массовом производстве поковок, под которые требуется проводить существенную вытяжку заготовок (с коэффициентом вытяжки более 1,3-1,5).

Для штамповки поковок из цветных металлов и сплавов также применяют предварительное профилирование заготовок, которое может быть осуществлено вальцовкой, ковкой фасонной заготовки и профилированием в предварительных ручьях [24, 31]. Чертежи поковок, штампуемых из цветных металлов и сплавов, зачастую составляют, используя ГОСТ 7505 - 89 «Поковки стальные штампованные», что чревато нетехнологичными решениями. Наиболее целесообразным является использование рекомендаций для назначения припусков и допусков, изложенных в справочной литературе [17], причем при конструировании штампованных поковок из алюминиевых сплавов руководствуются ОСТ 1.41187-78, ОСТ 1.41188-78 и ОСТ 1.92082-80 [17]. При оформлении толщины полотна поковки, штампуемой из материалов на основе цветных металлов, значимыми оказываются их физические и технологические свойства, отношение ширины полотна к толщине, площадь полотна и отношение его длины к ширине. В практике горячей штамповки почти не встречаются поковки, состоящие из полотна одинаковой конфигурации или профиля открытого или закрытого сечения.

На формирование качества медных полос и пластин существенное влияние оказывают температурные условия деформирования с достижением максимума динамического упрочнения при температуре 500 °С и его отсутствием при 700 °С [34]. Следует отметить, что для процессов штамповки материалов на основе меди наиболее употребляемой является предварительная ковка профилированных заготовок, используемая для случаев, позволяющих приблизить форму заготовки к форме поковки в большей степени, чем фасонирование в подготовительных ручьях прессы [31]. При производстве алюминиевых поковок распространенными являются как подготовка в предварительных ручьях, так и вальцовка заготовок [33].

### **Выводы**

Проведенный обзор показал, что для повышения эффективности производства поковок круглых в плане с буртами и фланцами требуют разработки технологические предложения по усилению эффекта неравномерности деформации с прогнозированием формоизменения заготовки. Согласно проведенному анализу, при производстве поковок пластин вытянутой формы наиболее целесообразной остается подготовка профилированных заготовок в ручьях основного прессового оборудования, использование которого при прочих равных условиях предпочтительнее ковочных вальцов, что требует проведения поиска в данном направлении.

**Список использованных источников:**

1. Ипатов М. И. Рентабельность машиностроительной продукции при изменении объёма продаж / М. И. Ипатов // Вестник машиностроения. – 1993. – № 2. – С. 59–61.
2. Охрименко Я. М. Технология кузнечно–штамповочного производства / Я. М. Охрименко. – М.: Машиностроение, 1966. – 599 с.
3. Акаро И. Л. Классификация поковок и технологических переходов горячей штамповки / И. Л. Акаро // Кузнечно–штамповочное пр–во. – 1980. – № 1. – С. 8–11.
4. Ковка и штамповка: справочник: в 4 т. Т. 2. Горячая объёмная штамповка / под ред. Е.И. Семенова. – М.: Машиностроение, 1986. – 592 с.
5. Иванюк А. В. Классификация поковок, штампуемых на кривошипных горячештамповочных прессах / А. В. Иванюк // Вестник машиностроения. – 1988. – № 1. – С. 45–48.
6. Кондратенко В. Г. Классификация деталей, получаемых осадкой / В. Г. Кондратенко, В. Н. Гречищев // Вестник машиностроения. – 1988. – № 5. – С. 54–58.
7. Бойцов Б. В. Повышение качества в кузнечно–штамповочном производстве / Б. В. Бойцов // Кузнечно–штамповочное пр–во. – 2000. – № 7. – С. 6–9.
8. Возможность повышения качества поковок ответственного назначения / В. А. Тюрин [и др.] // Кузнечно–штамповочное пр–во. – 1993. – № 12. – С. 2–4.
9. Эдуардов М. С. Штамповка в закрытых штампах / М. С. Эдуардов. – Л.: Машиностроение, 1971. – 240 с.
10. Журавлёв А. З. Основы теории штамповки в закрытых штампах / А. З. Журавлёв. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.
11. Гликин Н. М. Технология горячей обработки металлов / Н. М. Гликин, М. Н. Сосенко. – М.: Машгиз, 1961. – 280 с.
12. Безручко И. И. Обработка металлов давлением / И. И. Безручко, М.Е. Зубцов, Л.Н. Балакина. – Л.: Машиностроение, 1967. – 311 с.
13. Мылко С. Н. Штамповка роликов трактора С–80 из литых заготовок / С. Н. Мылко, Ф. Ф. Рубашин. – М.: Машгиз, 1954. – 104 с.
14. Ширяев А. Ф. Опыт работы кузнечного цеха / А. Ф. Ширяев. – М.: Машгиз, 1953. – 127 с.
15. AutoForge combined casting and forging process // Metal Forming. – 1969. – № 7 (July). – P.196–198.
16. Быков П. А. Жидкая штамповка металлов при изготовлении инструмента для опытного и мелкосерийного производства / П. А. Быков // Кузнечно–штамповочное пр–во. – 1971. – № 4. – С. 41–42.
17. Семенов Е. И. Ковка и объёмная штамповка / Е. И. Семенов. – М.: Высшая школа, 1972. – 352 с.
18. Шапошников Д. Е. Изготовление поковок на горячештамповочных прессах / Д. Е. Шапошников. – М.: Машгиз, 1962. – 179 с.
19. Охрименко Я. М. Основы технологии горячей штамповки / Я. М. Охрименко. – М.: Машгиз, 1957. – 328 с.
20. Станы для прокатки равнопрочных профилей переменного сечения / А. И. Целиков [и др.]. – М.: Машгиз, 1949. – 39 с.
21. Шор Э. Р. Новые процессы прокатки / Э. Р. Шор. – М.: Металлургиздат, 1960. – 385 с.
22. Добровлянский С. Н. Исследование процесса профилирования заготовок под штамповку вальцовкой в валках с калибрами постоянного сечения : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Добровлянский Сергей Николаевич. – Киев, 1980. – 173 с.
23. Атрошенко А. П. Технология горячей вальцовки / А. П. Атрошенко. – Л.: Машиностроение, 1964. – 210 с.
24. Смирнов В. К. Вальцовка заготовок под штамповку / В. К. Смирнов. – М.: Машиностроение, 1964. – 214 с.
25. Омельченко П. П. Исследование удельных давлений и крутящего момента при прокатке полос в гладких валках с переменным обжатием: дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Омельченко Петр Платонович. – Киев, 1966. – 192 с.
26. Стан для прокатки профилей переменного сечения: а.с. 821010 СССР, МКИ В 21 Н 8/00 / А.А. Низков [и др.]. – № 2726024/25–27; заявл. 20.02.79; опубл. 15.04.81, Бюл. № 14. – 4с. : ил.



