

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Совершенствование и развитие машиностроительного комплекса на базе научно-технического прогресса является актуальной народно-хозяйственной задачей. Особое внимание при её решении должно быть уделено созданию и освоению технологических процессов, позволяющих существенно повысить производительность труда, качество выпускаемой продукции и экономию энергоресурсов.

При этом важную роль играет дальнейшее развитие и совершенствование процессов обработки металлов давлением, связанное с разработкой и изучением новых областей и возможностей формоизменения металла пластическим деформированием.

Стремление исследователей к максимальному снижению расхода материала, повышению производительности труда и качества изделий привело к появлению новых методов формообразования, к которым можно отнести процессы штамповки газообразными, эластичными и жидкими средами. Значительный вклад в их развитие внесли отечественные учёные: Б. Н. Береснев, К. Н. Богоявленский, Н. И. Безухов, Л. Ф. Верещагин, А. А. Галкин, Е. И. Исаченков, А. А. Ильюшин, В. И. Казачёнок, В. Л. Колмогоров, А. И. Колпашников, А. А. Костава, А. Д. Комаров, В. П. Лукьянов, В. М. Розенцвайг, Ю. Н. Рябинин, Е. И. Серяков, Е. И. Сизов, В. А. Ходырев, В. П. Шатеев и другие, а также ряд зарубежных учёных: Д. М. Александер, Н. Масанобу, Ф. Фукс, С. Фучизава, Т. Огура, Г. Уеда, Х. Такаяма и другие.

Технологические возможности формообразования заготовки с участием газообразной, жидкой или эластичной среды значительно повышаются при использовании в качестве исходных заготовок мерных труб различного поперечного сечения.

Технологические процессы производства труб повышают однородность структуры металла стенок, исключают образование в стенке трубы пор и иных дефектов изготавливаемых изделий. Кроме того, использование трубных заготовок в подавляющих случаях обеспечивает необходимые характеристики механических свойств, требования к макро- и микроструктуре, усталостной прочности, минимальной металлоёмкости и жёсткости кольцевых сечений. При этом не только возрастает коэффициент использования металла, но и удаётся повысить качество и точность изделий и обеспечить высокую производительность труда при формоизменении заготовки.

Использование в качестве деформирующих элементов эластичных, жидкостных или газообразных сред позволяет обеспечить как универсальность инструмента, так и равномерность передачи деформирующей нагрузки на штампуемую заготовку. Это позволяет увеличить допустимую степень деформации штампуемого материала (при этом сокращается количество штамповочных операций), деформировать малопластичные металлы и сплавы в холодном состоянии.

В последние десятилетия наряду с развитием традиционных процессов формоизменения трубных заготовок (обжим, раздача, гибка, выворот, развальцовка и др.) получили интенсивное развитие процессы гидропластической штамповки трубных заготовок (гидроштамповки) как в изделия с изогнутыми и пересекающимися осями, так и в изделия с прямолинейной осью, но различной формой поперечных сечений.

Цель данной книги – познакомить читателя с основными особенностями процесса гидроштамповки, его технологическими возможностями и некоторыми результатами исследований, выполненных автором при привлечении этого процесса к изготовлению крутоизогнутых изделий и изделий со ступенчатыми и пересекающимися осями из трубных и трубчатых заготовок.

Автор признателен сотрудникам ПАО «ОДК – Сатурн» (г. Рыбинск), участвующим в подготовке и проведении экспериментальных исследований, изложенных в учебном пособии, а также рецензентам и сотрудникам Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П. А. Соловьева, ценные замечания которых способствовали улучшению книги.

## ПРИНЯТАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ

**Трубная заготовка** – отрезок трубы, имеющий в сечении, перпендикулярном его оси, круговое кольцо.

**Трубчатая заготовка** – отрезок трубы, имеющий в сечении, перпендикулярном его оси, сечение, отличающееся от кругового кольца. (В общем случае сечение имеет переменную толщину стенки.)

**Плоскость деформирования** – плоскость, проходящая через первоначальную и деформированную ось заготовки.

**Крутоизогнутое изделие** – изделие, имеющее изогнутую ось с радиусом вогнутой поверхности колена менее половины наружного параметра заготовки, расположенного в плоскости деформирования.

**Ступенчатое изделие** – изделие, имеющее изогнутую ось с радиусом вогнутой поверхности колена, близким к нолю.

**Г-процесс** – технологический процесс изготовления Г-образного полуфабриката (или изделия) из трубной, трубчатой, прутковой или листовой заготовки преимущественно путём деформации сдвига срединной зоны или концевых зон заготовки относительно её первоначально прямолинейной оси.

**Z-процесс** – технологический процесс изготовления Z-образного полуфабриката (или изделия) из трубной, трубчатой, прутковой или листовой заготовки преимущественно путём деформации сдвига одной части заготовки относительно другой.

**Эксцентриситет изделия** – смещение срединной или концевых зон заготовки относительно её первоначальной оси.

**Прходное сечение** – технический жаргон, обозначающий площадь сечения полости трубной заготовки или изделия (иногда ассоциируемый с диаметром отверстия), через которую проходит транспортируемый продукт.

**Равнопроходное изделие** – изделие, имеющее равные площади проходных сечений вдоль оси (осей) изделия.

**Разнопроходное изделие** – изделие, имеющее неравные площади проходных сечений вдоль оси (осей) изделия.

## КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ФИТИНГАХ

Разработка и изготовление различных трубопроводных систем включает в себя широкое применение фитингов (англ. fitting, от fit – прилаживать, монтировать, собирать) – соединительных частей трубопроводов, устанавливаемых в местах их разветвлений, поворотов, переходов с одного на другой диаметр труб, а также при необходимости частой сборки и разборки труб. Фитинги служат и для герметичного перекрытия трубопровода и прочих вспомогательных целей. Значительную часть фитингов составляют полые детали с отводами (тройники, крестовины), имеющие пересекающиеся оси, а также различные угольники, имеющие оси изогнутой или ступенчатой формы (рис. 1).

Фитинги, соединяющие концы труб одинакового диаметра, называют прямыми, фитинги, скрепляющие концы труб разного диаметра – переходными.

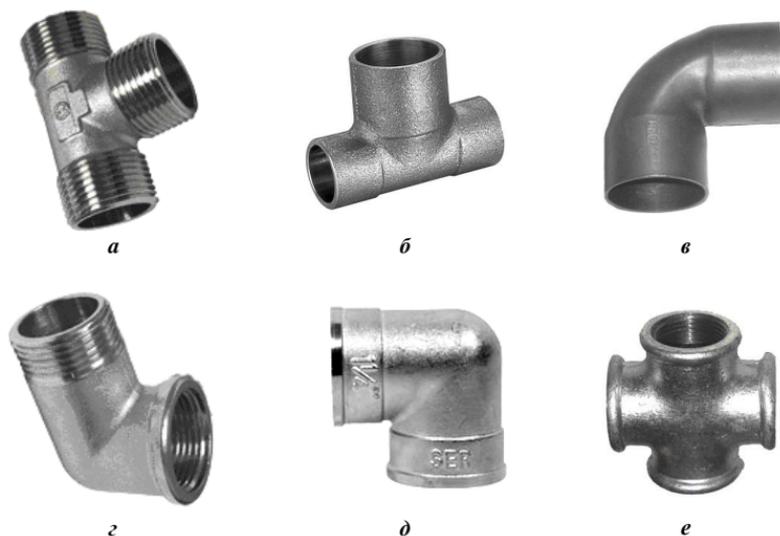


Рис. 1

Виды фитингов: *a, б* – тройники; *в, з, д* – угольники; *е* – крестовина

Важной характеристикой фитингов является так называемый условный проход, обозначаемый до 1989 года как Ду, а в настоящее время – как DN (ГОСТ 28338-89). Например, условный проход (номинальный размер) 100 обозначается в настоящее время как DN 100, а в старых обозначениях – Ду 100.

Под условным проходом (номинальным размером) понимают параметр, применяемый для трубопроводных систем в качестве характеристики присоединяемых частей, например соединений трубопроводов, фитингов и арматуры.

Условный проход (номинальный размер) не имеет единицы измерения и ориентировочно равен внутреннему диаметру присоединяемого трубопровода, выраженному в миллиметрах. При этом значения условных проходов должны соответствовать числам параметрического ряда, устанавливаемого ГОСТ 28338-89 (всего 50 показателей от 2,5 до 4000).

Конструктивные особенности, например, таких фитингов, как тройники, крестовины, угольники, в значительной степени зависят от метода соединения фитинга с трубопроводом (резьбовое соединение, сваркой в стык или внахлест, фланцевые соединения, пайкой и т. п.), а также материалом, из которого они изготавливаются (например, от выбранного материала зависит толщина стенки фитинга).

Метод соединения фитинга с трубопроводом влияет также на длину его присоединительных элементов. Наиболее распространены тройники с условным проходом до DN 100, имеющие высоту отвода (0,2...0,8) диаметра основной трубы. При соединении тройника с трубопроводом пайкой (для неразъемных трубопроводов) высота отвода увеличивается и может достигать величины 1,2 диаметра трубной части.

Конструктивные особенности фитингов, диктуемые условиями их эксплуатации, и технология их изготовления неразрывно связаны друг с другом. Эта связь может проявляться по-разному. Чаще всего конструкцию фитинга определяют эксплуатационные требования. Однако в ряде случаев существующие технологические процессы не всегда могут обеспечить конструктивно-эксплуатационные требования. Это вызывает необходимость разработки новых технологических процессов их производства.

Важной служебной характеристикой фитингов являются их гидравлические характеристики, в частности гидравлическое сопротивление

ление. Оно существенно зависит от плавности сопряжения полости основной трубы фитинга с полостями отводов, а также от качества обработки его внутренней поверхности, контактирующей с продуктом, транспортируемым через трубопровод.

Получение плавных сопряжений внутренних поверхностей фитингов традиционными технологиями весьма затруднено и не обеспечивается, например, такими распространёнными способами изготовления, как объёмная штамповка с последующей механической обработкой внутренних поверхностей, сварка из отрезков труб и т. п. Гидравлическое сопротивление фитингов, изготовленных этими способами, сравнительно велико и приводит к необходимости изменения технологии их изготовления, в частности к применению способов гидравлической штамповки трубных заготовок.

Способы гидравлической штамповки получили интенсивное развитие в промышленности различных стран, обеспечивая при изготовлении фитингов минимальное гидравлическое сопротивление движущемуся продукту (за счёт обеспечения плавного сопряжения внутренних поверхностей в процессе гидроштамповки трубной заготовки и сохранения исходного качества внутренней поверхности используемых труб), высокую надёжность в эксплуатации (за счёт отсутствия сварных швов, а также отсутствия рыхлот, пор и иных дефектов структуры металла в применяемых трубных заготовках), высокую экономичность производства (за счёт высокого коэффициента использования материала трубной заготовки, высокой производительности производства, исключения контроля на герметичность деталей, который осуществляется в процессе гидроштамповки трубной заготовки, применения материалов с пониженными механическими свойствами, которые улучшаются в результате гидравлической штамповки трубной заготовки и т. д.). При этом следует отметить также высокую экологичность производства, характеризующую отсутствием вредных выбросов в окружающую атмосферу.

При этом, как и большинство технологических процессов, способы гидравлической штамповки трубных заготовок имеют свою технологическую нишу применения, верхняя граница которой ограничивается мощностью, технологическими возможностями, программой выпуска деталей и затратами на создание и эксплуатацию используемого оборудования.

## Глава 1

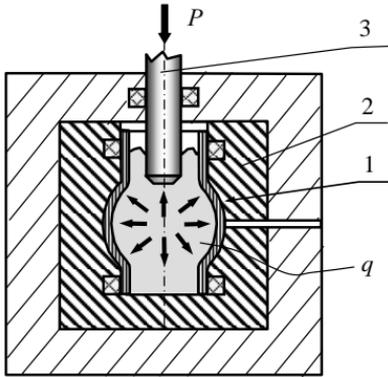
# ГИДРОШТАМПОВКА. ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Термин «гидравлическая штамповка» традиционно обозначает технологический процесс деформирования трубной или трубчатой заготовки с помощью высокого гидростатического давления, воздействующего на её внутреннюю поверхность. В научно-технической литературе и практике также применяются термины «гидроштамповка», «гидроформовка», «гидравлическая формовка», «гидропластическая обработка», «гидромеханическая штамповка».

*Далее, для краткости, используется термин «гидроштамповка».*

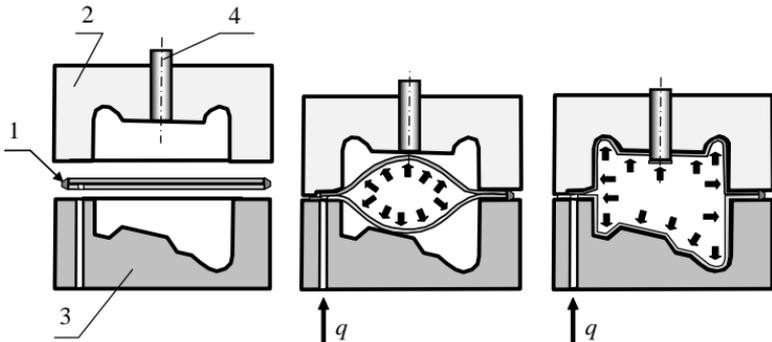
При этом следует отметить, что в процессах гидроштамповки в качестве исходных заготовок могут быть использованы не только трубные или трубчатые заготовки, но и листовые заготовки. Характер приложения давления жидкости к заготовке может быть не только гидростатическим, а носить иной характер (динамический, пульсирующий и т. п.). Давление жидкости может быть приложено не только к внутренней поверхности полой заготовки, но и (или) к наружной. В общем случае процесс гидроштамповки не обязательно может быть реализован как процесс холодного пластического формоизменения заготовки. В связи с этим под гидроштамповкой, очевидно, следует понимать технологический процесс пластического деформирования заготовки с использованием давления текучей среды (жидкости).

Процессы гидроштамповки, исследуемые или применяемые в промышленности, разнообразны. Общим признаком в них является использование жидкости, находящейся под высоким давлением и активно участвующей в формоизменении заготовки. Например, на рис. 1.1 приведена схема задачи трубной заготовки давлением наполнителя  $q$ , которое создают, перемещая плунжер 3 по стрелке  $P$ .



**Рис. 1.1**  
 Схема раздачи трубной заготовки  
 давлением рабочей среды  $q$ :  
 1 – заготовка; 2 – матрица;  
 3 – плунжер

Гидростатическое давление жидкости является главным, но не единственным силовым параметром для большинства процессов гидроштамповки. Во многих случаях в процессах формоизменения заготовок активно участвуют жёсткие элементы технологической оснастки или оборудования. На рис. 1.2 приведена технологическая последовательность изготовления гидроштамповкой полый оболочки из двух сваренных по торцам листовых заготовок.



**Рис. 1.2**

Технологическая последовательность гидроштамповки двух сваренных по торцам листов с последующей пробивкой отверстия:

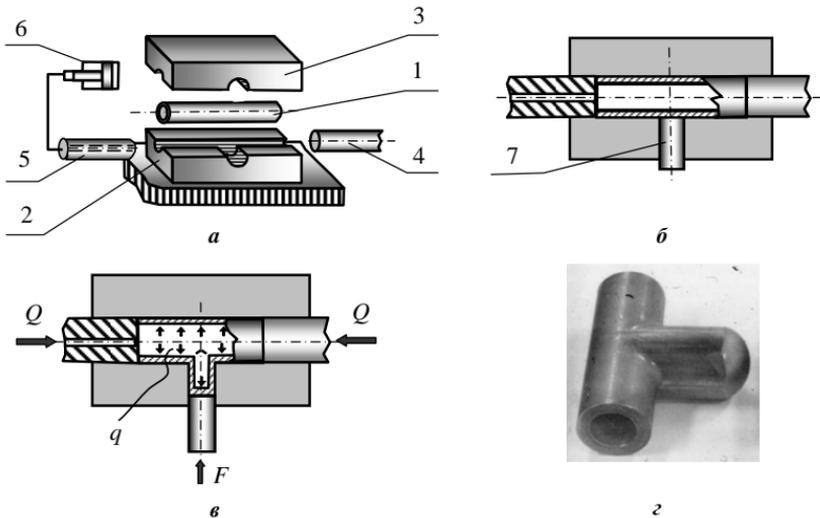
**а** – исходное положение; **б** – промежуточная стадия гидроштамповки;

**в** – завершающая стадия гидроштамповки и пробивки отверстия:

1 – листовые заготовки; 2, 3 – полуматрицы; 4 – пуансон [29]

При этом формоизменение заготовки в изделие осуществляют, создавая давление  $q$  между листовыми заготовками, а геометрические характеристики изделия обеспечивают соответствующей формой внутренней полости жёсткой матрицы. (Процесс является совместной разработкой фирм Diamler Benz, Diamler Chrysler, Krupp Hoesch Automotive, Tussen Krupp Stahl и Audi (Германия) [29], эффективен при изготовлении топливных баков и иных деталей, традиционно изготавливаемых сваркой из отдельных формованных элементов.)

На рис. 1.3 приведена технологическая последовательность гидроштамповки трубной заготовки в изделие с пересекающимися осями – тройник.



**Рис. 1.3**

Технологическая последовательность гидроштамповки тройника из трубной заготовки: *а* – исходное положение; *б* – герметизация полости заготовки; *в* – процесс гидроштамповки; *г* – тройник: 1 – заготовка; 2 и 3 – нижняя и верхняя полуматрицы; 4, 5 – осевые пуансоны; 6 – источник высокого давления; 7 – пуансон противодействия

Сущность процесса заключается в следующем. Мерную трубную заготовку 1 (рис. 1.3, *а*) устанавливают в полуканал, выполненный в неподвижной полуматрице 2. Затем подвижную полуматрицу 3 опускают вниз до обеспечения силового контакта с полуматрицей 2.

В сомкнутом положении полуматрицы 2 и 3 образуют матрицу с двумя каналами, в одном из которых находится трубная заготовка 1, а второй канал, ось которого перпендикулярна оси трубной заготовки (радиальный канал), служит для формирования будущего отростка на трубной заготовке. Для предотвращения разрыва материала в вершине будущего отростка и повышения пластичности материала трубной заготовки в указанный канал вводят пуансон противодавления 7 (рис. 1.3, б). Далее к торцам трубной заготовки подводят осевые пуансоны 4 и 5, которые герметизируют полость заготовки 1. На следующем этапе в полости заготовки создают высокое гидростатическое давление наполнителя  $q$ . В качестве наполнителя часто используют жидкость, например машинное масло. При создании давления  $q$  из полости заготовки удаляют воздух, замещая его рабочей жидкостью, нагнетаемой через осевой канал, выполненный, например, в пуансоне 5 и гидравлически связанный с источником высокого давления, например мультипликатором 6. Создав требуемое давление  $q$ , осевыми пуансонами 4 и 5 сообщают встречное синхронное перемещение. Под действием сил  $Q$  (рис. 1.3, в), накладываемых на заготовку осевыми пуансонами и давлением наполнителя  $q$ , часть стенки заготовки, расположенная напротив радиального канала матрицы, теряет устойчивость, материал трубной заготовки переходит в пластическое состояние и начинает течь в радиальный канал матрицы, с образованием отвода заданной высоты. При этом длина трубной заготовки уменьшается на определённую величину. В процессе образования отвода к пуансону противодавления 7 прикладывают силу  $F$ , снижающую растягивающие напряжения в стенке растущего отвода.

В данном случае в процессе гидроштамповки участвует не только жёсткая матрица и давление наполнителя, но и пуансоны, взаимодействующие с торцами и наружной поверхностью трубной заготовки. Эта схема гидроштамповки эффективна также при изготовлении деталей, имеющих один или несколько отводов, расположенных по окружности трубы (рис. 1.4, 1.5), деталей с прямолинейной осью, но различного поперечного сечения. При этом силы, накладываемые на торцы заготовки осевыми пуансонами, равномерно передаются стенками заготовки в область формируемых отводов, а стенки заготовки равномерно подпитывают растущий отвод материалом.

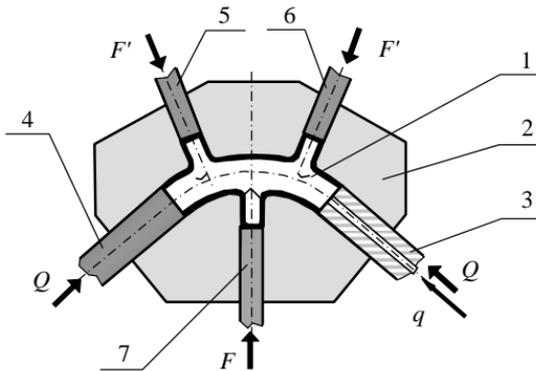
Если деталь имеет два и более отвода или несколько участков с увеличенными диаметрами (по сравнению с исходной трубной заготовкой), расположенных вдоль оси заготовки (рис. 1.6, 1.7), то пере-

дача сил, развиваемых осевыми пуансонами, в зоны, например, между отводами затруднена, формуемые участки на заготовке испытывают недостаток материала и имеют вследствие этого недостаточную величину либо получают чрезмерное утонение стенок в зонах формовки вплоть до их разрушения.



**Рис. 1.4**

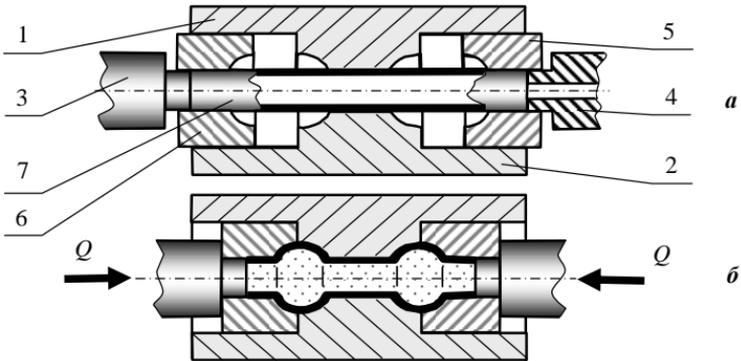
Технологическая последовательность изготовления тройника: *a* – заготовка (труба: диаметр 20 мм, толщина стенки 4 мм, материал – сталь 20); *б* – равнопроходный тройник, изготовленный гидроштампкой; *в, з* – тройники после обработки резанием



**Рис. 1.5**

Схема гидроштампки полых детали с тремя отводами:  
 1 – предварительно изогнутая заготовка; 2 – матрица;  
 3, 4 – осевые пуансоны; 5, 6, 7 – пуансоны противодействия

В этом случае в дополнение к активным силам, развиваемым осевыми пуансонами и давлением наполнителя, добавляют активную нагрузку со стороны матрицы, оснащая её подвижными вкладышами, как показано на рис. 1.6. При этом для оформления на заготовке достаточно развитых сферических участков, в дополнение к осевым нагрузкам со стороны пуансонов 3 и 4 активную роль играют вкладыши 5 и 6, позволяя вовлечь в процесс формирования детали достаточный объём материала.



**Рис. 1.6**

Схема гидроштамповки полой детали с прямолинейной осью и сферическими участками: *а* – исходное положение; *б* – завершающий этап гидроштамповки:

1, 2 – полуматрицы; 3, 4 – осевые пуансоны; 5, 6 – подвижные вкладыши;  
7 – заготовка

Данный приём успешно использован при разработке технологии гидроштамповки головной трубы велосипедной рамы (рис. 1.7, *з*) и аналогичных деталей [25]. При этом кроме разъемной матрицы 4, двух осевых пуансонов 2 и 3 штамп оснащён дополнительно двумя подвижными вкладышами 5 и 6, способными перемещаться вдоль оси трубчатой заготовки 1 в пазах штампа. В исходном положении (рис. 1.7, *а*) вкладыши отведены относительно матрицы и полости для будущих отводов имеют увеличенные размеры в направлении оси трубчатой заготовки. В процессе гидроштамповки заготовки 1 (рис. 1.7, *б*) под действием сил  $Q$  со стороны осевых пуансонов 3, 4 и давления наполнителя  $q$  стенка заготовки теряет устойчивость и вы-

пучивается в образованные матрицей и вкладышами полости. При этом вкладыши 5 и 6 неподвижны.

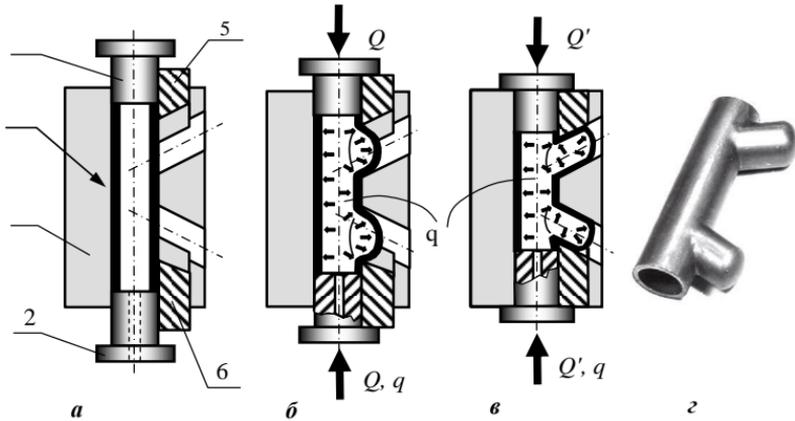


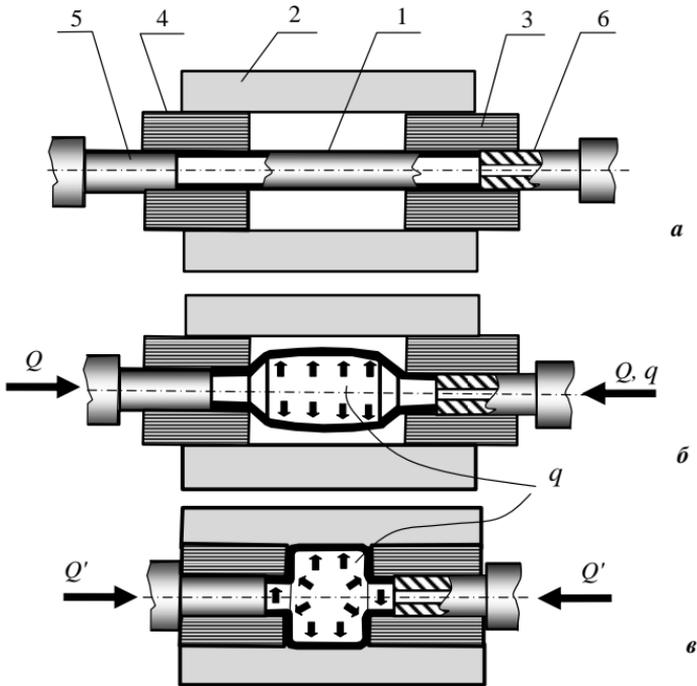
Рис. 1.7

Схема гидроштамповки полой детали с двумя отводами и активным воздействием на трубную заготовку пуансонов и элементов матрицы – вкладышей: *a* – исходное положение; *б* – промежуточный этап гидроштамповки; *в* – заключительный этап гидроштамповки; *г* – деталь (головная труба велосипедной рамы): 1 – заготовка; 2, 3 – осевые пуансоны; 4 – полуматрица; 5, 6 – подвижные вкладыши [25]

Затем, когда бурты 7 и 8 перемещающихся осевых пуансонов вступают в контакт с вкладышами 5 и 6, начинается совместное перемещение осевых пуансонов и вкладышей (рис. 1.7, в). При этом кроме осевой осадки заготовки осуществляется обжим её выпученных зон, периметр этих зон уменьшается, а высота отводов за счёт этого увеличивается. Изготовленная деталь (рис. 1.7, г) имеет размеры, определяемые конечным положением осевых пуансонов 2, 3 и вкладышей 5 и 6. При необходимости (для расширения технологических возможностей) в процессе гидроштамповки к вершинам формируемых на заготовке отводов может быть приложено противодавление путём оснащения штампа дополнительными пуансонами.

На рис. 1.8 приведена схема гидроштамповки трубной заготовки с осевой осадкой заготовки и продольным обжимом её раздаваемой части. Схема успешно используется для изготовления полых оболочек с высоким коэффициентом раздачи  $K_p$ , равным отношению диаметра

раздаваемой части к диаметру исходной заготовки. Данная схема позволяет изготовить детали с  $K_p = 2,6 \dots 2,8$ .



**Рис. 1.8**

Технологическая последовательность гидроштамповки полой детали с высоким коэффициентом раздачи трубной заготовки:  
**а** – исходное положение; **б** – раздача заготовки давлением наполнителя ( $q$ ) и осадкой пуансонов силами  $Q$  и  $Q'$ ; **в** – завершающая стадия изготовления детали с вовлечением в процесс гидроштамповки подвижных вкладышей:  
 1 – заготовка; 2 – матрица; 3, 4 – вкладыши; 5, 6 – пуансоны

На рис. 1.9 приведён примерный классификатор технологических возможностей процессов гидроштамповки. Классификатор включает в себя как освоенные в промышленности формы деталей и соединений деталей в узлы, так и перспективные, находящиеся в стадии разработки и исследования.

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)