

# РАЗДЕЛ I

## ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621. 777: 621.984.5

### КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В СОЗДАНИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В ТРАНСПОРТНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

А.В. Евстифеев<sup>1</sup>, А.А. Александров<sup>2</sup>, В.В. Евстифеев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОПО «Иртыш», Россия, г. Омск;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО СибАДИ, Россия, г. Омск.

**Аннотация.** На основании многолетнего опыта внедрения процессов объемной и листовой штамповки представлены сравнительные особенности разработки технологий и формообразующего инструмента, и, в том числе, обеспечивающих получение фасонных деталей с приложением меньших деформирующих сил при сохранении заданных характеристик прочности и пластичности, а также экономии материалов. Рациональный технологический процесс может быть создан только при тщательном анализе множества известных и оригинальных способов формоизменения заготовок и контроле структуры металла и формы поковки.

**Ключевые слова:** поперечно - прямое, комбинированное и обратное выдавливание, высадка; удельные силы, волокнистая структура, ресурс пластичности, локальное охлаждение, холодная объемная штамповка.

#### Введение

Рациональная схема технологического процесса объемной штамповки может быть отработана только в результате всестороннего анализа нескольких вариантов. И надо иметь в виду, что для некоторых типов деталей число возможных вариантов может достигать до нескольких десятков. Например, для детали типа «стакан» количество вариантов равно 48 [1]. Поэтому наиболее ответственным и трудоемким этапом подготовки производства является выбор последовательности или совмещения операций и основных методов формообразования, прогнозирование течения металла, определение формы и размеров исходной заготовки.

Выбранная маршрутная схема штамповки должна обеспечить наилучшие условия работы инструмента при минимальном количестве переходов, высокий коэффициент использования металла.

#### Обоснование выбора технологий

При отработке рабочей технологии штамповки (технологии получения резанием не рассматривались, как неконкурентоспособные) детали «ниппель» (рис. 1б) рассматривалось восемь вариантов

(семь со штамповкой из сплошных цилиндрических заготовок: два из них показаны на рисунке 1а, и один – выдавливание из трубной заготовки), [2]. Выдавливание полуфабрикатов типа «стакан» из сплошной заготовки происходит при удельном усилии 2000 - 2300 МПа [3], что требует использования для изготовления инструментов дорогих быстрорежущих сталей Р12, Р18, Р6М3. Во всех случаях необходимо вводить операции удаления дна стакана, и, кроме того, производить высадку головки из упрочненного на первой операции металла. Технология штамповки из трубной заготовки лишена этих недостатков (рис. 1 д, г, в).

Трубные заготовки целесообразно использовать и при штамповке деталей типа «опора шаровая» (рис. 2в). На практике, чаще всего, штамповку осуществляют из цилиндрической заготовки обратным выдавливанием с последующей пробивкой отверстия или обратным выдавливанием пуансоном с оправкой из кольцевой заготовки с толщиной стенки, равной окончательной. И в том, и в другом случае истечение металла происходит в одном направлении, что предопределяет значительные нагрузки на пуансоны.

Если опытным путем подобрать отношение толщины стенки трубной заготовки к ее высоте, то можно создать условия для течения металла в нескольких направлениях [2], что снижает нагрузки на инструмент. Результат представлен на рисунках 2а и 2б.

Особенно трудно проектировать операции холодной объемной штамповки (ХОШ) деталей типа «стакан с осевым отростком» (рис.3), когда внутренний диаметр полый части практически равен поперечному

размеру отростка. В этом случае велика вероятность отделения одной части детали от другой (операция пробивки) – (отношение диаметра полости к диаметру отростка  $\approx 1,05$ ), и так как течение металла при степени деформации 69 % идет преимущественно в сторону отростка. Поэтому в качестве основной формоизменяющей операции выбрана контурная осадка [4], обеспечивающая деформацию без разрушения металла.

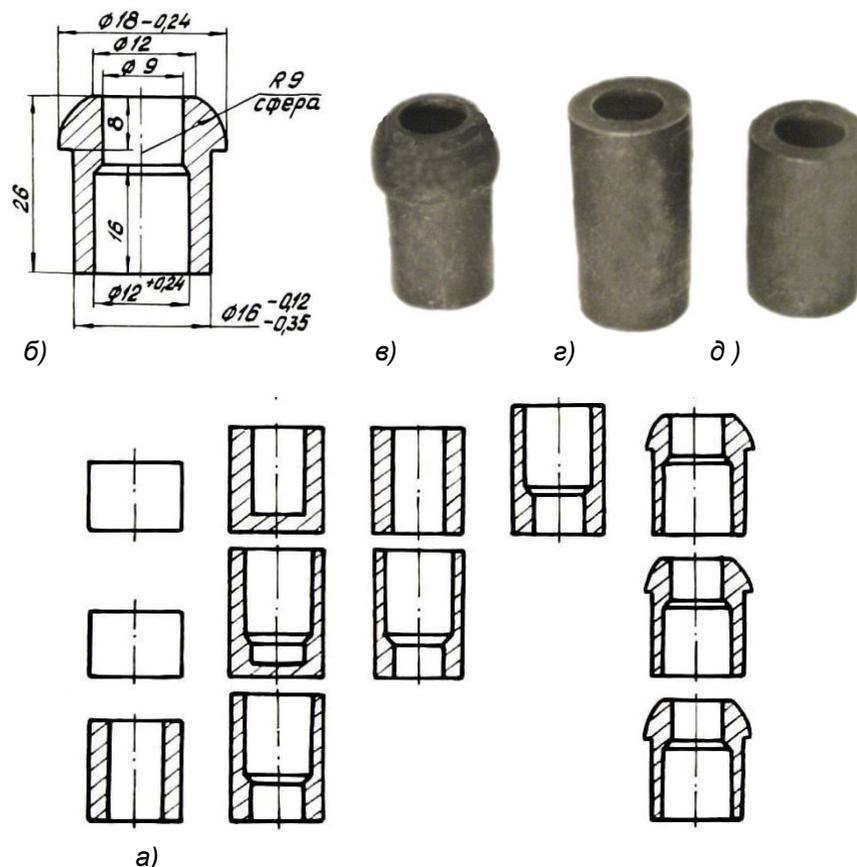


Рис. 1. Возможные варианты (а) процессов холодной объемной штамповки детали «ниппель» (б, в); полуфабрикат (г) и исходная трубная заготовка (д)

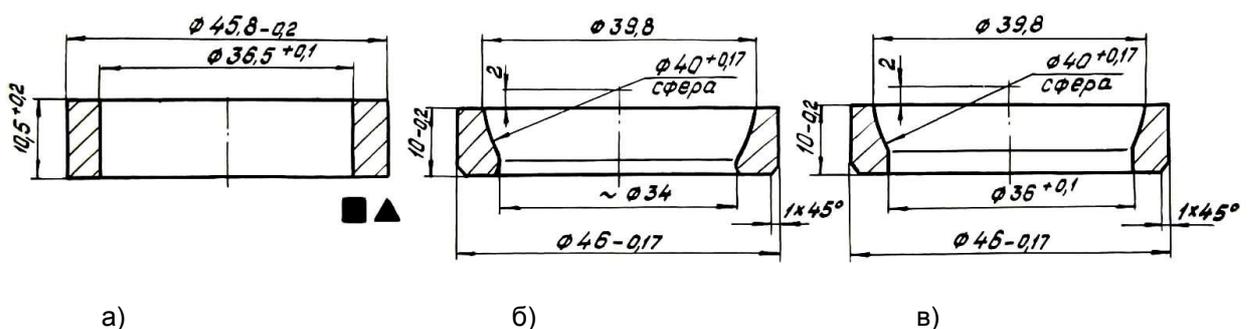


Рис. 2. Переходы холодной объемной штамповки «сферической опоры» с деформированием трубной заготовки пуансоном без оправки

Существенного снижения нагрузок на инструмент, а значит, повышения его стойкости, можно добиться за счет изменения общей схемы деформирования металла. Например, при штамповке деталей типа «стержень с пустотелой головкой» вместо высадки сплошной головки и последующего обратного выдавливания (рис. 4а) [5,6] целесообразно использовать различные модификации (рис. 4б, 4в, 4г) операции поперечно-прямого выдавливания заготовки 1. За счет разноименного напряженно-деформированного состояния в очаге деформации силы деформирования уменьшаются в 2 - 3 раза [7].

Иногда при анализе общепринятых технологий массового производства обнаруживаются недостатки, на которые никто не обращает внимания. Например, анализ технологии холодной объемной

штамповки заготовок шариков (диаметром до 26 мм) из цилиндрической заготовки в открытых штампах показал, что невозможно избежать облоя (рис 5а), и даже при смещении плоскостей разъема [5,8]. Для удаления облоя приходится в цикл обработки шарика вводить операцию обдирки.

Всесторонние исследования [9] позволили разработать и внедрить в производство процесс безоблойной штамповки шариков из фасонной заготовки (рис. 5б). На первом переходе производится редуцирование цилиндрической заготовки, что приводит к облегчению заполнения приполюсной зоны и равномерному распределению деформаций по объему шарика. Тем самым улучшаются структура и надежность шариков. И, в конечном счете – и надежность узлов машин и агрегатов.

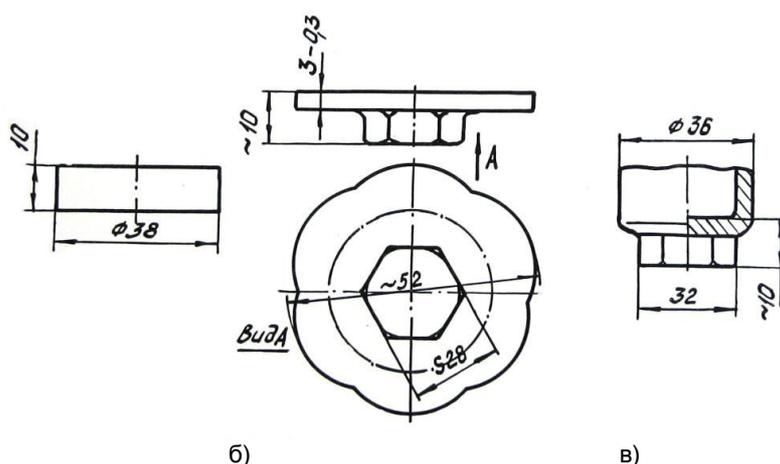


Рис. 3. Технология холодной объемной штамповки крышки гидросистемы: а – исходная заготовка; б – контурная осадка заготовки на матрице с шестигранным отверстием; в – операция вытяжки-свертки

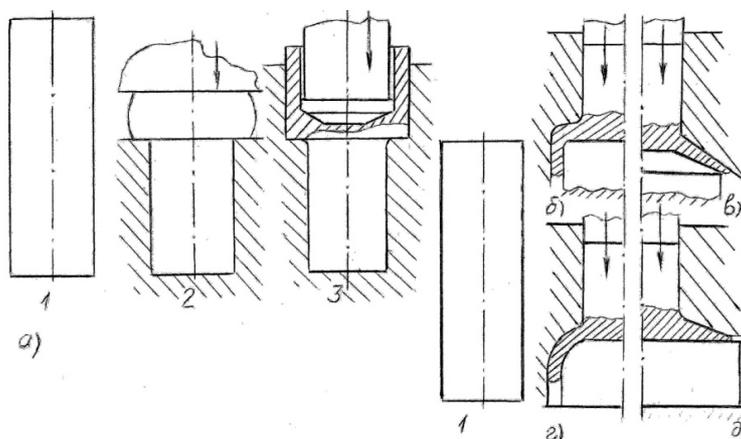


Рис. 4. Технологии холодной объемной штамповки деталей типа стержня с пустотелой головкой: а – двухпереходный процесс с высадкой головки (2) и обратным выдавливанием полости (3); однопереходный процесс поперечно-прямого выдавливания пустотелых головок (б, в, г, д)

На рисунке 6а представлен комплект шарового шарнира рулевой тяги автомобиля, в котором сухарь по технологии ГАЗа штамповался из шаровой заготовки. Последовательность изготовления показана на рисунке 6б. С точки зрения организации автоматизированного производства цикл технологического процесса безупречен. С другой стороны, качество полуфабриката под окончательную обработку не во всех случаях отвечает требованиям безопасности, особенно если иметь в виду, что сухарь подвергается цементации и закалке. При этом важно располагать волокна металла в направлении действия наибольших нагрузок. Так, как показано на рисунке 6б (б1). При автоматической загрузке заготовок (без принудительной ориентации) ориентация волокон может быть и такой, как показано на рисунке 6б (б2). Естественно, и расположение

волокон в поковках будет соответствовать рисункам 6б (в1 и в2).

Правильное расположение волокон обеспечивается при формовке сухаря из трубной заготовки (рис 6в) в процессе обжима.

При вытяжке сферических деталей напряженное состояние заготовки неоднородно: в центральной её зоне возникает двухосное растяжение, а вблизи рабочей кромки матрицы – сжато-растянутое напряженное состояние [10]. В связи с тем, что центральная часть деформируется в условиях двухосного растяжения, на этом участке происходит интенсивное утонение стенки детали. Утонение составляет обычно более 10 %, что часто недопустимо. Иногда чрезмерное утонение приводит к появлению трещин.

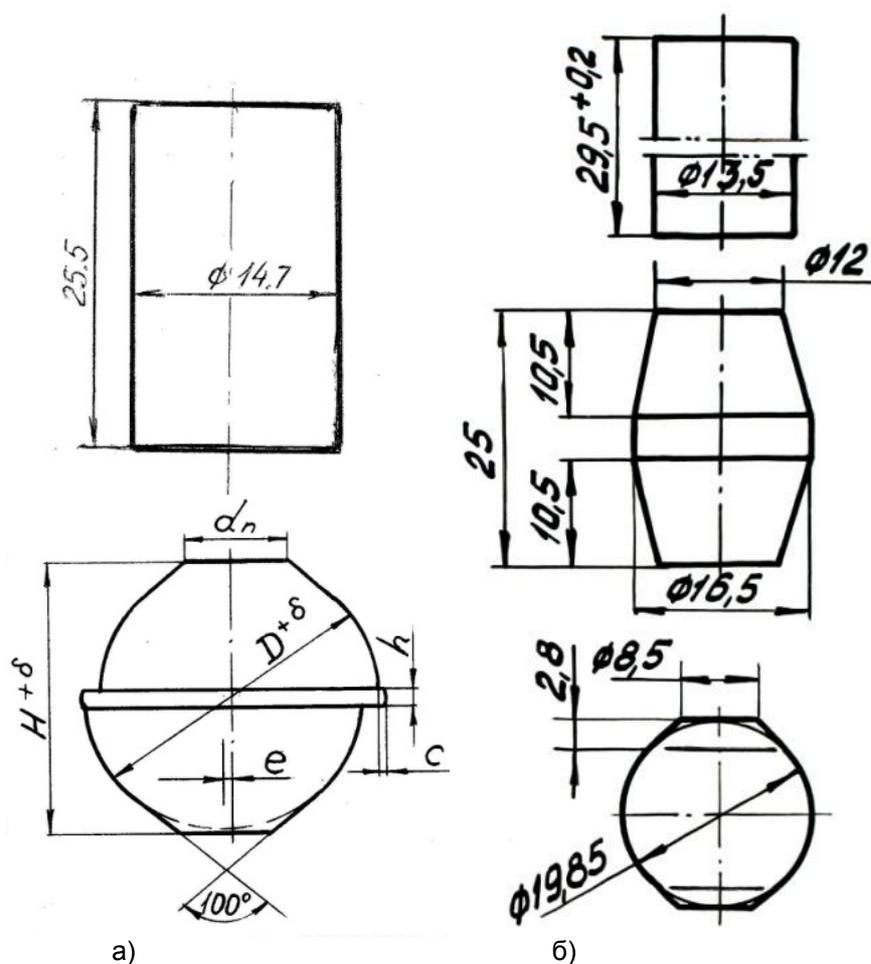


Рис. 5. Технологии высадки полуфабрикатов шариков подшипников:  
 а – высадка с облоем из цилиндрической заготовки;  
 б – высадка с предварительным редуцированием заготовки

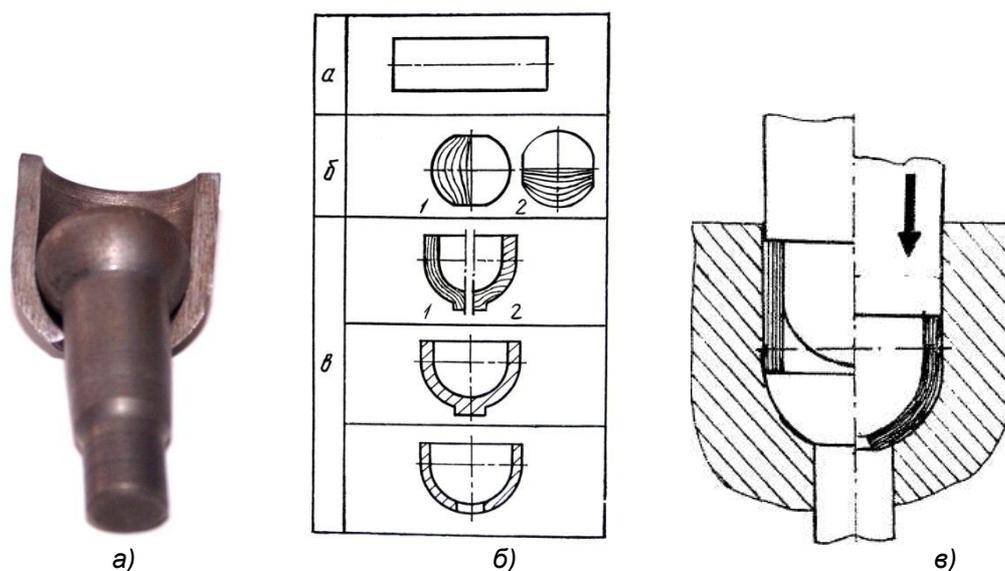


Рис. 6. Комплект шарового шарнира (а); переходы штамповки детали «сухарь» по технологии ГАЗа (б); штамповка сухаря по технологии ОмГТУ (в)

Выход был найден в ОмГТУ при штамповке полусфер из титанового сплава ВТ6С. Заготовка 1 нагревалась в вертикальной муфельной печи 3 до температуры штамповки. Затем ее вынимали специальными клещами, у которых на концах закреплены цилиндрические пяты 2 (рис. 7а). Перед вводом клещей в печь

пяты охлаждались в воде. При осуществлении штамповки металл заготовки в подстуженной зоне 5 в начальный момент деформируется с запозданием. Таким образом, формируется зона «ограниченной деформации» 4. И утонение не превышает 5%.

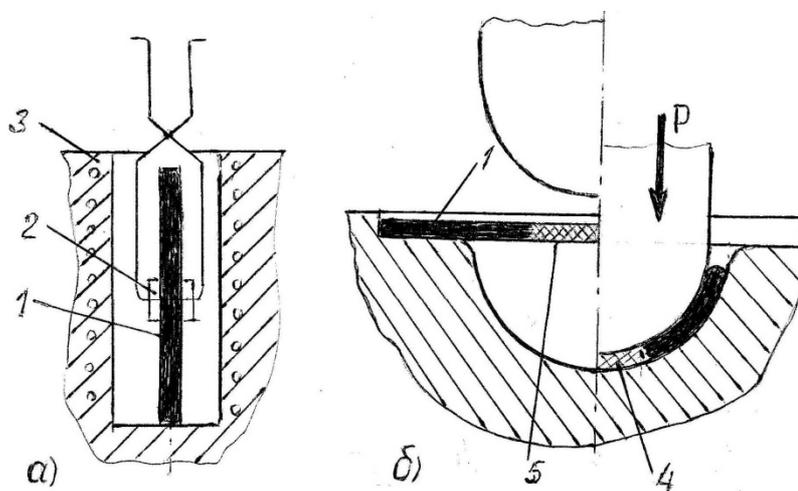


Рис. 7. Штамповка полусфер шаровых баллонов с минимальным утонением стенок: а – выемка круглой заготовки (1) клещами с охлаждающими «пятами» (2) из вертикальной муфельной печи (3); б - вытяжка-свертка заготовки с подстуженной зоной (5); 4 - зона ограниченной деформации

При штамповке полых деталей с развитым фланцем (рис. 8) с целью снижения деформирующих сил и упрощения конструкции инструмента рекомендуется сначала «разогнать» металл трубной заготовки к периферии с помощью

конического пуансона (рис. 8а; угол наклона образующих подбирается так, чтобы исключить течение к центру), а затем осадить до нужной толщины плоским пуансоном (рис. 8б), [11].

Конические тонкостенные стаканы (рис. 8в) практически невозможно выдавить, даже из алюминиевых сплавов [12]. Но это легко сделать, если выдавливать металл в

суживающую щель (рис. 8г). Разность углов наклона поверхностей щели рассчитывается так, чтобы не было разрыва стенки.

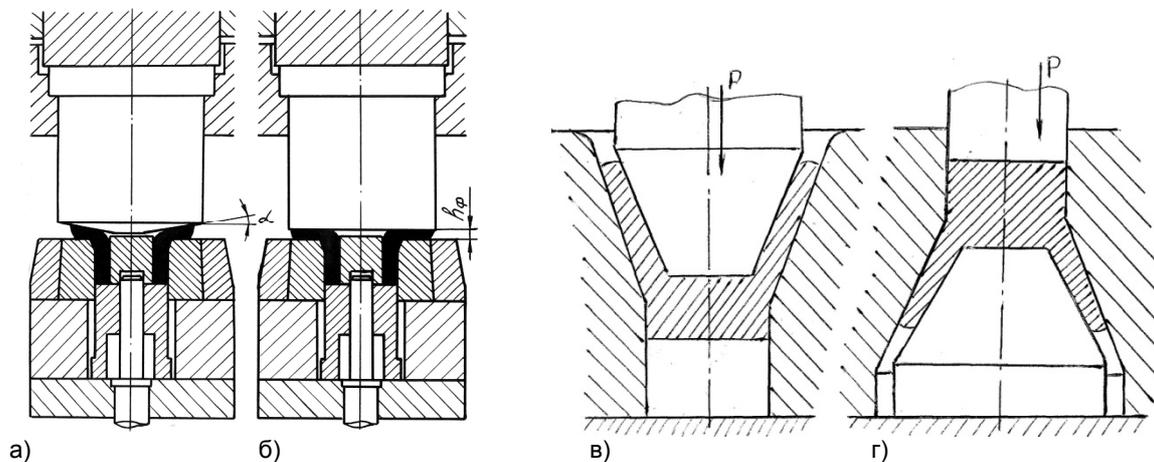


Рис. 8. Технологические схемы холодной объемной штамповки деталей «фланец»: а – осадка фланца коническим пуансоном ( $\alpha \leq 10$  град), [11], б - осадка фланца плоским пуансоном; и «конический стакан»: в - обратным выдавливанием, г - прямым выдавливанием металла в суживающую щель

На рисунке 9 представлены две технологии ХОШ. Отличаются они только тем, что в результате изменения диаметра исходной заготовки с 23 мм на 24 мм (вариант по рис. 9б)

удельная сила деформирования на первом переходе уменьшилась на 200 МПа. И это повысило стойкость прошивных пуансонов.

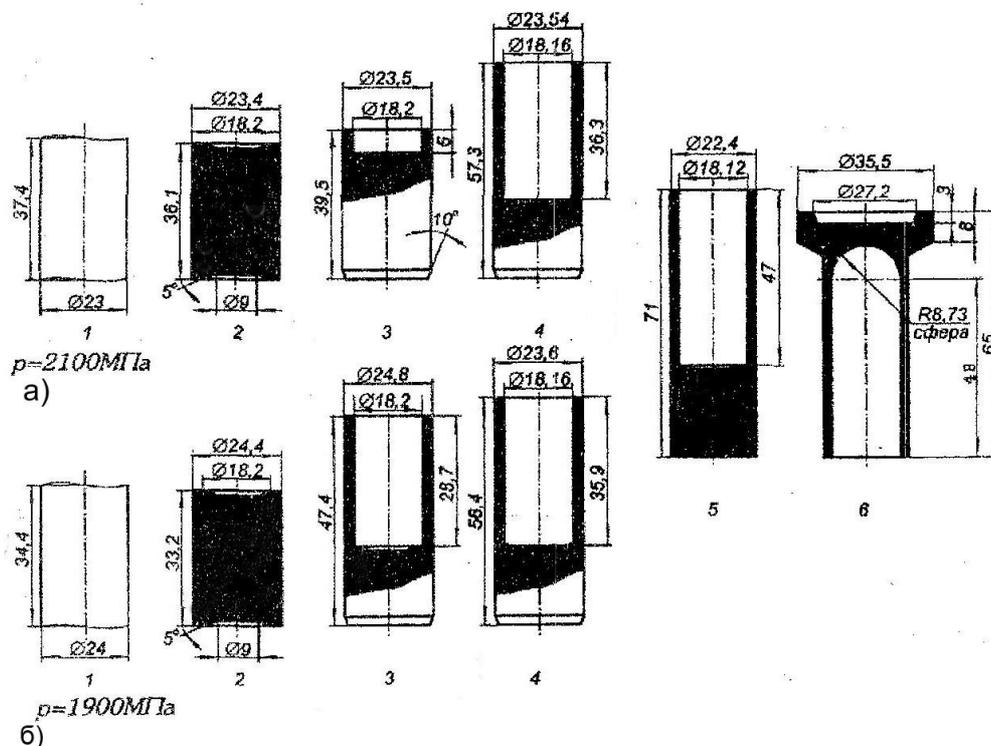


Рис. 9. Переходы холодной объемной штамповки толкателя клапана: а – КАМАЗ – НИИТАвтопром [13]; б – предложение авторов [1]

### Заключение

При разработке технологий изготовления деталей методами штамповки необходимо просматривать несколько возможных вариантов, отличающихся количеством переходов, схемами деформирования, сложностью инструментальных наладок. Во всех случаях следует анализировать волокнистую структуру поковки, возможность появления дефектов после термообработки, использовать рациональные схемы деформирования.

### Библиографический список

1. Евстифеев, В.В. Использование таблиц возможных вариантов для совершенствования технологических процессов / В.В. Евстифеев, Д.Н. Присядин, А.В. Евстифеев // Механика процессов и машин. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2001. – С. 130 – 135.
2. Евстифеев, В.В. Проектирование, анализ и расчет процессов холодной объемной штамповки: Монография / В.В. Евстифеев, А.А. Александров, И.С. Лексутов. – Омск: СибАДИ, 2009. – 184 с.
3. Фельдман, Г.Д. Холодное выдавливание стальных деталей / Перевод с нем. Е.Н. Ланского; Г.Д. Фельдман. – М.: Машгиз, 1963. – 188 с.
4. Норицын, И.А. О распределении контактных напряжений при холодной штамповке деталей с фланцем / И.А. Норицын, В.А. Головин, А.С. Базык // Кузнечно-штамповочное производство. – 1964. – № 11. – С. 1 – 5.
5. Холодная объемная штамповка: Справочник / Под ред. профессора Г.А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1973. – 469 с.
6. Филимонов, Ю.Ф. Штамповка прессованием / Ю.Ф. Филимонов, Л.А. Позняк. – М.: Машиностроение, 1964. – 188 с.
7. Александров, А.А. Определение технологических параметров при поперечно-прямом выдавливании стаканов / А.А. Александров, В.В. Евстифеев // Прикладные задачи механики. – Омск: Изд-во ОмГТУ, – 2003. – С. 41 – 44.
8. Байков, С.П. Новые технологические процессы производства шариков: Обзор. – М.: НИИТАВТОПРОМ, 1968. – 27 с.
9. Кокоулин, В.П. Совершенствование технологического процесса и повышение стойкости инструмента холодной объемной штамповки шариков / В.П. Кокоулин, В.А. Лоскутов, Р.А. Мокроусов. Отчет по НИР, № 24, ОмПИ. Гос. регистрация № 740430058. – 26 с.
10. Аверкиев, Ю.А. Холодная штамповка: Формоизменяющие операции / Ю.А. Аверкиев. – Ростов – на Дону: Изд-во Ростовского университета, 1984. – 288 с.
11. А.с. (СССР). Способ формовки фланцев на полой цилиндрической детали / А.А. Александров, В.В. Евстифеев, В.Н. Лобас, И.А. Игнатович –

№1355339; заявл. 5.10. 1987; опубл. 1.08.1987. – Бюл. № 44.

12. Подколзин, Г.Н. Методика построения геометрии инструмента при холодном выдавливании конических стаканов / Г.П. Подколзин, В.В. Евстифеев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1976. – № 3. – С. 11 – 13.

13. Холодная объемная штамповка стальных деталей в автомобильной промышленности. РТМ37. 002. 0098.-83. – М.: НИИТАВТОПРОМ, 1984. – 101 с.

### DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN DEVELOPMENT OF HIGHLY EFFICIENT PROCESSING TECHNOLOGY PRESSURE

A.V. Evstifeev, A.A. Alexandrov, V. V. Evstifeev

**Abstract.** On the basis of long-term experience of introduction of processes of volume and sheet stamping comparative features of development of technologies and the form-building tool, and, including, the providing shaped details with the application of the smaller deforming forces are presented when saving of the set characteristics of durability and plasticity, and also economy of materials. Rational technological process can be created only in the careful analysis of a set of known and original ways of forming of preparations and control of structure of metal and a form of a forging.

**Keywords:** cross - direct, inverse and combined extrusion, landing; specific power, fiber structure, plasticity resource, local cooling, cold forging.

### References

1. Evstifeev V.V., Prisjadin D.N., Evstifeev A.V. Ispol'zovanie tablic vozmozhnyh variantov dlja sovershenstvovanija tehnologicheskikh processov [Using tables of possible options for the improvement of processes]. *Mehanika processov i mashin*. Omsk: Izd-vo OmGTU, 2001. pp. 130 – 135.
2. Evstifeev V.V., Aleksandrov A.A., Leksutov I.S. *Proektirovanie, analiz i raschet processov holodnoj ob'emnoj shtampovki* [Design, analysis and calculation processes of cold forming]. Omsk: SibADI, 2009. 184 p.
3. Fel'dman G.D. *Holodnoe vydavlivanie stal'nyh detalej* [Cold extrusion steel parts]. Pervod s nem. E.N. Lanskogo; G.D. Fel'dman. Moscow, Mashgiz, 1963. 188 p.
4. Noricyn I.A., Golovin V.A., Bazyk A.S. O raspredelenii kontaktnyh naprjazhenij pri holodnoj shtampovke detalej s flancem [On the distribution of contact stresses in cold stamping parts flange]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*, 1964, no 11. pp. 1 – 5.
5. *Holodnaja ob'emnaja shtampovka* [Cold forging: Handbook]. Pod red. professora G.A. Navrockogo. Moscow, Mashinostroenie, 1973. 469 p.
6. Filimonov Ju.F., Poznjak L.A. *Shtampovka pressovanijem* [Shtampovka compression]. Moscow, Mashinostroenie, 1964. 188 p.

7. Aleksandrov A.A., Evstifeev V.V. Opredelenie tehnologi-cheskikh parametrov pri poperechno-prjamom vydav-livanii stakanov [Defining technological parameters for extrusion direct cross-cup]. *Prikladnye zadachi mehaniki*, Omsk: Izd-vo OmGTU, 2003. pp. 41 – 44.

8. Bajkov S.P. *Novye tehnologicheskie pro-cessy proizvodstva sharikov: Obzor*. [New technological processes for the production of bulbs: Overview]. Moscow, NII-TAVTOPROM, 1968. 27 p.

9. Kokoulin, V.P., Loskutov V.A., Mokrousov R.A. *Sovershenstvovanie tehnologicheskogo processa i povyshenie stojkosti instrumenta holodnoj ob'emnoj shtampovki sharikov* [Improvement of the process and increasing the tool life of cold forging balls]. Otchet po NIR, № 24, OmPl. Gos. registracija № 740430058. 26 p.

10. Averkiev Ju.A. *Holodnaja shtampovka: Formoizmenjajushhie operacii* [Cold pressing: shaping operations]. Rostov – na Donu: Izd-vo Rostovskogo universiteta, 1984. 288 p.

11. Aleksandrov A.A., Evstifeev V.V., Lobas V.N., Ignatovich I.A. A.s. no 1355339 (SSSR). *Sposob formovki flancev na poloj cilindricheskoi detali* [The method of molding the flange on the hollow cylindrical member]. 1987.

12. Podkolzin G.N., Evstifeev V.V. Metodika postroeniya geo-metrii instrumenta pri holodnom vydavlivanii konicheskikh stakanov [The method of constructing the geometry of the tool during the cold extrusion conical cup]. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*, 1976, no 3. pp. 11 – 13.

13. *Holodnaja ob'emnaja shtampovka stal'nykh detalej v avtomobil'noj promyshlennosti. RTM37. 002. 0098.-83*. [Cold forging steel parts in the automotive

industry. RTM37. 002. 0098.-83]. Moscow, NIITAvtoprom, 1984. 101 p.

*Евстифеев Александр Владиславович* (Россия, г. Омск) – инженер ОПО «Иртыш» (644060, ул. Гуртьева, 18, e-mail: a\_evstifeev@mail.ru).

*Александров Александр Александрович* (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).

*Евстифеев Владислав Викторович* (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии», ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: VladEvst@mail.ru).

*Evstifeev Aleksandr Vladislavovich* Russian Federation, Omsk) – engineer of OPO «Irtysk» (644060, Gyrtveva, 18, e-mail: a\_evstifeev@mail.ru).

*Alexandrov Alexander Aleksandrovich* (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor of the department "Building structure" of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5).

*Evstifeev Vladislav Victorovich* (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor of the department "Automobiles, construction materials and technologies", of The Siberian State Automobile and Highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave. 5, e-mail: VladEvst@mail.ru).

УДК 621.83.061

### РЕЗУЛЬТАТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕДУКТОРА КРАНОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Ю.В. Ремизович

ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

**Аннотация.** В данной статье предложена и обоснована конструкция редуктора с переменным передаточным числом. Редуктор позволяет производить разгон и движение крана (тележки) с тремя скоростями с плавным переключением передач. Муфты встроены в зубчатые колеса. Конструкция компактная, простая и надежная. Обеспечено снижение динамических нагрузок, раскачивание груза. В качестве прототипа муфт принята обгонная муфта с цилиндрическими роликами. В предложенном редукторе муфты содержат конические ролики.

**Ключевые слова:** редуктор, муфта, передача, скорость.

#### Введение

Все крановые механизмы содержат редуктор. В зависимости от типа крана и механизма редуктор может быть одно-, двух или трехступенчатым, т.е. иметь от одной до трех пар зубчатых колес. Каждая пара зубчатых колес имеет постоянное передаточное число,

как и редуктор в целом. Для управления (изменения) скоростей рабочих операций: передвижения крана, тележки используют тиристорный электропривод, работа которого сопровождается преобразованием электроэнергии, что приводит к потерям.