

Кузнечно-штамповочное производство

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

6

ИЮНЬ

1988

Издается с января 1959 года

Орган Министерства станкостроительной и инструментальной промышленности СССР
и Всесоюзного научно-технического общества машиностроителей

МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ»



Технология ковки
и объемной
штамповки

УДК 621.777.01

Технологические процессы холодного поперечного выдавливания

И. С. АЛИЕВ

Особенностью технологии поперечного выдавливания является возможность регулирования деформационных и силовых параметров процесса посредством измерения кинематики движения формообразующего инструмента. На рис. 1 приведена классификация кинематических вариантов радиального выдавливания, разработанная на основе анализа работ, выполненных в ЭНИКМаше и других организациях [1—5].

Простейшие кинематические варианты реализуются при радиальном выдавливании с односторонней подачей металла в рабочую полость неподвижной матрицы. По 1-му варианту целесообразно изготавливать детали с фланцами, а по 2-му — с утолщениями различных конфигураций (конических, сферических или плоских). Рассмотрим особенности формоизменения по этим схемам путем их сопоставления с вариантом выдавливания с двусторонним деформированием заготовки. Поперечное выдавливание с совмещенной двусторонней подачей металла осуществляется встречным движением пуансонов [2] и принудительным перемещением матрицы со скоростью v_2 (4-й вариант), меньшей примерно в 2 раза [6] скорости движения пуансона v_1 . Основное достоинство двустороннего выдавливания состоит в заметном снижении усилий деформирования. По 5-му варианту предусмотрено ускоренное по отношению к пуансону перемещение матрицы, способствующее снижению неравномерности деформации [4]. По 6-му варианту матрица на первой стадии процесса неподвижна, а на второй стадии она перемещается вниз синхронно с пуансоном со скоростью v_2 . Таким способом осуществляют выдавливание с последовательной двусторонней подачей металла [7 и 8], обеспечивающей лучшее заполнение поперечной полости.

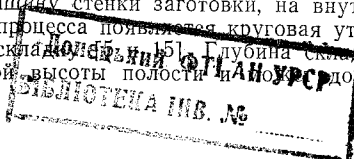
Для 1—6-го вариантов характерно радиальное выдавливание в полость неизменной высоты, в то время как по 7—12-му вариантам предусмотрено изменение высоты приемной круговой полости. Тем самым обеспечивают интенсивное формоизменение в области выдавливаемого фланца (утолщения), что целесообразно для получения фланцев правильной или сложной формы. По 7-му варианту одновременно с радиальным выдавливанием или с определенной стадии процесса выполняют высадку фланца встречным движением противоположного пуансона со скоростью v_2 [9]. Это позволяет получить фланцы со сложным наружным контуром, например с зубчатым профилем. Роль выталкивателя деталей с тонким фланцем при выдавливании по этой схеме может выполнять противоположный пуансон.

По кинематическому 8-му варианту одновременно со сближением пуансонов сближают полуматрицы, что способствует повышению качества выдавливаемых фланцев [10]. Реверсивное перемещение полуматриц по ходу процесса выдавливания (9-й вариант) позволяет получать в матрице с плоскими торцами разнообразные детали со ступенчатыми фланцами [11].

10-й вариант представляет собой последовательное комбинирование радиального выдавливания и высадки. На первой стадии производится радиальное выдавливание, а затем полученный грибовидный фланец высаживают путем синхронного с пуансоном перемещения полуматрицы. Этот способ в настоящее время применяется, в основном, для подготовки заготовок под последующее обратное выдавливание [4, 12 и 13]. При выдавливании по этому варианту можно устранить искажение фланцев. Этот способ можно применять взамен двухпереходной высадки, когда предварительный набор металла в утолщение обязателен не только для повышения продольной устойчивости заготовки, но и для равномерного и осевого оформления фланцев. По сравнению с процессом прямого выдавливания данный вариант имеет преимущества, так как энергозатраты снижаются и разрушений в зоне перехода от фланца к стержню не наблюдается.

При изготовлении деталей с массивными фланцами или утолщениями эффективен 11-й вариант с выдавливанием металла в круговую поперечную полость с непрерывно увеличивающейся высотой [14].

При формоизменении полых заготовок возникают утяжки, являющиеся причиной складкообразования. При выдавливании деталей типа втулок с фланцем (буртом) увеличивается внутренний диаметр в зоне образования фланца. Раздача отверстия у нижнего края втулки происходит в начале процесса и слабо зависит от его дальнейшего протекания при свободном выдавливании. Ограничение фланца по наружному диаметру приводит к устранению этого недостатка, и грани детали оформляются достаточно четко. Интерес представляет процесс выдавливания втулок из заготовок, полученных гибкой из полосы без сварки продольного стыка. У втулок с утолщением при значениях высоты рабочей полости, превышающих в 1,5—2 раза толщину стенки заготовки, на внутренней поверхности в начале процесса повышается круговая утяжина, переходящая затем в складку [5]. Глубина складки зависит от относительной высоты полости и от относительной



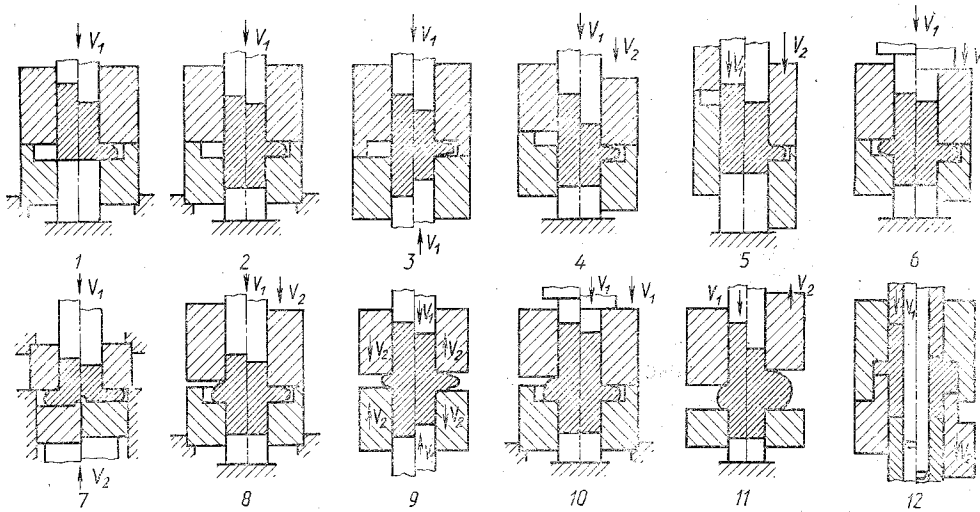


Рис. 1. Кинематические варианты поперечного выдавливания

значений, равных толщине стенки заготовки.

Для обеспечения устойчивости тонкостенной полой заготовки при выдавливании необходимо постепенно увеличивать высоту рабочей полости, как это предусмотрено по 12-му варианту, движением верхней или нижней полуматриц [16 и 17].

Могут быть и комбинированные варианты (пока не реализованные), промежуточные между 1-м и 7-м, 2-м и 10-м, 6-м и 11-м, 4-м и 10-м, 9-м и 12-м вариантами или комбинации различных вариантов, выполняемых на определенных стадиях деформирования одной и той же заготовки. Деформирование возможно как при одностороннем, так и при двустороннем приложении нагрузки. Выдавливание осуществляется в неподвижной матрице или путем перемещения матрицы относительно пуансона. Поперечное радиальное выдавливание можно реализовать и во вращающихся матрицах. Разнообразные варианты поперечного выдавливания можно получить также изменением направления и места приложения нагрузки, направления, времени и скорости перемещения матриц (полуматриц), позадийным или попеременным осуществлением рассмотренных вариантов, созданием дополнительных очагов деформации, например деформированием (изгибом, обрезкой, формовкой) периферийных зон выдавливаемого фланца, отсрочка или стержневой зоны заготовки.

Экспериментальные исследования способов поперечного выдавливания подтверждают их преимущества по сравнению с традиционной холодной объемной штамповкой (высадкой, прямым выдавливанием) в повышении устойчивости заготов-

ки, в уменьшении ограничений по качеству торцов исходной заготовки, а также в уменьшении усилий деформирования. Анализ характера изменения усилий выдавливания показывает, что при уменьшении высоты рабочей полости (толщины фланца) h резко возрастают давления (рис. 2, а), что связано с увеличением степени деформации. Влияние диаметральных размеров фланца во всех случаях радиального выдавливания одинаково: увеличение наружного диаметра фланца, однозначно связанное с величиной рабочего хода пуансона S , сопровождается главным образом возрастанием рабочих нагрузок. Влияние радиуса r закругления матрицы на значения усилий радиального выдавливания носит более сложный характер. При увеличении значений r снижаются усилия в начальной стадии процесса, так как при этом для заполнения полости и формирования очага деформации необходимо больше времени. По мере развития процесса после достижения металлом плоскопараллельного участка круговой полости, различие в усилиях сглаживается. На последней стадии выдавливания при больших значениях $r/R_0 > 0,3-0,45$ усилия выдавливания даже несколько (на 5—10%) выше, что объясняется превышением объема металла в очаге деформации при одной и той же степени деформации (см. рис. 2, б).

На усилие деформирования существенно влияют способ выдавливания и форма получаемых деталей.

При выдавливании фланцев на конце стержня (при отсутствии нижней недеформируемой части заготовки) необходимы давления, меньшие на 20—30%, чем при выдавливании утолщений в средней части (рис. 3, а). При поперечном выдавливании с двусторонней подачей металла требуются меньшие (на 15—25%) давления деформирования, чем при односторонней или последовательно-двусторонней подаче металла (рис. 3, б). Это преимущество особенно важно при холодном деформировании, когда основными ограничивающими факторами применения процессов является высокий уровень удельных нагрузок и, соответственно, низкая стойкость инструмента. При ограничении фланцев по наружному диаметру деформация осуществляется несвободным выдавливанием по типу закрытой штамповки и сопровождается резким возрастанием усилий на пуансоне. Поэтому, если невозможна точная дозировка объема заготовки, то излишек металла необходимо компенсировать за счет увеличения диаметра выдавливаемого фланца.

Относительное давление при радиальном выдавливании (p/σ_s) утолщений на сплошных стержневых заготовках можно определить по номограмме (рис. 4). Ход вычислений p/σ_s по заданным относительным значениям высоты h/R_0 и радиуса R_1/R_0 фланца, высоты заготовки H_1/R_0 и коэффициента трения μ показан штриховой линией. Умножением найденного значения (p/σ_s) на напряжение текучести материала σ_s определяется величина давления деформирования, по которой устанавливается усилие выдавливания.

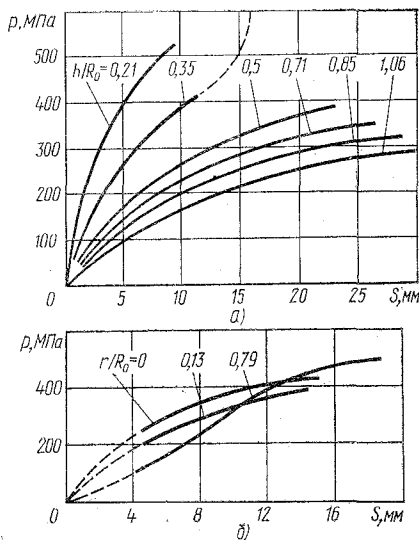


Рис. 2. Диаграммы давление p — ход пуансона S для различных относительных значений толщины фланца h/R_0 (а) и радиуса матрицы r/R_0 (б), материал — алюминий АД1

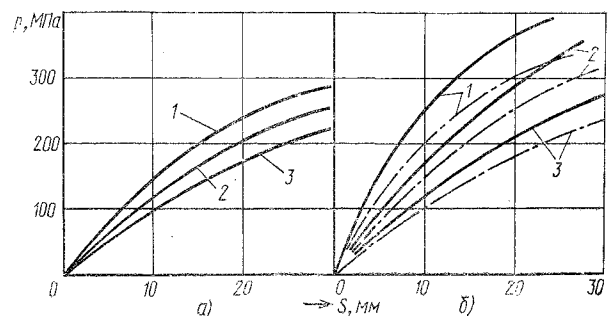


Рис. 3. Влияние схемы выдавливания на удельные усилия деформирования:

а — выдавливание фланцев (1-й вариант); б — выдавливание утолщений: — 2-й вариант; --- 4-й вариант (материал — алюминий АД1); 1 — $h/R_0=0,47$; 2 — $h/R_0=0,66$; 3 — $h/R_0=0,94$

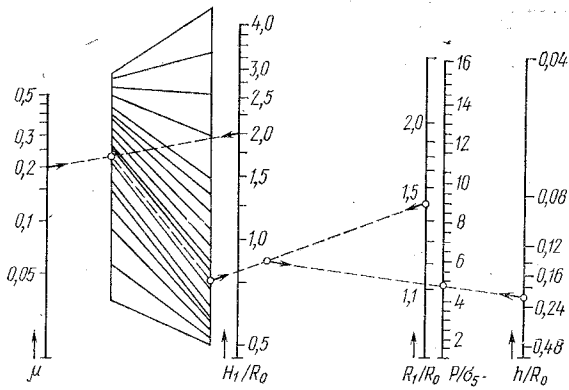


Рис. 4. Номограмма для определения относительного давления радиального выдавливания

Для учета упрочнения при холодной деформации материала истинное напряжение текучести σ_s необходимо определить по кривым упрочнения для данного материала в зависимости от степени деформации ϵ , принимая во внимание неравномерность распределения местных деформаций.

Возможности процесса радиального выдавливания ограничиваются возникновением трещин и разрушением фланцев на периферийной утонченной части. Это обусловлено воздействием разноименной схемы напряженного состояния на кромку фланца с одним (окружным) растягивающим напряжением. Но по этой же причине при радиальном выдавливании по сравнению с прямым выдавливанием однотипных деталей требуется меньше затрат энергии. Предельная степень деформации зависит от пластических свойств материала заготовки, высоты фланца h и радиуса r переходной кромки полуматрицы; чем выше относительные значения этих параметров, тем больше предельный диаметр выдавливаемого фланца.

Отношение диаметра выдавливаемого фланца или утолщения к диаметру исходной сплошной заготовки D_1/D_0 может достигь 2,3—2,5, при этом D_0 колеблется в пределах от 10 до 40 мм.

Обработывая опытные данные методами математического планирования эксперимента, получают следующие эмпирические выражения для предварительного расчета предельного относительного диаметра фланца $\bar{R} = D_1/D_0$.

Для выдавливания фланца на конце стержня

$$\bar{R} = 1,725 (5 h/R_0)^{0,134} (5 r/R_0)^{0,041} \psi^{0,504} \quad (1)$$

Для выдавливания утолщения в средней части стержня

$$\bar{R} = 1,802 (5 h/R_0)^{0,146} (5 r/R_0)^{0,043} \psi^{0,520} \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) значение ψ , характеризующее пластические свойства деформируемого металла, равно логарифмической деформации сужения шейки образца при испытании на растяжение ($\psi = \ln F_0/F_K$).

Следует отметить некоторое снижение предельной степени формоизменения при выдавливании фланцев, т. е. при отсут-

ствии нижней недеформируемой части заготовки. Интересно то, что выдавливание утолщений с двусторонней подачей металла также сопровождается понижением предельных значений \bar{R} . В этом случае расчеты следует вести по формуле (1) для выдавливания фланцев. По-видимому, понижение деформационной способности сплавов при переходе от 2-го кинематического варианта к 4-му или 1-му вариантам связано с уменьшением гидростатического давления в пластической зоне. Кроме того, способы выдавливания с односторонней подачей металла в полость отличаются значительной неоднородностью поля деформаций и искажением формы выдавливаемых фланцев и утолщквов [1, 4, 18].

В начальной стадии выдавливания зона деформации имеет высоту, не превышающую высоту поперечной полости. На последующих стадиях степень деформации металла, примыкающего к верхней границе очага деформации, может даже снизиться за счет поступления на этот участок слабо деформированного металла из верхней полуматрицы. Интенсивной деформации подвергается слой металла, примыкающий к нижней границе пластической зоны, причем пик интенсивности деформации ϵ ; на эпохах непрерывно смещается вниз (рис. 5, а). Наибольшее упрочнение приобретают слои металла у нижней границы очага деформации на переходном (от утолщения к стержню) участке. Высокий градиент деформации вдоль указанной границы приводит к преждевременному разрушению заготовки.

При выдавливании с двусторонней подачей эпохи распределения деформаций в очаге деформаций симметричны на всех стадиях выдавливания, а пик значений ϵ приходится на горизонтальную ось симметрии. Для одного и того же значения хода пуансона S величина ϵ для двустороннего деформирования выше, чем при выдавливании с односторонней подачей, но сдвиговая деформация характеризуется меньшими величинами и градиентом. В связи с этим к обем границам очага деформации прилегают менее наклепанные слои металла.

Зона с максимальной деформацией при выдавливании с последовательной двусторонней подачей смещается в направлении подачи металла: вначале сверху вниз, затем обратно. Управляя соотношением объемов металла, подаваемых в полость из верхней и нижней частей заготовки, можно добиться требуемого смещения зоны максимального упрочнения от границ в среднюю зону деформации.

При выдавливании металла в круговую полость постоянной высоты по мере удаления от стержня толщина выдавливаемого фланца непрерывно уменьшается. Детали с относительно тонкими фланцами и меньшими утолщениями (при $h/R_0 \leq 0,3 \div 0,4$) можно получить без заметного искажения. При больших значениях отношения h/R_0 утончение фланца приводит к искажению его формы и уменьшению степени заполнения металлом рабочей полости. При выдавливании с односторонней подачей нижняя часть полости заполняется быстрее, и образующийся фланец приобретает грибовидную форму [1 и 5]. Верхний криволинейный торец фланца или утолщения приближенно можно описать параболической кривой, причем вершина параболы у фланцев расположена на поверхности нижней торца, а при выдавливании утолщений (в средней части стержня) смещена от указанной поверхности на величину b . Зависимости значений b/h от относительных радиуса и толщины утолщений приведены на рис. 6, а. Для утолщений характерно также такое искажение формы, как отставание нижней кромки грибовидного утолщения в радиальном течении, вызванное затормаживающим влиянием нижней недеформируемой части заготовки.

При выдавливании с совмещенной двусторонней подачей утолщения имеют симметричную клинообразную форму с толщиной у кромки h_2 , уменьшающейся по мере увеличения диаметра фланца (рис. 6, б).

При увеличении высоты приемной полости h ($h/R_0 > 2$) можно получить несимметричный фланец. Утолщения с $h/R_0 > 3$ имеют форму двойной бочки.

Шероховатость поверхностей деталей, полученных радиальным выдавливанием, неравномерна. При односторонней подаче выдавливаемый металл контактирует только с торцом нижней полуматрицы, что значительно улучшает качество поверхности ($Ra \leq 0,32$ мкм). На верхнем криволинейном торце фланца при этом качество поверхности особенно заметно ухудшается при деформировании мягких алюминиевых сплавов. Из-за неравномерного распределения шероховатости на торце полуматрицы возможно искажение в виде утолщений овальной формы. Увеличение шероховатости на обоих торцах утолщения наблюдается при двустороннем выдавливании.

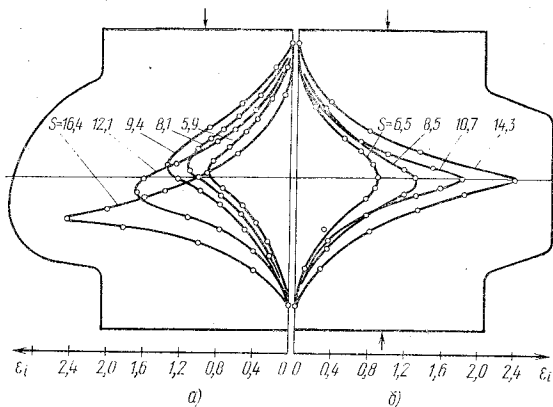


Рис. 5. Распределение деформаций по оси симметрии на этапах пути пуансона S при выдавливании с односторонней (а) и двусторонней подачей (б)

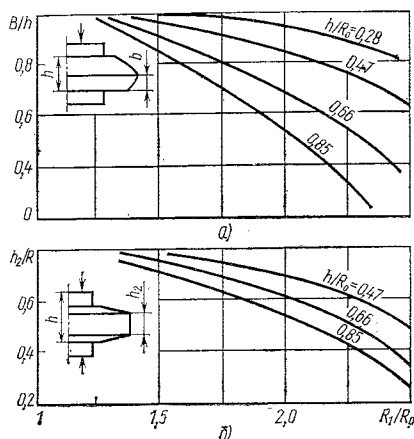
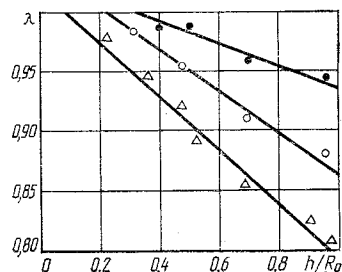


Рис. 6. Характеристика искажений формы фланцев при выдавливании по 2-му (а) и 4-му (б) вариантам

Рис. 7. Степень заполнения круговой полости при радиальном выдавливании по 2-му (○), 4-му (△) и 6-му (●) вариантам



Достаточно удобным и наглядным критерием оценки отклонений формы выдавливаемых утолщений от правильной цилиндрической формы может служить показатель λ , равный отношению выдавленного объема металла к расчетному объему круговой поперечной области, определенному по максимальному диаметру утолщения D_1 (рис. 7). При небольшом относительном утолщении искажения формы незначительны. Для случаев выдавливания с одно- и двусторонней подачей показатель λ существенно снижается при $h/R_0 > 0,5$. Наибольшей степени заполнения круговой полости можно добиться при выдавливании с последовательной двусторонней подачей. В этом случае значение показателя λ определяют по зависимости

$$\lambda = 1,025 - 0,088 h/R_0. \quad (3)$$

При выдавливании с односторонней подачей

$$\lambda = 1,037 - 0,185 h/R_0; \quad (4)$$

при выдавливании с совмещенной двусторонней подачей

$$\lambda = 1,01 - 0,22 h/R_0. \quad (5)$$

Эти данные можно использовать при расчете размеров исходной заготовки, высота которой больше высоты готовой детали на величину рабочего хода S , устанавливаемую по выражению:

$$S = \lambda h (\bar{R}^2 - 1). \quad (6)$$

Схему выдавливания с последовательно-двусторонней подачей можно применить для получения в расширяющейся полости фланцев, утолщенных к периферии.

При односторонней подаче, в случае необходимости получения ступенчатых утолщений, фасонную полость следует предусмотреть со стороны торца нижней полуматрицы. Конические утолщения целесообразно оформлять в полости верхней полуматрицы.

С совмещенной двусторонней подачей металл целесообразно выдавливать в сужающуюся поперечную полость.

Искажение формы фланцев и утолщений можно устранить путем ограничения течения по наружному диаметру, что, однако, сопровождается значительным ростом удельных нагрузок на инструмент и рекомендуется лишь для высокопластичных материалов. Комбинирование радиального выдавливания с высадкой на заключительной стадии (10-й вариант) позволяет получить фланец с плоскопараллельными торцами.

Технико-экономическая эффективность процессов поперечного выдавливания обеспечивается прежде всего сокращением расхода металла и снижением трудоемкости механической обработки резаньем. Коэффициент использования металла повышается в 1,5—2 раза, а время изготовления деталей сокращается на 30—40%.

Список литературы

1. Гусинский В. И. О возможностях процессов холодного прессования // Разработка и исследование технологических процессов ОМД. ЭНИКмаш. Вып. 19. М.: Машиностроение, 1968. С. 45—56.
2. Овчинников А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. М.: Машиностроение, 1983. 200 с.
3. Овчинников А. Г., Дрель О. Ф., Поляков И. С. Штамповка выдавливанием поковок с боковыми отроостками и с фланцами // Кузнечно-штамповочное производство. 1979. № 4. С. 10—13.
4. Богоявленский К. Н., Алиев И. С. Повышение качества деталей, получаемых холодным радиальным выдавливанием // Современные технические и технологические методы повышения качества, надежности и долговечности деталей машин. Кишинев: КПИ им. С. Лазо, 1976. с. 208—213.
5. Алиев И. С., Девченко Л. И., Махмудов К. Д. Повышение качества процессов холодного поперечного выдавливания // Повышение точности в холоднштамповочном производстве. Л.: ЛДНТП, 1981. С. 50—55.
6. А. с. 662223 СССР, МКИ В 21 J5/00. Способ выдавливания металлических изделий.
7. А. с. 778890 СССР, МКИ В 21 J5/12. Способ изготовления изделий.
8. А. с. 795693 СССР, МКИ В 21 J5/00. Способ изготовления изделий радиальным выдавливанием.
9. Пат. 76953 ГДР, МКИ В 21 J5/00.
10. А. с. 638412 СССР, МКИ В 21 J5/08. Способ получения изделий.
11. А. с. 1030081 СССР, МКИ В 21 J5/12. Способ изготовления изделий со ступенчатой боковой поверхностью.
12. Оленин Л. Д. К выбору оптимального варианта получения заготовок под точную объемную штамповку // Повышение точности и качества при штамповке. М.: МДНТП, 1975. С. 72—79.
13. Быков А. И., Митькин А. И. Опыт внедрения и перспективы развития процессов холодной объемной штамповки в автомобилестроении. М.: НИИНАвтопром. 1980. № 2. С. 3—8.
14. А. с. 125726 СССР, МКИ В 21 J5/08. Устройство для высадки головок на стержнях.
15. Одностороннее и двустороннее выдавливание деталей из трубных заготовок / К. А. Кирсанов, В. А. Зимин, Е. А. Ревтова и др. // Кузнечно-штамповочное производство. 1979. № 9. С. 7—9.
16. А. с. 261153 СССР, МКИ В 21 J13/02. Штамп для изготовления деталей с фланцами.
17. А. с. 396159 СССР, МКИ В 21 I5/08. Способ формовки кольцевого утолщения на цилиндрической детали.
18. Кузнецов Д. П., Савушкин Е. Т. Напряженно-деформированное состояние заготовки при холодном поперечном выдавливании // Кузнечно-штамповочное производство. 1974. № 3. С. 5—8.