

М 87 436

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

АБДУЛЛАЕВ ФАТХУЛЛА САГДУЛЛАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАСЧЕТА ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ НА
ОСНОВЕ МЕТОДА ВЕРХНЕЙ ОЦЕНКИ**

**Специальность 05.03.05 – Процессы и машины
обработки давлением**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени доктора
технических наук**

Москва – 1993

Работа выполнена в Ташкентском государственном техническом университете им. А.Р.Беруни.

Официальные оппоненты: Овчинников А.Г., д.т.н., профессор, засл. деятель науки и техники РФ
Гарибов Г.С., д.т.н., профессор, член-корреспондент инженерной академии Армении, лауреат Государственной премии
Абдраимов С.А., д.т.н., профессор, академик Международной инженерной академии

Ведущее предприятие: Узбекский металлургический завод им. В.И.Ленина

Защита диссертации состоится "13" октября 1993 г. на заседании специализированного совета Д053.15.05 при Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат, прошу напечатать, прошу на

С диссертацией
Н.Э.Баумана

Автореферат р

Ученый секретарь
специализированного
с.т.н., д

Подписано в печать
Тир. 100 экз.

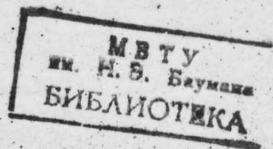
М 87436

Актуальность. Основной задачей в металлообрабатывающей промышленности является изготовление деталей с наименьшими трудозатратами, с наибольшей производительностью и коэффициентом использования металла, причем их качество и физико-механические свойства должны удовлетворять условиям эксплуатации. Для решения этой задачи важное значение имеет кузнечно-штамповочное производство вообще и холодная объемная штамповка (ХОШ) выдавливанием в частности.

Холодная объемная штамповка выдавливанием позволяет получать точные размеры поковки, высокое качество поверхности, сократить, а иногда и полностью исключить обработку резанием, то есть обеспечить энергосберегающую малоотходную или безотходную технологию. Непосредственно в процессах холодной объемной штамповки выдавливанием резервом интенсификации производства является сокращение числа переходов до одного, что может быть обеспечено выдавливанием, являющимся комбинацией различных схем формоизменения заготовки. При этом высвобождается пресовое оборудование и обслуживающий персонал, повышается качество деталей, снижаются энергозатраты и трудоемкость в связи с отсутствием промежуточных отжигов заготовок и подготовки их поверхности под очередные формоизменяющие операции. Сокращение числа переходов также является эффективным путем решения проблемы автоматизации производства. Таким образом, разработка процессов холодной объемной штамповки выдавливанием способствует решению задач по повышению производительности труда за счет интенсивных процессов металлообработки.

Ограничивающим фактором распространения холодной объемной штамповки выдавливанием является необходимость создания высоких удельных сил, превышающих в некоторых случаях в 4 + 6 раз напряжение текучести обрабатываемого материала, отсутствие надежных и, в то же время не требующих применения сложной вычислительной техники рекомендаций по расчету силовых параметров процессов, прогнозированию свойств готового изделия, оценке деформируемости металла.

Существующие методы расчета являются довольно трудоемкими и не всегда доступны инженеру-технологу. Поэтому до настоящего времени технологи пользуются известными аналитическими формула-



ми, полученными для частных случаев, и, следовательно, результаты расчета не всегда достоверно могут быть использованы.

В цеховых условиях требуются такие методы расчета, которые позволили бы без использования дорогой вычислительной техники получить достаточно достоверные результаты при определении энергосиловых параметров процесса, его напряженно-деформированного состояния, браковочных признаков, оценке предельного формоизменения за один переход без разрушения и др.

В связи с указанным назрела проблема разработать метод анализа технологического процесса штамповки, который был бы доступен и понятен инженеру-технологу в цехе и технопро. Таким методом является верхняя оценка деформирующей силы.

Диссертационная работа направлена на развитие метода верхней оценки для решения технологических задач холодной объемной штамповки, в которой используются различные виды (операции) выдавливания.

Работа выполнена в соответствии с Координационным планом НИР ВУЗов СССР по проблеме "Холодная объемная штамповка" приказ № 1342 от 8 декабря 1980 года, программы Государственного комитета по науке и технике № 19-60 от 14.09.90 г.

Цель работы. Разработать научно обоснованные методики расчета технологических параметров при проектировании формоизменяющих операций холодной штамповки, обеспечивающих производство осесимметричных и асимметричных деталей, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками из металлопроката, а также штамповой оснастки для их реализации.

Методы исследования. Теоретические исследования энергосиловых параметров при выполнении формоизменяющих операций выполнены методом верхней оценки, позволяющим с наименьшими затратами времени оценить влияние тех или иных факторов на деформирующую силу, что необходимо для выбора типа и мощности кузнечно-штамповочного оборудования. Экспериментальные исследования силовых параметров, напряженного и кинематического состояния заготовки в условиях различных схем выдавливания проведены путем многофакторных экспериментов. В процессе экспериментов использованы современные методы и измерительная аппаратура.

На защиту выносятся следующие основные результаты работы:

- методика расчета энергосиловых параметров на основе метода верхней оценки для разработки технологий холодной штамповки и оценку ее достоверности;
- методика экспериментально-аналитического определения напряженно-деформированного состояния в условиях нестационарных процессов холодной объемной штамповки, основанную на использовании волокнистой макроструктуры заготовки;
- математические модели, описывающие формоизменение заготовки на различных этапах деформирования при ХОШ выдавливанием;
- математические модели, описывающие зависимости параметров деформированного состояния от геометрических размеров поковки в наиболее опасных точках очага пластической деформации;
- методики проектных расчетов на прочность основных деталей штамповой оснастки и конструкций штампов для холодной штамповки деталей стержневого типа и с фланцами;
- разработанные технологические процессы с использованием указанных формоизменяющих операций в условиях холодной деформации для изготовления стержневых деталей с буртами и фланцами.

Научная новизна. Разработана научно обоснованная методика расчета энергосиловых параметров для разработки новых и существующих технологических процессов холодной штамповки, позволяющая определить кинематическое и напряженное состояние заготовки; при этом учитывается переменность очага пластической деформации при формоизменении;

- разработана экспериментально-аналитическая методика определения деформированного и напряженного состояния по всему объему пластической зоны заготовки, позволяющая определить участки заготовки, в которых исчерпывается ресурс пластичности и тем самым определяется предельное формоизменение за переход (для расчетов предложены зависимости);

- предложена научно обоснованная методика проектирования технологических процессов холодной штамповки деталей осесимметричной и асимметричной форм с помощью разновидностей ХОШ.

Практическая ценность работы состоит в:

- количественном определении эффективности проведения про-

прессов: холодной штамповки выдавливанием деталей с фланцами круглой и п-угольной формы за один технологический переход; холодной штамповки обратным выдавливанием стаканов с гладкими полостями за один переход; холодной штамповки стаканов из листовых заготовок; холодной объемной штамповки выдавливанием оребренных стержней (изготовление поковок типа шестерен с зубом); холодной объемной штамповки выдавливанием утолщений сферических и конических форм за один переход;

- предоставлении возможности инженеру-технологу в производственных условиях оценить энергетические параметры процесса холодной штамповки, оценить возможность формоизменения за один переход, определить силовые характеристики в нестационарных технологических процессах;

- разработке конструкций штамповой оснастки для промышленного применения с использованием (универсального) кузнечно-штамповочного оборудования для разработанных технологических процессов холодного деформирования;

- разработке рекомендаций, которые могут быть использованы при проектировании и выборе параметров новых специализированных кузнечно-штамповочных машин;

- разработке конструкций штампов для промышленного применения на специализированном прессовом оборудовании с использованием холодного комбинированного выдавливания;

- разработанные методики проектирования технологических процессов, включающих формоизменяющие операции, в которых используются различные операции холодного выдавливания; штампы для изготовления ряда деталей (шестерен, фланцев, стаканов и др.) внедрены на предприятиях, а также в учебном процессе МПТУ и ТашПТУ.

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы доложены и обсуждены на I Международной научно-технической конференции по обработке металлов давлением (г.Дьер, ВНР, 1985г.), на Всесоюзных и Республиканских научно-технических конференциях (г.Ташкент, 1981, 1982, 1983, 1984, 1986, 1989, 1990, 1991, 1992 гг.), на научно-технической конференции "Прогрессивные методы обработки металлов давлением" (г.Ереван, 1979 г.), на отраслевом семинаре Минтяжмаша (г.Орск, 1978 г.), 6 научно-технических конфе-

ренциях ТашПИ (1981, 1982, 1983, 1986, 1987, 1988 гг.), на 4 семинарах НТО Машпром Узбекистана. Работа обсуждена и одобрена на кафедре ОМД ТашПТУ имени А.Р.Беруни в 1991 г., на кафедре МТ-6 МПТУ им. Н.Э. Баумана в 1992 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 31 печатная работа.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 разделов и основных выводов; содержит 213 страниц машинописного текста, 155 рисунков и 29 таблиц. Список использованной литературы включает 154 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность, сформулирована цель диссертационной работы, дана общая характеристика исследований, их научное и практическое значение.

1. СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ВЫДАВЛИВАНИЕМ ПОКОВОК И МЕТОДОВ РАСЧЕТА В ОБЩЕМ ЦИКЛЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Дана классификация и общая характеристика объемной штамповки выдавливанием по видам обработки и проведен анализ способов производства заготовок и деталей в условиях холодной, неполной горячей и горячей штамповки.

Рассмотрены актуальные проблемы и пути расширения технологических возможностей и эффективности холодной объемной штамповки выдавливанием.

Проведенные анализ состояния производства осесимметричных и асимметричных деталей позволили заключить, что широкое внедрение высокопроизводительных малоотходных технологических процессов их объемной штамповки выдавливанием ограничено, в частности, отсутствием надежных рекомендаций для разработки расчетных моделей процессов, недостаточным применением схем деформирования, использующих комбинированное выдавливание при ХОШ, а также не-

обходимостью создания для деформирования заготовки высоких удельных деформирующих сил, превышающих в некоторых случаях в 4 ÷ 6 раз напряжение текучести обрабатываемого материала. Это объясняется тем, что с увеличением среднего гидростатического давления (шарового тензора напряжений сжатия) увеличивается сопротивление деформированию. Таким образом характерное для выдавливания увеличение пластичности, связанное с увеличением гидростатического давления, одновременно сопровождается увеличением удельных деформирующих сил, необходимых для реализации пластического деформирования.

В литературе описаны принципиальные схемы основных формоизменяющих операций холодной объемной штамповки, даны рекомендации по расчету технологических параметров процесса, которые дают порой неоднозначные результаты.

Опыт разработки технологических процессов изготовления сложных деталей показывает, что область применения холодной объемной штамповки выдавливанием можно расширить в результате обоснованного выбора последовательного или комбинированного применения основных операций (высадки, прямого, обратного, бокового выдавливания и др.), позволяющим существенно уменьшить силовые характеристики за счет регулирования кинематики течения металла и его напряженного состояния.

Большой вклад в создание научных и практических основ холодной объемной штамповки металлов внесли Артез А.Э., Головин В.А., Георгиев А.М., Дмитриев А.М., Евстратов В.А., Евстифеев В.В., Исаченков Е.И., Навроцкий Г.А., Ланской Е.Н., Овчинников А.Г., Парши В.Г., Попов Е.А., Семенов Е.И., Соловцов С.С., Степанский Л.Г., Фаворский В.Е., Ланге К., Пью Х., Фельдман Х. и другие ученые.

Разработанные ими аналитические и экспериментально-аналитические методы анализа процессов пластической деформации можно применять для решения различных технологических задач холодной объемной штамповки выдавливанием. Однако при выборе методов исследований необходимо учитывать не только их точность и универсальность, но и доступность применения на разных уровнях производства.

Анализ технологических процессов холодной объемной штамповки показал, что:

- холодная объемная штамповка выдавливанием эффективна и

обеспечивает значительную экономию материальных и трудовых затрат;

- наиболее полно раскрываются преимущества холодной объемной штамповки выдавливанием при штамповке на специализированном оборудовании, что предъявляет повышенные требования к технологическим расчетам, поскольку такое оборудование не имеет широкого распространения;

- в результате исследований технологических процессов различными методами получены зависимости, позволяющие для некоторых типов поковок установить силовые параметры процесса холодной объемной штамповки выдавливанием, при этом напряженное состояние заготовки по всему очагу пластической деформации теоретически не изучалось;

- теоретические исследования в большинстве своем касались выдавливания с истечением в боковую полость с постоянным очагом пластической деформации;

- из всего многообразия экспериментальных методов исследований кинематики процессов пластического деформирования наиболее распространенным является метод координатных сеток, однако известные методики, по которым он реализуется имеют недостатки (необходимость использования поэтапного деформирования составных заготовок и т.д.).

Имеющиеся в настоящее время рекомендации не позволяют проводить точные расчеты технологических процессов холодной объемной штамповки выдавливанием. Необходимо более строго описать процесс формоизменения заготовки при ХОШ, определить силовые и энергетические параметры для расчета инструмента и выбора кузнечно-прессового оборудования на основе изучения кинематического, напряженного и деформированного состояния с учетом предельно возможного формоизменения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести теоретическое обобщение методов верхней оценки деформирующей силы и экспериментально-аналитического для расчета силовых и энергетических параметров на основе исследования напряженного и кинематического состояния заготовки в процессе деформирования.

2. Разработать методику определения напряженно-деформированного состояния заготовки экспериментально-аналитическим методом,

основанным на использовании волокнистой макроструктуры в качестве элемента координатной сетки.

3. Изучить закономерности течения металла при холодной объемной штамповке выдавливанием деталей стержневого типа с различными утолщениями.

4. Разработать математические модели холодной объемной штамповки выдавливанием деталей с описанием формоизменения заготовки при деформировании.

5. Исследовать влияние геометрических размеров утолщений и их соотношений на силовые характеристики процесса ХОШ.

6. Разработать несложные и надежные в эксплуатации конструкции штампов, позволяющие на существующем парке оборудования реализовать различные схемы холодной объемной штамповки выдавливанием.

7. Реализовать в промышленном производстве технологические процессы, спроектированные с применением разработанных в диссертации методик, а также разработанных конструкций штампов.

8. Реализовать в учебном процессе методики расчета силовых и энергосиловых параметров на основе метода верхней оценки деформирующей силы.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа силовых параметров процессов ХОШ выдавливанием выбран метод верхней оценки. Хотя по своей сути это приближенный метод решения задач теории пластической деформации, однако важным преимуществом его является удобство для оценки инженером-технологом в производственных условиях силовых и энергетических параметров в нестационарных технологических процессах, выявления поля скоростей течения в комбинированных процессах ХОШ выдавливанием.

В настоящее время основные положения метода верхней оценки убедительно обоснованы в работах отечественных и зарубежных ученых. Записана теорема Клайперона при тензорном представлении напряженного и кинематического состояния заготовки, при этом принята модель жестко-пластического тела. В модели идеально жестко-пластического тела неизбежны разрывы полей напряжений и скоростей, в связи с этим приведено обобщение энергетического уравнения для разрывных полей.

В качестве метода определения параметров кинематического,

деформированного и напряженного состояния принят экспериментально-аналитический метод координатных сеток, восстанавливаемых по волокнистой макроструктуре, а также метод замера твердости, фото-регистрации наружного контура и тензометрирования.

Определение деформированного и напряженного состояния проводилось на основе теории пластического течения, которое подразумевает наблюдение за ячейками координатной сетки в любой момент процесса формоизменения, что практически невозможно реализовать при исследовании внутренних точек. Поэтому это условие выполнялось приближенно, т.е. кинематические параметры течения металла определялись из конечно-разностных формул, рассматривая формоизменение образцов поэтапно и фиксируя на каждом достаточно малом этапе перемещения узлов координатной сетки.

При исследовании формоизменения методами ХОШ осесимметричных заготовок была разработана методика использования волокнистой макроструктуры заготовки в качестве границ ячеек делительной сетки. Основными допущениями принимались условие постоянства объема материала и неизменность расстояния между волокнами в недеформированной части заготовки. Задавая высоту элемента между двумя волокнами на границе очага деформации в недеформированной части заготовки, восстановление положения второго семейства линий сетки производилось с использованием второй теоремы Гольдена и условия несжимаемости.

Для разработки алгоритма вычисления координат узлов координатной сетки формы волокон аппроксимировались отрезками прямых линий.

Таким образом предложены методика и алгоритм вычисления координат узлов произвольной ячейки. На основании алгоритма реализована программа счета на ЭМ.

Для исключения случайных погрешностей при определении координат узловых точек проводилось сглаживание значений координат с учетом условия несжимаемости, записанного в виде уравнения, связывающего текущие и начальные координаты.

После определения координат узловых точек на всех этапах деформирования определяли компоненты скоростей деформации. В качестве параметра, по которому определялись производные, было выбрано перемещение пуансона при постоянной скорости его движения.

Производные определялись с помощью конечно-разностных формул. Накопленные отепени деформации находились интегрированием интенсивностей скоростей деформации.

Компоненты скоростей деформации на i -этапе формоизменения для точки с координатами $\rho(i,j)$, $z(i,j)$

$$\xi_r = \frac{1}{2} (\sigma_r \beta)' \sin 2\varphi_2 - \frac{\sigma_z}{2} (\cos 2\varphi_2 - \sigma_r \beta \sin 2\varphi_2) - \\ - \frac{1}{2} \frac{\rho'}{\rho} (1 - \sigma_r \beta \sin 2\varphi_2 + \cos 2\varphi_2);$$

$$\xi_\theta = \frac{\rho'}{\rho};$$

$$\xi_z = \frac{1}{2} (\sigma_r \beta)' \sin 2\varphi_2 + \frac{\sigma_z}{2} (\cos 2\varphi_2 - \sigma_r \beta \sin 2\varphi_2) - \\ - \frac{1}{2} \frac{\rho'}{\rho} (1 + \sigma_r \beta \sin 2\varphi_2 - \cos 2\varphi_2);$$

$$\gamma_{rz} = (\sigma_r \beta) \cos 2\varphi_2 - \left(\frac{2\sigma_z}{a} + \frac{\rho'}{\rho} \right) \sin 2\varphi_2 + \sigma_r \beta \cos 2\varphi_2;$$

При исследовании напряженного состояния сначала было найдено частное решение, соответствующее каждому уравнению равновесия, а затем рассмотрено построение согласованного статистически допустимого поля напряжений, которое принято так искомым.

В результате получены зависимости для определения компонент тензора напряжений по выражениям:

$$[G]_{ij} = [(G_\theta - G)_{ij} + (G_z + G_r)_{ij}] / 2;$$

$$(G_z)_{ij} = (G_z - G)_{ij} + (G)_{ij};$$

$$(G_r)_{ij} = (G_r - G)_{ij} + (G)_{ij};$$

$$(G_\theta)_{ij} = (G_\theta - G)_{ij} + (G)_{ij}.$$

Сглаживание поля напряжений проводилось в лагранжевых координатах, для чего использована локальная система лагранжевых координат в окрестности центральной узловой точки с начальными координатами κ_j , z_j . При построении согласованного статистически допустимого поля напряжений в процессе сглаживания учитывались уравнение равновесия и условие пластичности.

Расчет напряженного состояния и построение оптимального статически допустимого поля напряжений проводились на ЭЭМ.

Напряженно-деформированное состояние также исследовалось путем сочетания метода измерения твердости и определения деформаций по волокнуистой микроструктуре.

3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ ПРИ РЕШЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ ТЕОРЕМЫ О ВЕРХНЕЙ ОЦЕНКЕ

Принимая во внимание характер течения и формоизменения проведена классификация операций ХОШ выдавливанием, выбраны схемы к анализу процессов, приведен вывод теоретических формул, которые позволяют определить энергосиловые параметры для различных операций ОМД.

1. При осесимметричном течении — осадка цилиндрической заготовки, осадка кольца, обратное выдавливание (стакан с внутренним отростком и без него), прямое выдавливание и вхождение в конической матрице, штамповка поковки типа конических шестерен, выдавливание радиального бурта на цилиндрическом стержне, высадка фланца на цилиндрическом стержне, выдавливание бурта и высадка фланца на подем цилиндрическом стержне.

2. При плоскодеформированном течении — течение в клиновую матрицу.

3. При асимметричном течении — штамповка радиальным выдавливанием поковки типа стержня с ребрами, штамповка поковки шестерни с зубом, штамповка болта с шестигранной головкой.

Определение энергосиловых и кинематических процессов осуществлялось с помощью так называемого метода верхней оценки для жестко пластического тела с допущениями, которые приняты в работах Куде Х., Овчинникова А.Г. и других ученых.

Примерами решения технологических задач могут служить:

ОБРАТНОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ СТАКАНОВ С ВНУТРЕННИМ ОТРОСТКОМ. Одновременно при выдавливании тонкостенных стаканов с целью уменьшения удельной деформирующей силы целесообразно часть металла изпод торца пуансона выдавливать во внутренний отросток. В этом случае, металл, вытекающий из очага пластической деформации для оформления стенки стакана, будет испытывать меньшее гидростати-

ческое давление, что приводит к существенному уменьшению удельной деформирующей силы. Благодаря чему возможность процесса и стойкость пуансонов существенно возрастают.

Согласно схеме (рис. I) течение металла в очаге пластической деформации под торцем пуансона будет происходить как показано стрелками. В части заготовки под торцем пуансона, определяемом поверхностями радиусов r_1 и r_2 будет расположена цилиндрическая поверхность, определяемая радиусом r_0 , на которой радиальная составляющая скорости течения металла равна нулю ($v_r = 0$).

Учитывая характер течения очага пластической деформации (рис. I) целесообразно представить в виде трех областей. I область центральная ограничена радиусом r_0 (поверхность внутреннего отростка. II область расположена непосредственно под торцем пуансона I (определена поверхностями радиусов r_1 и r_2). III область определена поверхностью пуансона и внутренней поверхностью матрицы (радиусы r_2 и R). Остальная часть заготовки не деформируется в процессе выполнения технологической операции. Поскольку не учитываются упругие деформации (рассматривается жесткопластичное тело), то металл в этих областях испытывает переносное движение или неподвижен.

Для определения верхней оценки деформирующей сил рассмотрена кинематика течения и выбраны кинематически возможные поля скоростей течения.

Область I. Кинематически возможные поля скоростей течения заданы выражениями

$$\begin{aligned} v_r^* &= -\frac{A_1}{2} r; & v_z^* &= A_1 z; \\ A_1 &= -\frac{V}{h} \left(r_1 - \frac{r_0^2}{r_1} \right). \end{aligned} \quad (I)$$

Поля скоростей (I) являются кинематически возможными, поскольку удовлетворяют граничным условиям и условию постоянства объема.

Кинематически возможные скорости деформации

$$\begin{aligned} \xi_r^* &= \frac{V}{2h} \left(r_1 - \frac{r_0^2}{r_1} \right); & \xi_z^* &= \frac{V}{h} \left(\frac{r_0^2}{r_1} - r_1 \right); \\ \xi_\theta^* &= \frac{V}{2h} \left(r_1 - \frac{r_0^2}{r_1} \right); & H^* &= \frac{\sqrt{3} V}{h} \left(\frac{r_0^2}{r_1} - r_1 \right). \end{aligned} \quad (2)$$

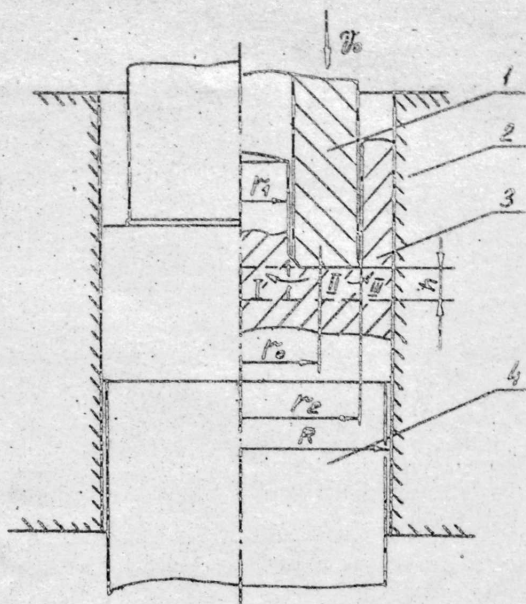


Рис. I. Схема процесса обратного выдавливания стаканов
с внутренними отростками

1 - пуансон, 2 - матрица, 3 - заготовка,
4 - выталкиватель

Область II. Кинематически возможная скорость течения задана выражением

$$V_r^* = A_2 \left(r - \frac{r_0^2}{r} \right). \quad (3)$$

Из условия постоянства объема следует:

$$\begin{aligned} V_z^* &= -V_r^* \frac{r}{z}; \\ V_r^* &= \frac{V_0}{2h} \left(r - \frac{r_0^2}{r} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Кинематически возможные скорости деформации

$$\begin{aligned} \xi_r^* &= \frac{V_0}{2h} \left(1 + \frac{r_0^2}{r^2} \right); \\ \xi_z^* &= -\frac{V_0}{2h} \left(1 - \frac{r_0^2}{r^2} \right); \\ \xi_\theta^* &= -\frac{V_0}{h}; \\ H^* &= \frac{V_0}{h} \sqrt{\frac{r_0^2}{r^2} + 3}. \end{aligned} \quad (5)$$

Область III. Кинематически возможное поле скоростей течения представлена выражениями

$$V_z^* = A_3 z; \quad V_r^* = \frac{A_3}{2} \left(\frac{R^2}{r} - r \right). \quad (6)$$

Выражение для V_r^* удовлетворяет граничному условию на внутренней поверхности матрицы $V_r^* = 0$ при $r = R$.

Значение коэффициента A_3 находится из условия неразрывности составляющих скорости течения V_r^* на границе II и III областей при

$$r = r_2.$$

Кинематически возможные скорости течения и скорости деформации с учетом значения v_3 будут

$$\begin{aligned} V_z^* &= \frac{V_0}{h} \frac{(r_2^2 - r_0^2)}{(R^2 - r_1^2)} z; \\ V_r^* &= \frac{V_0}{2h} \frac{(r_2^2 - r_0^2)}{(R^2 - r_1^2)} \left(\frac{R^2}{r} - r \right); \\ \xi_r^* &= -\frac{V_0}{2h} \frac{(r_2^2 - r_0^2)}{(R^2 - r_1^2)} \left(\frac{R^2}{r^2} + 1 \right); \end{aligned} \quad (7)$$

$$\xi_0^* = \frac{V_0}{2k} \frac{(r_2^2 - r_0^2)}{(R^2 - r_2^2)} (R^2 - 1);$$

$$\xi_2^* = \frac{V_0}{k} \frac{(r_2^2 - r_0^2)}{(R^2 - r_2^2)};$$

$$H^* = \frac{V_0}{k} \frac{(r_2^2 - r_0^2)}{(R^2 - r_2^2)} \sqrt{\frac{R^2}{r_2^2} + 3}.$$

Верхняя оценка деформирующей силы определена из уравнения

$$\begin{aligned} \int_{F_0} x_i v_i dF \leq \varepsilon_3 \int_V H^* dV - \int_F x_i v_i^* dF + \varepsilon_3 \int_F (v_i^{**} \pm v_i^{*-}) dF \\ \frac{q}{\varepsilon_3} \leq \frac{\sqrt{3}}{r_2^2 - r_1^2} \left\{ (r_2^2 - r_1^2) + \frac{2}{3\sqrt{3}} \sqrt{9(r_2 - r_1) + \frac{r_0^4(r_2^3 - r_1^3)}{r_2^3 r_1^3}} (r_2^3 - r_1^3) \right. \\ \left. + \frac{2}{3\sqrt{3}} \sqrt{8R + \frac{R^2}{r_2^3} - 9r_2} (R^2 - r_2^3) \frac{r_2^2 - r_0^2}{(R^2 - r_2^2)} + \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{r_1(r_2^2 - r_1^2)}{k} + \right. \\ \left. + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{r_0^2 h}{r_1} + \frac{(1+\psi)}{3\sqrt{3}h} [4r_0^3 - 3r_0^2(r_2 + r_1) + r_2^3 + r_1^3] + \right. \\ \left. + \frac{r_2 h (R^2 - r_0^2)}{\sqrt{3} (R^2 - r_2^2)} + \frac{2(r_2^2 - r_0^2)}{3\sqrt{3}h (R^2 - r_2^2)} (2R^3 - 3R^2 r_2 + r_2^3) + \right. \\ \left. + \frac{\psi R h (r_2^2 - r_0^2)}{\sqrt{3} (R^2 - r_2^2)} \right\} \quad (8) \end{aligned}$$

В выражении (8) неизвестными остаются высота очага пластической деформации h и положение нейтральной поверхности, определяемой радиусом r_0 (разделение радиальной составляющей скорости течения к оси и от оси). Для их определения пользовались минимизацией удельной деформирующей силы (мощности).

Предложенная методика расчета удельной деформирующей силы для обратного выдавливания стакана с отростком является обобщением, поскольку она пригодна для выдавливания стакана без отростка ($r_1 = 0$ и $r_2 = 0$), для выдавливания прутка (при $\bar{r}_2 = \bar{R}$; $\bar{r}_0 = 1$).

ШТАМПОВКА ВЫДАВЛИВАНИЕМ ПОКОВКИ КОНИЧЕСКОЙ ШЕСТЕРНИ. Характер течения металла в условиях радиального выдавливания в коническую полость установлен на основе экспериментальных исследований и производственного опыта.

Заполнение конической полости штампа разбить на два этапа. Первый этап представлен в виде двух областей: в первой - конической - можно наблюдать радиальное течение, а во второй - цилиндрической - высадку (рис. 2а). Первый этап заканчивается после истечения металла из второй области.

На втором этапе также очаг пластической деформации представлен в виде двух областей (рис. 2б).

Найдем верхнюю оценку удельной деформирующей силы на каждом этапе штамповки.

Этап I. Кинематически возможные поля скоростей течения в первой области задаем выражениями

$$V_r^* = V_0 \frac{r_1^2}{r^2} \cos \varphi ; \quad V_\varphi^* = V_0 = 0, \quad (9)$$

которые удовлетворяют граничным условиям $V_r^* = V_0 \cos \varphi$ при $r = r_1$. При этом тангенциальная скорость течения на верхней границе имеет разрыв скорости течения сдвига $V_\varphi^* = -V_0 \sin \varphi$.

Скорости деформации и интенсивность скоростей деформации сдвига

$$\xi_r^* = -V_0 \frac{2r_1^2}{r^3} \cos \varphi ;$$

$$\xi_\varphi^* = \xi_\theta^* = V_0 \frac{r_1^2}{r^3} \cos \varphi ;$$

$$\eta_{r\varphi}^* = -V_0 \frac{r_1^2}{r^3} \sin \varphi ; \quad (10)$$

$$H^* = V_0 \frac{r_1^2}{r^3} \sqrt{12 \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi}. \quad (11)$$

Во второй области поля скоростей течения принимаются в цилиндрической системе координат в виде

$$V_r^* = V_0 \frac{r_1^2}{R^2} \frac{R}{2h} ; \quad V_z^* = -V_0 \frac{r_1^2}{R^2} \frac{z}{h}. \quad (12)$$

В этом случае кинематически возможные скорости деформации и интенсивности скоростей деформации сдвига будут

М84436

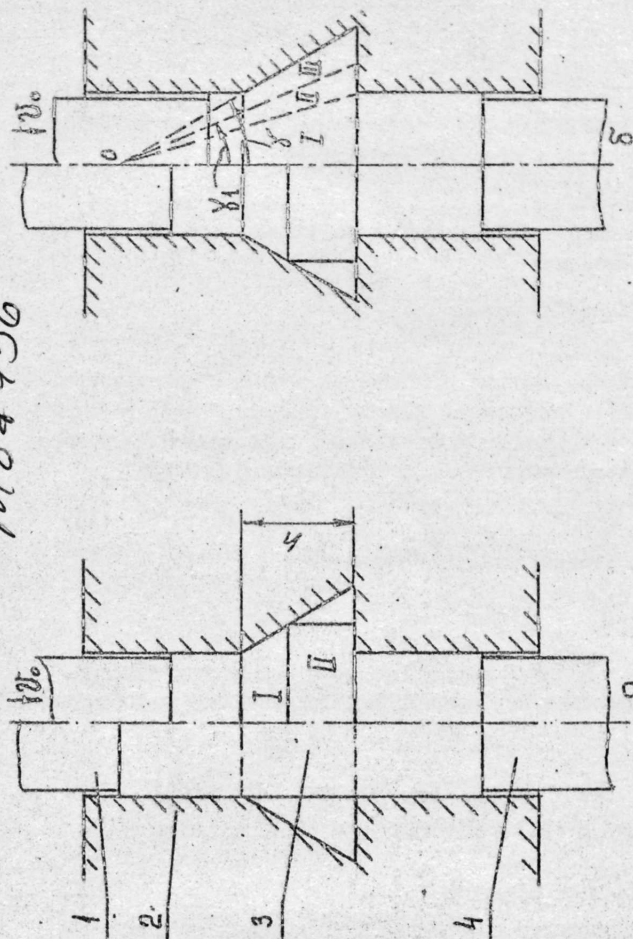


Рис. 2. Шаблонка поковки типа конической шестерни.

а) Первый этап. I и II области пластической деформации

б) Второй этап. I, II и III области пластической деформации

I - пуансон, 2 - разъемная матрица, 3 - заготовка, 4 - направляющие

$$\xi_{\varphi}^* = \xi_r^* = v_0 \frac{r_1^2}{R^2} \cdot \frac{1}{2h} ;$$

$$\xi_z^* = -v_0 \frac{r_1^2}{R^2} \cdot \frac{1}{h} ;$$

$$H^* = 3v_0 \frac{r_1^2}{R^2} \cdot \frac{1}{h} . \quad (13)$$

На втором этапе очаг пластической деформации представляем в виде двух областей.

В первой области кинематически возможные скорости течения определены выражениями

$$v_r^* = v_0 \frac{r_1^2}{R^2 - r_1^2} \left(\frac{R^2}{r^2} - r \right) \cos \varphi . \quad (14)$$

Из обобщенного условия постоянства объема с использованием (14) найдено v_{φ} в результате решения следующего дифференциального уравнения приведением к однородному с разделяющимися переменными с использованием вариации произвольной функции

$$-3v_0 \frac{r_1^2}{R^2 - r_1^2} \cos \varphi + \frac{1}{r} \frac{\partial v_{\varphi}^*}{\partial \varphi} + \frac{v_{\varphi}^*}{r} \operatorname{ctg} \varphi = 0 . \quad (15)$$

Для этого вначале решается уравнение

$$\frac{1}{r} \frac{\partial v_{\varphi}^*}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} v_{\varphi}^* \operatorname{ctg} \varphi = 0 ; \quad r \neq 0$$

поэтому

$$\frac{\partial v_{\varphi}^*}{\partial \varphi} = -v_{\varphi}^* \operatorname{ctg} \varphi .$$

После разделения переменных, интегрирования и преобразования получится

$$v_{\varphi}^* = \frac{C}{\sin \varphi} , \quad \text{где } C = C(r) \quad (16)$$

Дифференцируя (16) и подставляя в (15), получим

$$v_{\varphi}^* = \frac{3}{2} \frac{r_1^2 r}{R^2 - r_1^2} \cdot \sin \varphi \quad (17)$$

Определив скорости деформаций и интенсивность скоростей деформаций в виде

$$\xi_r^* = -v_0 \frac{r_1^2}{R^2 - r_1^2} \left(\frac{2R^2}{r^3} + 1 \right) ; \quad (18)$$

$$\xi_{\varphi}^* = v_0 \frac{r_1^2}{R^2 - r_1^2} \left(\frac{R^2}{r^3} + \frac{1}{2} \right) ;$$

$$\xi_r^* = v_0 \frac{r_1^2}{R^3 - r_1^3} \left(\frac{R^3}{r_1^3} + \frac{1}{2} \right) \cos \varphi ;$$

$$\eta_{r\varphi}^* = -v_0 \frac{r_1^2}{R^3 - r_1^3} \left(\frac{R^3}{r_1^3} - 1 \right) \sin \varphi ;$$

$$H^* = v_0 \frac{r_1^2}{R^3 - r_1^3} \sqrt{\left(12 \frac{R^6}{r_1^6} + 3 \right)^2 \cos^2 \varphi + \left(\frac{R^3}{r_1^3} - 1 \right)^2 \sin^2 \varphi}.$$

Находим верхнюю оценку удельной деформирующей силы:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma}{\sigma_s} = & \frac{1}{10(R^3 - r_1^3) \sin^2 \gamma} \sqrt{\left[(3R^3 + 12 \frac{R^5}{r_1^5} - 15r_1^3)(2\gamma - \sin 2\gamma) + \frac{R^6}{r_1^6} - \right. \\ & \left. - R + 5 - 5 \frac{R^3}{r_1^3} \right) (2\gamma - \sin 2\gamma) \right] (R^5 - r_1^5) (2\gamma - \sin 2\gamma) + \\ & + \frac{3(2\gamma - \sin 2\gamma)}{4(R^3 - r_1^3) \sin^2 \gamma} + \frac{3\psi R^3 (2\gamma - \sin 2\gamma)}{4(R^3 - r_1^3) \sin^2 \gamma} + \frac{\sin 2\gamma}{(R^2 - 1) \sin^2 \gamma} \\ & \cdot \left[R^3 \left(\ln R - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{3} \right] + \frac{\psi \sin 2\gamma}{(R^2 - 1) \sin^2 \gamma} \left[R^3 \left(\ln R - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{3} \right] \end{aligned} \quad (19)$$

ТЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛА В КЛИНОВОЙ МАТРИЦЕ. Поле скоростей определено следующими выражениями:

$$v_r^* = -\frac{C}{r} ; \quad v_\varphi^* = v_\theta^* = 0.$$

Скорости деформаций γ инвариантность угловых скоростей деформаций (сдвига):

$$\xi_r^* = -\xi_\varphi^* = v_0 \frac{r_1^2}{r^2} \cos \varphi ;$$

$$\eta_{r\varphi}^* = \frac{1}{r} \frac{\partial v_r^*}{\partial \varphi} = v_0 \frac{r_1^2}{r^2} \sin \varphi ;$$

$$H^* = \frac{v_0 r_1^2}{r^2} \sqrt{3 \cos^2 \varphi + 1}.$$

Верхняя оценка деформирующей силы:

$$\frac{\sigma}{\sigma_s} = \frac{1}{\sin \gamma} \ln \left(\frac{r_1}{r} \right) \sqrt{\frac{1}{2} \left(3\gamma + \frac{1}{2} \sin 2\gamma \right)} + \frac{\psi}{\sin \gamma} \ln \left(\frac{r_1}{r} \right) + \frac{2}{\sin \gamma} (1 - \cos \gamma). \quad (20)$$

Выражение можно использовать при определении удельной деформирующей силы при прямом выдавливании через клиновую матрицу, а также для определения деформирующих сил и энергетических параметров в технологических процессах, в которых прямое выдавливание используют для затекания металла в клиновые полости, например, при штамповке шестерен с зубьями в закрытых штампах.

ШТАМПОВКА РАДИАЛЬНЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ ПОКОСКИ ТИПА СТЕРЖНЯ С РЕБРАМИ. Пластическая деформация сосредоточена в поперечном сечении стержня, описываемого радиусом r_z . Металл выдавливается в поперечном направлении в боковые щели, высотой h . Все поперечное сечение можно разбить на участки. Кинематика течения в этих участках идентична и каждый участок содержит 2 области. Металл, выдавленный в щель и образовавший ребро, в дальнейшем деформируется (рис. 3).

В области I кинематически возможные составляющие скоростей течения принимаются в виде

$$v_z^* = -v_0 \frac{z}{h}; \quad v_\varphi^* = v_0 \frac{r\varphi}{h}.$$

Скорости деформаций и интенсивность скоростей деформаций (сдвига)

$$\xi_r^* = 0; \quad \xi_\varphi^* = \frac{v_\varphi}{h};$$

$$\xi_z^* = -\frac{v_z}{h}, \quad H^* = 2 \frac{v_0}{h}.$$

В области II поле скоростей течения

$$v_z^* = -v_0 \frac{z}{h}; \quad v_\varphi^* = \frac{v_0}{h} \frac{r\varphi^3}{j^3 - j_1^3} (1 - \frac{\varphi^3}{j^3}) r \quad (2I)$$

Выбранные согласно (2I) скорости течения удовлетворяют граничным условиям при $z = 0$; $z = h$; $\varphi = j_1$; $\varphi = j$ и при $r = 0$.

Скорость течения в радиальном направлении определится из условия постоянства объема

$$v_r^* = \frac{v_0}{2h} (3 \frac{j_1 \varphi^2}{j^3 - j_1^3} + 1) r.$$

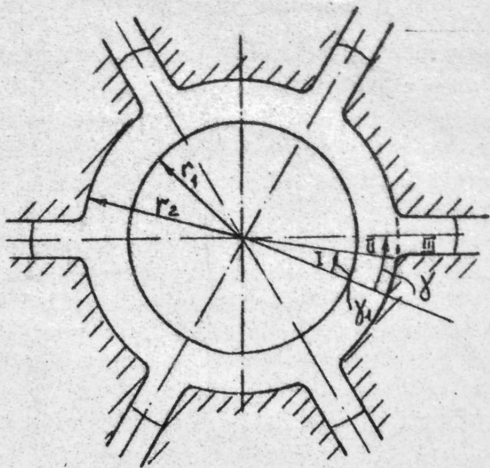


Рис. 3. Выдавливание оребренных деталей

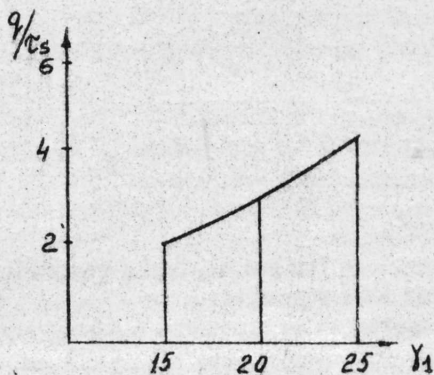


Рис. 4. Верхняя оценка для штамповки выдавливанием оребренных стержней

Кинематически возможные скорости деформации и интенсивности скоростей деформации сдвига будут

$$\begin{aligned}\xi_r^* &= \frac{V_0}{2h} \left(3 \frac{\delta_1 \varphi^2}{y^3 - y_1^3} + 1 \right); \\ \xi_\varphi^* &= -\frac{3}{2} \frac{V_0}{h} 3 \frac{\delta_1 \varphi^2}{(y^3 - y_1^3)} + \frac{1}{2}; \\ \xi_z^* &= -\frac{V_0}{h}; \\ \eta_{r\varphi}^* &= 3 \frac{V_0 \delta_1 \varphi}{h(y^3 - y_1^3)};\end{aligned}\quad (22)$$

$$H^* = 3 \frac{V_0}{h} \sqrt{\frac{\delta_1^2}{(y^3 - y_1^3)^2} (\varphi^2 - \varphi^2) + \frac{1}{3}}.$$

Тогда верхняя оценка удельной деформирующей силы определяется

$$\begin{aligned}\frac{q}{2s} &= \frac{2F_1}{F} + 3 \frac{r_1^2}{2F} \sqrt{\frac{\delta_1^2}{(y^3 - y_1^3)^2} \left[(y^5 - y_1^5) - \frac{1}{3} (y^3 - y_1^3) + \frac{1}{3} (y - y_1) \right] (y - y_1) +} \\ &+ \frac{r_1^2}{2F} y_1 + \psi \frac{r_1^3 \delta_1^2}{3hF} + \frac{\psi_0 r_1^2}{3hF} \sqrt{\frac{r_1^2 [y^6 (y - y_1) + \frac{1}{3} (y^2 - y_1^2) - \frac{2}{3} y^3 (y^2 - y_1^2)]}{(y^3 - y_1^3)^2} +} \\ &+ \frac{1}{4} \left[9 \frac{r_1^2}{(y^3 - y_1^3)^2} (y^2 - y_1^2) \frac{1}{3} + (y - y_1) + \frac{6 r_1 (y^3 - y_1^3)}{3 (y^3 - y_1^3)} \right] (y - y_1) + \frac{r_1}{Fh}. \\ &\sqrt{\frac{[r_1^2 y^2 (y - y_1) - \frac{1}{3} (y^2 - y_1^2)] h r_1^2 + \frac{h^3}{3} (y - y_1) h (y - y_1) + \psi \frac{r_1^2}{Fh}}{(y^3 - y_1^3)^2}} \\ &\cdot \sqrt{\left(\frac{r_1}{3} r_1^2 h + \frac{h^3}{3} \right) y_1 h}.\end{aligned}\quad (23)$$

Анализ (23) показывает (см. рис. 4), что с увеличением y_1 удельная деформирующая сила возрастает.

Данные анализа других задач приведены в диссертации.

4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВКИ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА

В работе проводилась оценка энергосиловых параметров, напряженно-деформированного состояния и оценка ресурса пластичности.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Силовые параметры процессов при работе на испытательных машинах регистрировались с помощью их штатных силоизмерителей. При штамповке на прессах и определении отдельных составляющих рабочих усилий (усилия распора, усилия трения и др.) использовалось тензометрирование. Для замера деформаций внутри образца и определения границ очага деформации использовались метод координатных сеток (сетка ортогональная) и разработанный автором метод определения деформаций по искажению макроструктуры заготовок. Для исследования напряженно-деформированного состояния наряду с методами тензометрирования и сеток использовался метод замеров твердости. С его помощью определялись локальные очаги деформаций и зоны максимальных деформаций. Внешнее формоизменение заготовки при радиальном выдавливании фиксировалось методом фоторегистрации.

ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА, АППАРАТУРА. Экспериментальная работа проводилась на прессах марок ФА 1732, ПБ-476, КОО34; испытательных машинах УИМ-50, УИМ-100 и разрывной машине МР-0,5. Использована следующая измерительная и регистрирующая аппаратура и устройства: усилитель ЗАНЧ, осциллограф К 12-22, двухкоординатный микроскоп ДИП-1, динамометры на 25 и 100 тс, твердомер ХР-250.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. Эксперименты проводили на заготовках из сплавов алюминия АД0, АД1, АМц, Д16, АК6 и др., меди М1, сталей 20, 45, ст.3, свинца С2. Последний материал позволял моделировать формоизменение в процессе штамповки выдавливанием.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. Для описания экспериментальных результатов по формоизменению заготовок в процессе деформирования при радиальном выдавливании использовался метод наименьших квадратов. С его помощью устанавливали зависимость относительных геометрических размеров фланцев и их элементов в зависимости от относительной высоты фланца.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВКИ ПО ИСКАЖЕНИЮ МАКРОСТРУКТУРЫ включала в себя:

- а) отбор заготовок;
- б) деформирование заготовок;
- в) изготовление продольных шлифов;
- г) травление шлифов с целью выявления макроструктуры;
- д) обработка экспериментальных данных.

Обработка экспериментальных данных включала в себя целый ряд процедур, основанных на использовании объемных соотношений, сглаживание и расчет напряжений.

Обработка и расчеты напряженно-деформированного состояния проводились с использованием ПЭВМ.

ОЦЕНКА РЕСУРСА ПЛАСТИЧНОСТИ проводилась по методике Г.А.Смирнова-Аляева. Данные для расчета брались из результатов исследования напряженно-деформированного состояния по искажению макроструктуры и сопоставлялись с результатами, полученными по замеру твердости.

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА. Для сокращения количества опытов проводилось планирование эксперимента. Количество уровней варьирования зависит от параметра и колеблется от 2 (при определении β_5) до 4 (изменение формы фланца).

ДОСТОВЕРНОСТЬ полученных данных подтверждается количеством выполненных экспериментов (от 3 до 5...8 на точку), высокой схожимостью результатов и широким ассортиментом использованных материалов заготовки, использованием современного оборудования и аппаратуры.

5. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХОШ.

Даны рекомендации по проектированию технологических процессов и штамповой оснастки, показана последовательность проектирования технологического процесса. Приводятся режимы предварительной обработки заготовок для подготовки металла к ХОШ выдавливанием. Предложена последовательность расчета силовых параметров, параметров деформированного состояния, выбора кузнечно-прессового оборудования. Дано решение проблем обеспечения равенственности при штамповке полых изделий. Приводится блок-схема последовательности разработки технологического процесса ХОШ на примере комбинированного выдавливания за один или несколько переходов осесимметричных деталей.

Рассматривается опыт использования предложенной методики для разработки процессов радиального выдавливания на кривошипном прессе двойного действия КООЗ4 и на дугостаторном прессе ФА 1732.

6. РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ХОШ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

По результатам исследований предложена конструкция штампа для обратного выдавливания цилиндрических стаканов. В процессе выдавливания металл вытекает в кольцевой зазор между пуансоном и матрицей, которые перемещаются с одинаковой скоростью. При этом из-за наличия конуса на торце пуансона, происходит раздача заготовки, вызывающая уменьшение сжимающих напряжений и тем самым снижающая усилие деформирования, что непосредственно ведет к повышению стойкости инструмента.

В результате теоретического и экспериментального анализа разработан технологический процесс штамповки деталей "обойма" и "муфта". Разработаны варианты конструкций производственного блока-штампа, позволяющего проводить штамповку различных типоразмеров названных деталей. Выдавливание по схеме закрытой прошивки с противодавлением позволило получить снижение величины нагрузки примерно на величину напряжения текучести.

Проведенные исследования позволили оптимально спроектировать технологический процесс изготовления детали "поддон" из заданного по механическим характеристикам гранулированного алюминиевого сплава О1969. С соблюдением расчетных параметров отштампована партия деталей, удовлетворяющая предъявленным требованиям. Предложенный способ штамповки более перспективен с точки зрения снижения трудоемкости.

Предложены конструкция и схема штампа для выдавливания поковок типа сдвоенных стаканов, в которых из-за последовательного заполнения полостей штампа в условиях двухканального течения обеспечивается возможность штамповки при наименьших деформирующих усилиях.

Одной из технологических схем, позволяющих производить требуемые формоизменения при приложении меньших деформирующих сил (примерно в 1,5 раза меньше удельного усилия обратного выдавливания), чем в применяемых технологических процессах, является прямое выдавливание совмещенное с раздачей на коническом пуансоне, что является рациональным сочетанием технологических операций выдавливания и раздачи. Предложенная схема штамповки обеспечивает условие извлечения детали из матрицы и оставления ее на пуансоне, что позволяет увеличить стабильность процесса выдавли-

вания при отсутствии выталкивателя.

Разработанный на основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований технологический процесс комбинированного выдавливания и штамповая оснастка с применением разработанных схем реализован на дугостаторном прессе (предприятие ПО "Геологоразведка").

В результате реализованы технологический процесс и штамповая оснастка для выдавливания деталей из алюминиевых сплавов на модернизированном дугостаторном прессе двойного действия ФА 1732, завода "Знамя Революции".

Изготовление деталей с использованием разработанных рекомендаций на Узбекском металлургическом заводе г. Бекабад, предприятии п/я В-8870, ПО "ТТЗ", Ургенском заводе кормоуборочных машин показало достаточную надежность и эффективность рекомендаций.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработанные в диссертации научно-обоснованные технологические и технические решения, заключающиеся в разработке обобщенной методики расчета напряженно-деформированного и кинематического состояния заготовки и верхней оценки энергосиловых параметров процесса для условий плоского, осесимметричного и асимметричного напряженного состояний, позволяет ускорить научно-технический прогресс в отраслях кузнечно-штамповочного производства (холодная объемная штамповка, неполная горячая штамповка и др.), выражающийся в ускорении проектирования технологических процессов, повышении стойкости рабочего инструмента, улучшения качества изделий и снижении мощности используемого оборудования.

2. Разработанный метод явился основой для расчета кинематического, деформированного и напряженного состояния в различных процессах холодной штамповки. Исследовано формоизменение и заполнение полости штампа при обратном выдавливании стакана с внутренними отрезками в условиях прямого выдавливания и волочения при выдавливании через клиновую матрицу, при штамповке обретенных деталей, конических буртов на стержнях, при штамповке конических шестерен, многогранников и других изделий сложной формы. Сравнение результатов расчетов и экспериментальных данных на широкой номенклатуре изделий разных типов показало высокую сходимость. Экспериментами установлено, что формоизменение заготовок значительно

зависит от формы, соотношения размеров штампуемых изделий, неоднородности пластических свойств заготовки, а также от вида обрабатываемого материала.

3. В развитие экспериментально-аналитического метода определения деформаций разработанная для частных случаев методика определения напряжений на контактных поверхностях заготовки и инструмента, позволяет с достаточной для практики точностью сформулировать граничные условия для расчета натягов для многобандажных матриц, а также расчетов на прочность с учетом механических характеристик материалов матрицы и бандажных колец.

4. Составленные математические модели, алгоритмы и программы расчета энергосиловых параметров процессов штамповки выдавливанием с учетом механических характеристик, условий трения, геометрических размеров для ряда групп деталей позволяют выполнять расчеты, базирующиеся на экспериментально-аналитическом методе определения напряжений и верхней оценке для определения деформирующих сил. Отличительной особенностью методик является возможность их использования в цеховых условиях без применения быстродействующих вычислительных машин.

5. Разработанная методика вычисления компонентов тензора скоростей деформации в условиях нестационарных процессов выдавливания на основе экспериментально-аналитического метода позволяет определить напряженно-деформированное состояние заготовки.

6. Установленные в диссертации зависимости для определения изменения формы и размеров заготовки в процессе деформирования позволяют спроектировать оптимальный инструмент при использовании ХОШ выдавливанием на предварительных переходах штамповки.

7. Созданные модели позволяют рассчитать среднюю степень деформации по объему пластической зоны и максимальные деформации на оси симметрии и боковой поверхности заготовки, необходимые для выбора напряжения текучести упрочняемого материала и для оценки предельного формоизменения.

8. Установленная зависимость качества поковок от размеров инструмента, объема металла, набираемого во фланец, бурт или утолщение детали и механических характеристик материала, позволила обосновать оптимальное распределение формоизменения по переходам при штамповке выдавливанием.

9. Предложенный способ холодного выдавливания полых изделий

рических деталей, позволяет изготавливать поковки с равнотолщиной стенкой.

Ю. Предложенные методики расчета позволили решить технологические задачи обработки давлением с применением пакета программ, которые реализованы в учебном процессе на кафедре ОМД ТашМТУ и кафедре МТ-6 МПТУ.

II. В результате внедрения в производство на Узбекском металлургическом заводе, предприятии п/я В-8870, ПО "Ташкентский тракторный завод", ПО "Геологоразведка" технологических процессов, включающих в себя операции ХОШ выдавливанием, обеспечено повышение производительности труда, высвобождение рабочих, повышение качества и служебных свойств деталей.

Общий реальный подсчитанный экономический эффект составил I млн 450 тысяч рублей в год. Предполагаемый экономический эффект от расширения внедрения составит свыше I8 миллионов рублей в год (цены I990 года).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Кондратенко В.Г., Абдуллаев Ф.С., Гаманкова Л.Е. Определение очага пластической деформации при закрытой штамповке выдавливанием в кольцевую полость осесимметричных деталей // Технология производства, научная организация труда и управления / НИИМАШ. - М, 1979. - №2. - С.10-12.
2. Кондратенко В.Г., Абдуллаев Ф.С., Гаманкова Л.Е. Исследование силовых параметров штамповки выдавливанием осесимметричных поволоков в закрытых штампах // Изв.Вузов. Машиностроение. - 1979. - №7. - С.86-89.
3. Исследование напряженно-деформированного состояния в закрытых штампах с выдавливанием в кольцевую полость / В.Г.Кондратенко, Ф.С.Абдуллаев, М.В.Блинов и др. // Прогрессивные методы обработки металлов давлением: Матер.Респ.научн-техн. конф. - Ереван, 1979. - С.43-44.
4. Кондратенко В.Г., Абдуллаев Ф.С., Кузьмин А.М. Определение формы заготовки при штамповке // Изв.Вузов. Машиностроение. - 1979. - №8. - С.121-123.

5. Кондратенко В.Г., Абдуллаев Ф.С., Гаманкова Л.Е. Исследование напряженно-деформированного состояния при закрытой штамповке выдавливанием в кольцевую полость осесимметричных деталей с тонким фланцем // Новая техника. - 1979. - №7. - С.22.
6. Абдуллаев Ф.С. Автоматизация процесса штамповки с помощью промышленных роботов // Повышение эффективности производства механизацией и автоматизацией механосборочных и вспомогательных процессов в машиностроении: Тез.докл.Респ.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1983. - С.82-83.
7. Турсунов Б.М., Абдуллаев Ф.С., Рахматуллаев М.А. Проектирование оптимальных условий разрезания // Повышение эффективности производства механизацией и автоматизацией механосборочных и вспомогательных процессов в машиностроении: Тез.докл. Респ.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1983. - С.155-156.
8. Абдуллаев Ф.С. Исследование напряженно-деформированного состояния при штамповке выдавливанием осесимметричных деталей // Технология обработки материалов и конструирование машин: Сб.научн.тр.ТашПИ. - Ташкент, 1983. - С.83-84.
9. Абдуллаев Ф.С. Анализ упрочнения при штамповке осесимметричных деталей // Современная технология и перспективы развития упрочняющих методов обработки деталей машин и инструментов: Тез.докл.Респ.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1984. - С.69.
10. Турсунов Б.М., Абдуллаев Ф.С. Эффективная штамповка в штампах с разъемными матрицами / Задача молодых ученых в повышении качества выпускаемой продукции и освоении производственных мощностей: Тез.докл.Респ.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1983. - С.48-49.
11. Абдуллаев Ф.С., Турсунов Б.М., Рахматуллаев М.А. Автоматизированное проектирование технологического процесса штамповки выдавливанием в закрытых штампах // Автоматизация и роботизация технологических процессов: Тез.докл.Респ.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1982. - С.118-119.
12. Абдуллаев Ф.С. Энергосиловые параметры горячей штамповки выдавливанием // Теплофизика технологических процессов: Тез.докл.Всесоюзн.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1984. - С.88-89.
13. Технологические процессы изготовления поковок с фланцами на прессах для штамповки в разъемных матрицах / В.Г.Кондратенко, М.В.Блинов, Ф.С.Абдуллаев и др. // Кузнечно-штамповочное производство. - 1985. - №1. - С.46-52.

14. *SAGDILLAEWISCH A., KRALLITS S. Method zur Bestimmung der Formänderung auf grund des faserförmigen Laufs der metalle // III seminar über plastische umformung. - Budapest, 1985. - S. 456-460.*
15. Абдуллаев Ф.С. Исследование напряженно-деформированного состояния при штамповке осесимметричных деталей // Сб.научн.тр. ТашПИ. - Ташкент, 1985. - С.41-42.
16. Абдуллаев Ф.С. Исследование технологических процессов малоотходной штамповки // Современные способы повышения долговечности деталей машин и инструментов: Сб.научн.тр.ТашПИ. - Ташкент, 1987. - С.46-48.
17. Абдуллаев Ф.С. Автоматизация процесса штамповки выдавливанием // Повышение эффективности внедрения роботизированных и гибких автоматизированных комплексов в машиностроении Узбекистана: Тез.докл.Респ.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1986. - С. 49-50.
18. Абдуллаев Ф.С.Определение технологических параметров малоотходной штамповки // Ресурсосберегающая технология в машиностроении: Сб.научн.тр.ТашПИ. - Ташкент, 1988. - С.37-40.
19. Абдуллаев Ф.С., Юсупов Д.Р. Исследование технологических процессов точной штамповки // Эффективность использования ресурсов при совершенствовании управления производством, технологическими процессами и оборудованием: Тез.докл.Респ.научн.-практ.конф. - Ташкент, 1988. - С.55.
20. Абдуллаев Ф.С., Катиков Е.В. Исследование эффективных способов штамповки труднодеформируемых материалов // Проблемные вопросы развития и повышение эффективности внедрения автоматических производственных комплексов с разной степенью технологической гибкостью: Тез.докл.Респ.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1989. - С.101-102.
21. Рахматуллин В.С., Абдуллаев Ф.С. Термодатчики контроля в процессах ОМД // Проблемные вопросы развития и повышение эффективности внедрения автоматических производственных комплексов с разной степенью технологической гибкостью: Тез.докл. Респ.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1989. - С.102-103.
22. Исследование напряженно-деформированного состояния штамповки в закрытых штампах с выдавливанием в кольцевую полость: Отчет о НИР / ТашПИ; Руководитель Ф.С.Абдуллаев. -Инв.№ 45977, - Ташкент, 1985. - 44 с.

23. Абдуллаев Ф.С., Катикова Е.В. Исследование процесса штамповки шестерен // Проблемные вопросы создания и внедрения экологически чистых технологий на предприятиях машиностроения Республики Узбекистан: Тез.докл.Респ.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1992. - С.58-59.
24. Абдуллаев Ф.С., Хамидходжаев С.О. Пути повышения автоматизации и механизации технологических процессов на промышленных предприятиях Республики // Проблемные вопросы создания и внедрения экологически чистых технологий на предприятиях машиностроения Республики Узбекистан: Тез.докл.Респ.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1992. - С.90-91.
25. Абдуллаев Ф.С. Теоретические основы расчета процессов обработки металлов давлением: Учеб.пособ. / ТашГТУ. - Ташкент, 1992. - 40 с.
26. Абдуллаев Ф.С., Абдуяминова У.А., Дмитриев А.М. Определение работы вытяжки полых деталей // Проблемы выработки электрической энергии и вопросы энерготехнологии в машиностроении и других отраслях народного хозяйства Республики Узбекистан: Тез.докл.Респ.научн.-техн.конф. - Ташкент, 1992. - С.122.
27. Абдуллаев Ф.С., Рахматуллаев В.С. Автоматизация кузнечно-штамповочного производства: Учеб.пособ. / ТашГТУ. -Ташкент, 1993. - 110 с.
28. Абдуллаев Ф.С. Верхняя оценка деформирующей силы для прямого выдавливания и волочения // Труды конф. по энерготехнологии. - Таш.энтг, 1993. - С.78-80.
29. Абдуллаев Ф.С., Загидуллин Р.Р. Верхняя оценка деформирующей силы для вытяжки // Труды конф.по энерготехнологии. - Ташкент, 1993. - С.103-104.
30. Абдуяминова У.А., Абдуллаев Ф.С. Определение усилия вытяжки при штамповке полых деталей // Труды конф. по энерготехнологии. - Ташкент, 1993. - С.142-143.
31. Абдуллаев Ф.С., Абдуяминова У.А. Обработка металлов давлением: Учеб.пособ. - Ташкент, 1993. - 154 с.