

1544735

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

На правах рукописи

ЕВСТИФЕЕВ ВЛАДИСЛАВ ВИКТОРОВИЧ

НАУЧНОЕ ОСНОВАНИЕ, ОБОБЩЕНИЕ И РАЗРАБОТКА
ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Специальность 05.03.05 – Процессы и машины
обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 1994

Работа выполнена в Омском государственном техническом университете

Официальные оппоненты: Заслуженный деятель науки и техники России,

доктор технических наук, профессор

Попов Е. А.

Заслуженный изобретатель России,

доктор технических наук, профессор

Соловцов С. С.

доктор технических наук, профессор

Кыпин Ю. Г.

Ведущее предприятие: Омский научно-исследовательский институт

технологии и организации производства двигателей.

Защита состоится 22 июня 1994 г. в _____ час.

на заседании специализированного совета Д 053.15.05 при Московском ордена Ленина,
ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государствен-
ном техническом университете

Бауманская ул., д.5.

Вып отов в 1-ом экзempli
оанному адресу.

С диссертацией можно соз

Телефон для справок - 267-01

Автореферат разослан _____

Ученый секретарь

специализированного совета

к.т.н., доцент

Подписано в п

24.04.1

1544735

Актуальность работы. Технологии холодной объемной штамповки (ХОШ) с полным основанием относятся к малоотходным. Опыт отечественных и зарубежных фирм показывает, что при изготовлении изделий ХОШ почти вдвое сокращаются расходы материала и электроэнергии, уменьшается, а иногда полностью исключается, доработка резанием.

В то же время внедрение процессов холодного деформирования требует относительно высоких расходов на опытно-конструкторские работы и изготовление деформирующего инструмента.

Перспективы расширения применения технологий ХОШ связано с разработкой новых способов формообразования фасонных изделий, высокостойкого инструмента и смазок.

Повышение производительности труда и уровня принимаемых решений при проектировании технологических процессов ХОШ может быть обеспечено за счет накопления данных о приемах формоизменения заготовок, унификации расчетных схем, унификации штамповых блоков и инструмента, внедрения классификаций штампуемых изделий и способов обработки, расширения применения вычислительной техники.

Работы в этом направлении выполнялись в соответствии с постановлением ГКНТ и Госплана СССР от 12.12.80 г. № 472/248 о создании малоотходных технологий (проблема 0.16.02, этап 01.01.Н1 "Провести НИР по прогрессивным малоотходным технологическим процессам выдавливания и повышению стойкости штампового инструмента") и приказом Минвуза СССР № 1342 от 08.12.80 г. о плане важнейших работ по проблеме "Холодная объемная штамповка".

Цель работы. Разработка научно-обоснованного метода проектирования рациональных технологических процессов холодной объемной штамповки, обеспечивающего уменьшение цикла подготовки производства и затрат на изготовление поковок.

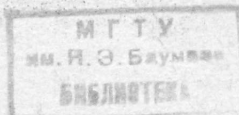
Методы исследования. Экспериментальные исследования направлены на оценку адекватности предложенных расчетных схем процессов ХОШ, выяснения характера течения металла и формирования пластических зон. Такие исследования проводились с использованием методов координатных сеток, слоистых моделей, измерения твердости, макроанализа структуры, тензометрирования.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1544735

Евстифеев В.В. Научное обос



Теоретические исследования выполнены с применением энергетического вариационного метода и метода совместного решения дифференциальных уравнений равновесия и условий пластичности.

Достоверность результатов исследований. Доказана сокращением сроков разработки технологических процессов ХОШ, в том числе и за счет использования ЭЦМ, и успешным внедрением в производство процессов штамповки изделий нескольких типов. Обеспечена сочетанием современных методов решения задач обработки металлов давлением и многочисленных разнообразных экспериментов для оценки адекватности моделей.

Исучная новизна. Состоит в создании нового метода проектирования рациональных технологических процессов с использованием таблиц возможных вариантов - алгоритмов технологических схем, - составленных из элементов классификаций способов обработки и изделий, а также применением новых методик анализа процессов, обеспечивающих сокращение трудоемкости проектирования, уменьшение себестоимости поковок.

Сформулированы и обоснованы принципы унификации расчетных схем процессов, на базе которых разработаны обобщенные математические модели для анализа влияния различных факторов на параметры процесса формоизменения заготовок.

Разработана методика расчета процессов комбинированного выдавливания при одно- и двустороннем движении деформирующих инструментов, основанная на моделях, составленных из расчетных схем простых процессов.

Теоретически исследована устойчивость деформирования при штамповке изделий с коническими поверхностями; обеспеченообразие расчетных схем и уравнений для определения предельного коэффициента выдавливания.

Установлен характер течения металла при штамповке изделий с многогранной наружной поверхностью и обоснован выбор формы заготовки для обеспечения необходимого качества.

Получены расчетные формулы для определения деформирующих сил выдавливания изделий типа стаканов с числом граней наружной поверхности больше четырех, что достигнуто введением коэффициента сопротивления проталкиванию металла в зазор между матрицей и пуансоном, учитывающего влияние периметра матрицы, коэффициента трения, высоты пояска пуансона и других размеров инструмента.

Новые технические решения способов штамповки и устройств для их осуществления защищены 14 авторскими свидетельствами.

Практическая ценность. Разработанный метод проектирования рациональных технологий ХОШ на основе таблиц возможных вариантов технологических процессов групп изделий, составленных с использованием классификаций штампуемых изделий и способов обработки, обеспечивает сокращение цикла технологической подготовки производства (ТПП) сложных по форме изделий различных типов; применение унифицированных расчетных схем и соответствующих математических моделей упрощает сравнение технологий и программное обеспечение ТПП. Использование результатов исследований и рекомендаций позволяет выбирать и обосновывать рациональные технологические процессы, рассчитывать формоизменение заготовок и силовой режим, а в некоторых случаях устойчивость деформирования, что позволяет на стадии проектирования исключить ошибочные решения и уменьшить затраты на доводку инструмента.

Разработаны и внедрены в производство технологии штамповки изделий типа стаканов с многогранной наружной поверхностью, втулок с фланцами, конических стаканов, толстостенных оболочек с коническими переходами, ступенчатых втулок и др. При значительном снижении трудоемкости изготовления увеличился на 20-70 % коэффициент использования материала.

Результаты исследований использованы в учебных пособиях и при чтении лекционных курсов "Теория обработки металлов давлением", "Специальные виды обработки металлов давлением".

Реальный экономический эффект от внедрения технологий объемной штамповки на предприятиях различных отраслей промышленности составил более 700 тыс. рублей (в ценах до 01.01.92 г.).

Апробация работы. Основные результаты работы представлены на Всесоюзных научно-технических конференциях по обработке металлов давлением в Запорожье (1975 г.), Омске (1978 г.), Москве (1984 г.), Ростове-на Дону (1985 г.), Барнауле (1986 г.), Свердловске (1988 г.), на республиканских, зональных и отраслевых научно-технических конференциях в Риге (1969 г.), Новосибирске (1983 г.), Барнауле (1980 г.), Белебее (1987 г.), на семинарах МДНП (1967, 1973, 1977, 1980, 1990 гг.), ЛДНП (1987 г.), а также на областных совещаниях и ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава Омского политехнического института.

Публикации. Научные и практические результаты исследований изложены в 101 печатной работе, в том числе в 5 учебных пособиях, 3 брошюрах, 78 статьях и 14 авторских свидетельствах на изобретения.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, 6 глав, приложений и основных выводов; содержит 212 страниц машинописного текста, 135 рисунков, 39 таблиц, 45 страниц приложений. Список использованной литературы включает 396 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, сформулирована цель исследований, приведены основные результаты.

I. Состояние вопроса разработки технологий холодной объемной штамповки. Задачи исследований.

Рассмотрены общий порядок разработки технологических процессов и формы представления информации о переходах штамповки при сравнении нескольких возможных и выборе рациональных вариантов технологий. Повышение производительности труда при технологической подготовке производства, особенно в условиях серийного производства, может быть достигнуто за счет должной организации информационного обеспечения и использования вычислительной техники. В качестве информационно-справочного материала используются классификаторы изделий и технологических операций, приоритетные листы, рекомендации по составлению одно- и многопереходных технологических процессов.

Существенный вклад в разработку классификаций внесли ученые стран СНГ И.С.Алиев, А.Э.Артес, А.С.Базык, В.А.Головин, В.А.Евстратов, Е.И.Исаченков, Н.В.Исаченкова, Ю.А.Миропольский, Г.А.Навроцкий, А.Г.Овчинников, В.В.Рис, Л.Д.Оленин и зарубежные ученые Н.Feldmann, В.Kwasiewski, J.Maternic, T.Okamoto, H.Opitz, K.Spieв и многие другие. Отмечено, что большинство классификаций имеет принципиальный характер, построены по различным критериям и не подготовлены к использованию в системе технологической подготовки производства.

Опыт разработки технологических процессов и освоения их промышленностью показывает, что наиболее трудоемким оказывается прогнозирование формоизменения, силового режима и предельно допустимых деформаций, проектирование высокостойкого инструмента. Значительные успехи по этим направлениям достигнуты благодаря

исследованиям выполненным Л.Б.Аксеновым, Ю.А.Алюшиным, М.Г.Амировым, А.А.Богатовым, И.К.Букиным-Гзтыревым, Г.В.Бунатыном, И.А.Быковым, О.А.Ганаго, С.И. Губкиным, В.А.Головиным, Г.А.Делем, А.М.Дмитриевым, В.А. Евстратовым, Л.И.Живовым, А.З.Журавлевым, В.Л.Колмогоровым, Д.П. Кузнецовым, Е.П.Ланским, А.Н.Митькиным, А.Н.Мишуниним, Ф.П.Михаленко, Г.А.Навроцким, А.Г.Овчинниковым, Л.Д. Олениным, В.Н.Перетятыко, Е.А. Поповым, И.П.Ренне, Е.И.Семеновым, С.С.Соловцовым, В.С.Солодянниковым, Л.Г.Степанским, И.Я.Тарновским и другими, а также K.Laake, M.Kunoqi, R.Geiger, H.Kudo, W.Johnson, D.Schmoockel, M.Watkins, E.Tomson, J.Everhart.

Разнообразные методики расчета с достаточной для практики точностью позволяют определять влияние различных факторов на формоизменение и потребные деформирующие силы в простых и комбинированных процессах, объяснить момент появления дефектов. Однако в ряде случаев без ущерба для точности решений можно использовать унифицированные математические модели. Это дает возможность упростить программное обеспечение, сократить трудоемкость разработки технологических процессов. Расширение технологических возможностей ХОШ может быть обеспечено разработкой технологий штамповки сложнофасонных изделий, таких как: полые с многогранной наружной поверхностью, с коническими поверхностями и т.д.

На основании анализа существующих технологий и методик расчета операций ХОШ намечены следующие задачи исследований:

- разработать конструктивно-технологическую классификацию изделий полых и стержневых, составленную так, чтобы объединить в группы схожие по форме изделия, а также с учетом использования ограниченного набора способов формообразования для организации простых алгоритмов построения всех возможных вариантов технологических процессов изготовления группы однотипных изделий;

- разработать конструктивно технологическую классификацию способов точной объемной штамповки, объединенных в группы по преимущественному направлению течения металла;

- разработать методику проектирования и расчета процессов выдавливания многогранных полых изделий;

- сформулировать и обосновать принципы унификации расчетных схем группы процессов; изучить особенности штамповки изделий из высоких заготовок;

- разработать универсальную математическую модель процессов изготовления изделий с коническими поверхностями;
- разработать и внедрить в производство прогрессивные процессы и оснастку.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТОЧНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАССИФИКАТОРОВ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

Классификации изделий представлены изделия наиболее распространенных типов, которые возможно изготавливать на универсальных и специализированных прессах, а также холодновысадочных автоматах в оснастке с разъемными и неразъемными матрицами.

По конструктивному и технологическому признакам типовые изделия распределены в 28 групп. Каждой группе присвоен шифр из 2 цифр, стоящий в верхней строке таблиц.

В группах I-I4 сосредоточены изделия осесимметричные полые: стаканы гладкие, со ступенчатой полостью, с отростком в полости, с утолщением у закрытого или открытого торца, втулки с наружными и внутренними фланцами с утолщениями на наружной поверхности, включая конические и др. Конструктивный признак изделий отражен в названиях групп. Технологический признак определяется набором операций, которые используются при изготовлении полых изделий: выдавливание обратное, выдавливание дифференцированное, вытяжка с утонением стенок, дорнование, раздача, обжим, высадка и другие.

В группах с 15 по 28 собраны изделия: стержневые с головками простой и сложной формы, со ступенчатым стержнем, с утолщениями в средней части стержня или на обоих концах, с коническими элементами, с эксцентричными и плоскосимметричными головками; крышки, фланцы, пластины, П-образные, с изогнутой осью, прямоугольные плоскосимметричные и другие. Технологический признак определяется совокупностью операций, используемых при изготовлении подобных изделий: высадка, осадка, редуцирование, выдавливание прямое, поперечное, поперечно-прямое и т.д.

Классификация состоит из 10 блоков: шесть для полых, четыре для стержневых изделий. Каждый блок несет семь групп по три подгруппы изделий в каждом. Порядковые номера изделий в каж-

дой группе переходят от блока к блоку. Преимущество такой компоновки состоит в том, что по мере накопления научно-производственного опыта по штамповке изделий других типов могут формироваться и пристыковываться новые блоки.

В отличие от известных классификаций, предлагаемая конструктивно-технологическая классификация имеет целью такое группирование типовых изделий, при котором обеспечивается их получение с использованием ограниченного по количеству, но не по технологическим возможностям, набора операций независимо от размеров изделия в целом или его элементов, условий производства и т.д. В классификаторе нет указаний относительно соотношений размеров изделий, штампуемости материала, предельных размеров.

Ограниченный набор операций позволяет рабатывать простые алгоритмы расчета технологических процессов с использованием ЭЦВМ в случае создания САПР ТП ХОШ.

При использовании информации об изделии в других документах ему присваивается код, состоящий из шифра группы и порядкового номера изделия в группе.

Рациональная схема технологического процесса может быть разработана только в результате всестороннего анализа нескольких вариантов, каждый из которых включает n -е количество операций формоизменения, а также операции термической обработки, подготовки поверхности и другие. Для некоторых типов изделий число возможных вариантов технологических процессов может достигать до нескольких десятков.

Для облегчения поисков подходящих для формообразования изделий операций (одной или нескольких) и составления из них технологического процесса предлагается использовать классификацию способов объемной штамповки, один из блоков которой показан в табл. I. Все операции, в зависимости от характера течения металла и их назначения, распределены в 12 групп, обозначенных латинскими буквами. Группы А, В, С, D, Е, F объединяют разновидности операций осадки открытой и закрытой, высадки утолщений на полых и стержневых заготовках, выдавливания прямого, редуцирования; в группы G, H, K, L, M, N входят операции выдавливания обратного, комбинированного, вытяжки с утонением стенок. Каждому способу штамповки присвоен поряд-

новый номер в группе (в левом столбце таблицы). В технологической документации способ обозначается шифром А ОI, Н I4 и т.д.

Для оценки сложности инструментальной наладки штампов в классификатор способов введены показатели условной сложности (строка под индексами групп, *табл. I*). Показатели состоят из двух чисел (0-0, 1-7, 12-3 и т.д.) и характеризуют сложность верхнего и ниж-

таблица 1

	A	B	C	D	E	F
	4-3	4-3	1-7	0-7	3-12	2-1
11						
12						

него инструментов, т.е. учитывают количество деталей, наличие дополнительных устройств (выталкиватель, съемник, буфер, привод дополнительной матрицы или контрпуансона). Способы деформирования с примерно одинаковой сложностью конструкции верхнего и нижнего инструментов – независимо от того, в какой группе находятся способы – объединены в блоки, которые выделены жирными линиями. В настоящее время в классификатор включены 312 основных способов штамповки.

При составлении технологического процесса из операций, помещенных в классификаторе, каждому способу присваивается код, состоящий из показателя сложности, индекса группы и порядкового номера операции в группе: 0-0 А ОI, 4-3 В II.

Кроме характеристик операций сделана ориентировочная оценка показателей штампуемости в относительных единицах, как это пред-

ложено В.А. Головиным. Расставив наиболее характерные для метода ХОШ способы деформирования в порядке уменьшения условного показателя сопротивления деформированию вдоль одной из координатных осей, а по другой отложив соответствующие этим способам показатели пластичности, получим обобщенную диаграмму штампуемости, которая позволяет технологу ориентироваться при выборе подходящих способов деформирования при изготовлении конкретного изделия.

Разработка технологического процесса значительно облегчается, если использовать специальные таблицы – таблицы возможных вариантов процессов штамповки изделий одной группы. В шапке таблиц приведены схемы инструмента, коды технологических операций, индексы сложности. Схемы операций расположены в такой последовательности, чтобы при составлении процесса для любого изделия данной группы "набор" операций осуществлялся слева направо. В клетках, образованных на пересечении столбцов и строк, указаны номера вариантов; если при движении по строке направо номер варианта встречается лишь один раз, то технологический процесс является однопереходным; если номер варианта встречается два и более раз, то технологический процесс многопереходный.

При разработке технологических процессов изготовления изделий, которые часто встречаются на данном производстве, составляются таблицы вариантов технологий штамповки изделий определенного типа. Это развернутые строки таблиц возможных вариантов технологий группы деталей.

Классификация способов холодной объемной штамповки позволяет наглядно представить конструкции инструментов для осуществления операций, выбирать и сравнивать между собой возможные схемы перестановки заготовок в изделия определенного типа, составлять типовые технологические процессы с унификацией инструмента. Последнее важно, например, с точки зрения организации группового метода обработки. Кроме того, классификация способов штамповки в сочетании с классификатором изделий и другими материалами (методические указания по организации производства, методики расчета формоизменения и силового режима, диаграммы пластичности и т.д.) является базой для создания системы автоматизированного проектирования и управления производством. Технологические схемы обработки, составленные из операций ХОШ (ячеек классификации способов штамповки), есть алгоритмы технологических процессов.

3. РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННЫХ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ПРОЦЕССОВ ТОЧНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

При определении деформирующих сил, текущего и конечного формоизменения заготовок для некоторой группы способов можно, без ущерба для точности решений, использовать обобщенные (унифицированные) расчетные схемы.

Цель унификации - свести до минимума общее количество расчетных схем для анализа всего множества способов формообразования, используемых для изготовления изделий основных типов. Единобразие схем дает возможность упростить составление программного обеспечения, повысить его универсальность.

Набор признаков, по которым проводится унификация расчетных схем, определяется на этапе выбора исходных данных для разработки математических моделей. Для процессов ХОШ такие признаки связаны с особенностями конструкции инструмента, с кинематикой течения металла. Последняя является одним из важнейших признаков, определяющих структуру расчетных схем.

Целесообразно подразделить процессы, с учетом направлений перераспределения металла, на следующие группы: с течением металла в верхний и нижний зазоры между цилиндрическими, коническими или ступенчатыми пуансонами и матрицами; с течением металла в кольцевые зазоры и отверстия вверх и вниз; с течением металла в кольцевой зазор или отверстие вверх и в суживающуюся (или равномерную) щель (поперечную или наклонную) вниз; с течением металла только вниз или вверх из закрытой полости в зазор между матрицей и пуансоном (коническим, цилиндрическим, ступенчатым, полым и т.д.).

С учетом метода анализа и упрощающих допущений строится геометрическая макромодель. Она может состояться из элементов различной формы, взаимодействие которых друг с другом или с поверхностями инструмента задается в виде определенных условий (граничных условий в напряжениях, перемещениях, скоростях и т.д.). Состав, количество и относительное положение элементов выбирается в соответствии с формой и размерами очага пластической деформации, их изменения в процессе деформации заготовки.

Принципы унификации реализуются следующим образом: - формирование обобщенной расчетной схемы процесса с несколькими степенями

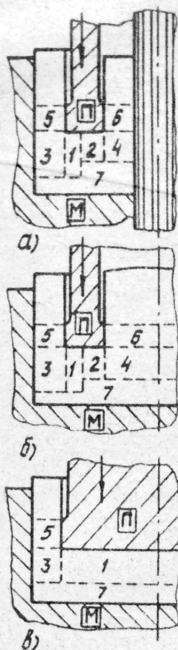


Рис. 1.

свободы течения металла из максимального количества элементов (Рис. 1а) с тем расчетом, чтобы при изменении расстояния между пуансоном и матрицей или соотношений их поперечных размеров она трансформировалась в более простые схемы (Рис. 1б,в);

- формирование расчетных схем из "n-ого" количества однотипных блоков (2), состоящих из "m" деформируемых и жестких элементов, присоединяемых к базовому блоку (1), (Рис. 2а);

- формирование расчетной схемы из "n-го" количества элементов, которая трансформируется в более простые схемы при изменении условий на каких-либо поверхностях элементов (Рис. 2б,в,г);

- формирование расчетных схем из "готовых" блоков, составленных для процессов прямого, обратного и т.д. выдавливания, когда верхний и нижний очаги пластической деформации разделены жесткой зоной (Рис. 3а,б,в).

Практический интерес представляют процессы комбинированного выдавливания фасонных изделий из "высоких" заготовок (отношение высоты к диаметру больше 1,5). Особенности течения металла в таких процессах выяснены при экспериментальной штамповке разнообразных

изделий из заготовок $\Phi 30 \times 60$ мм с использованием комплекта инструментов, состоящего из цилиндрических сплошных и трубчатых пуансонов и контрпуансонов, контейнера и матрицы для прямого выдавливания. При различных сочетаниях верхнего и нижнего инструментов выдавливались изделия 10 типов. Установлено, что пуансон не только внедряется в заготовку, но и перемещает ее относительно неподвижных контрпуансона и контейнера. Только в этих условиях может формироваться нижний очаг пластической деформации; форма и размеры его зависят только от вида процесса и соотношения поперечных размеров матрицы и контрпуансона. Параметры верхнего очага зависят от сопротивления проталкиванию остальной части заготовки. Между верхним и нижним очагами находится жесткая зона,

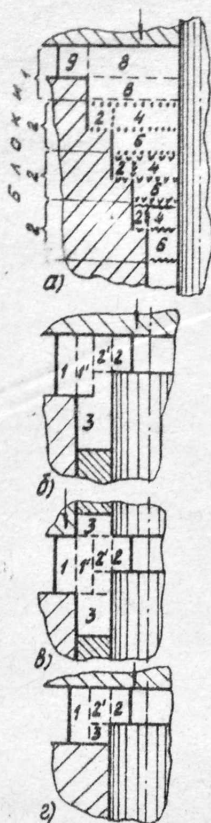


Рис. 2.

начаются двумя цифрами - 02; 07; 14 и т.д. и добавляются к обозначению базовой схемы: SP0102...

Расчетные схемы трех процессов представлены на рис. 3.

Для процессов SP0301 (Рис. 3б) и SP0403 (Рис. 3а) составляющие работ сопротивления внутренних сил A_1, A_2, A_1', A_3, A_4 , сопротивления сил трения и сдвига по горизонтальным поверхностям ($A_{I-П-7}$, $A_{I'-7-кп}$, $A_{7-2-м}$, A_{5-3-7} , $A_{5'-3'-7}$, A_{7-4-6}), а также по вертикальным поверхностям нижнего очага деформации ($A_{м-2}$, $A_{м-5'}$ - кп.

которая проталкивается через контейнер при сопротивлении сил трения со стороны его стенок.

Из сказанного следует, что перемещение пуансона относительно контейнера на величину Δh сопровождается внедрением его в заготовку на величину Δh_1 и одновременно смещением в том же направлении заготовки на Δh_2 , то есть

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 = \Delta h_1(1 + \Delta v); \quad (I)$$

в этом случае $V_0 = V_1 + V_2 = V_1(1 + \Delta v)$.

Так как пластические зоны разобщены, то расчетные схемы комбинированных процессов можно составлять из двух схем: базовой и дополнительной. Базовыми схемами являются схемы для анализа прямого, обратного, поперечного, прямого с раздачей и других способов выдавливания изделий из сплошных или полых заготовок. Схематическими дополнительными являются, за некоторым исключением, практически те же схемы. Возможные сочетания базовых и дополнительных схем в комбинированных процессах выдавливания изделий из сплошных заготовок указаны знаками "+" в табл. 2. Условные обозначения схем такие: SP01 - прямое выдавливание стержня; SP02 - обратное выдавливание стержня с головкой; SP04 - прямое выдавливание стаканов; SP14 - прямое выдавливание с раздачей и т.д. Дополнительные схемы обозначаются двумя цифрами - 02; 07; 14 и т.д. и добавляются к обозначению базовой схемы: SP0102...

Таблица 2

СХЕМЫ допол- нит.	СХЕМЫ Б А З О В Ы Е																			
	SP 01	SP 02	SP 03	SP 04	SP 05	SP 06	SP 07	SP 08	SP 09	SP 10	SP 11	SP 12	SP 13	SP 14	SP 15	SP 16	SP 17	SP 18	SP 19	SP 20
01	T	/	+	+		+		+								+	+			
02	L	/		+		+		+		+	+	+	+	+	+			+	+	+
03	U		/	+		+		+		+	+	+	+	+	+			+	+	+
04	□			/	+		+		+							+	+			
05	□				/	+			+	+	+	+	+	+	+			+	+	+
06	□					/	+									+	+			
07	□						/	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+
08	□							/	+							+	+			
09	□								/	+	+	+	+	+	+			+	+	+
10	□									/						+	+			
41	T	+			+		+		+		+	/				+			+	

A_{6-m}, A_{2-4}) определяется обычным способом. При вычислении работ A_{5-m} и A_{5-n} учтено то обстоятельство, что элемент 5 за каждый шаг перемещения пуансона на Δh "вырастает" на $[\Delta h_1 + \Delta h_1 (R_1^2 / (R^2 - R_1^2))]$, одновременно опускаясь вместе с элементом 7 на Δh_2 . Тогда перемещение элемента 5 относительно матрицы составит

$$U_{m-5}^z = \left| \Delta h_2 - \Delta h_1 \frac{R_1^2}{R^2 - R_1^2} \right| = \Delta h_1 |A_v - P_1|, \quad (2)$$

в перемещение элемента 5 вдоль цилиндрической поверхности с $\rho = \rho_1$ равно: $U_{5|p=\rho_1}^z = |\Delta h_2 - \Delta h_1 \cdot P_1|$. Относительно же пояска пуансона он перемещается на величину $\Delta h_1(1+P_1)$.

При сохранении сплошности металла на границах элементов 3 и 5, 3 и 7 имеем соответственно:

$$U_{3|p=R_1, z=0}^z = U_{5|p=R_1, z=0}^z = |\Delta h_2 - \Delta h_1 \cdot P|, \quad (3)$$

$$U_{3/p=R_1, z=h_1}^z = \Delta h_2 = U_{7/z=h_1}^z.$$

$$\text{Тогда } U_{3-M}^z = \left| \Delta h_2 - \Delta h_1 \cdot P \frac{(h_{X1} - z)}{h_{X1}} \right|.$$

Так как для элемента I перемещения в осевом направлении

$$U_{1/z=0} \cdot \Delta h_2 + \Delta h_1 \text{ и } U_{1/z=h_1} \cdot \Delta h_2, \text{ то } U_1^z = \left| \Delta h_2 + \Delta h_1 \frac{(h_{X1} - z)}{h_{X1}} \right|. \quad (4)$$

При определении работы сопротивления сдвигу элемента I относительно элемента 3 при $p=R_1$, учитываем, что

$$U_{1-3}^z = U_{3-M}^z + U_1^z = \Delta h_1 \frac{(h_{X1} - z)}{h_{X1}} (P_1 + 1). \quad (5)$$

После дифференцирования уравнений работ по X, Y, A_v получим системы уравнений, составляющие математические модели процессов ВР0301 и ВР0403:

$$X = f(\mu, \alpha, A_v), Y = f(\mu, \beta), f(\mu, \beta, \alpha, X, Y, \theta, \rho, L) = 0; \quad (6)$$

$$X = f(\mu, \beta, A_v), Y = f(\mu, \beta), f(\mu, \alpha, \beta, X, Y, \theta, \rho, L) = 0. \quad (7)$$

Модели (6) и (7) позволяют анализировать зависимость hX_1, hX_2 от соотношения поперечных размеров инструмента, от относительной высоты заготовок, расстояния между контрпуансоном и пуансоном, от коэффициента трения, а также исследовать изменение удельной деформирующей силы при различных степенях деформации в базовых и дополнительных расчетных схемах. Выяснено, что параметры нижних очагов деформации зависят только от поперечных размеров инструмента и коэффициента трения. Это дает возможность использовать готовые решения относительно hX_2 при любых сочетаниях базовых и дополнительных схем.

Так как в анализируемых процессах происходит истечение металла в зазор между пуансоном и матрицей, то hX_1 зависит еще и от A_v . Это видно из того, что U_{5-M}^z и U_{3-M}^z являются функциями A_v .

Поскольку A_v в составляющие работ входит в первой степени, то из $\Sigma \partial A_v / \partial A_v = 0$ можно определить лишь соотношение между hX_1 и hX_2 . Величина A_v определяется из уравнения баланса работ, с учетом того, что сумма работ, затрачиваемых на формоизменение верхней части за-

готовки, равна сумме работ, затрачиваемых на формоизменение нижней части заготовки, включая работу сопротивления контактных касательных напряжений проталкиванию жесткой части заготовки через контейнер. Для процессов SPO403 и SPO201 (Рис. 3в) относительные высоты верхнего и нижнего очагов равны соответственно

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \sqrt{\frac{(1+\mu\sqrt{3})\frac{\alpha^3}{3} + 2\frac{\alpha^2}{1-\alpha^2}\left(\frac{\alpha^3}{3} + \frac{2}{3} - \alpha\right)}{\alpha\left(\frac{\alpha^2}{1-\alpha^2} + 1\right) + \mu\sqrt{3}\left(2A_v - \frac{\alpha^2}{1-\alpha^2} - 2A_v\right)}}, \\ Y &= \sqrt{\frac{(1+\mu\sqrt{3})\frac{\beta^3}{3} + 2\frac{\beta^2}{1-\beta^2}\left(\frac{\beta^3}{3} + \frac{2}{3} - \beta\right)}{\beta\left(\frac{\beta^2}{1-\beta^2} + 1\right) + \mu\sqrt{3}\frac{\beta^2}{(1-\beta^2)}}}, \end{aligned} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{aligned} X &= \sqrt{\frac{(1+\mu\sqrt{3})\left(\frac{\delta^3}{3} + \frac{2}{3} - \delta\right) + 2\frac{(1-\delta'^2)}{\delta^2}\frac{\delta^3}{3}}{\left(\frac{1-\delta'^2}{\delta^2} + 1\right)\delta + \mu\sqrt{3}}}, \\ Y &= \sqrt{\frac{(1+\mu\sqrt{3})\left(\frac{\beta^3}{3} + \frac{2}{3} - \beta\right) + 2\frac{(1-\beta^2)}{\beta^2}\frac{\beta^3}{3}}{\left(\frac{1-\beta^2}{\beta^2} + 1\right)\beta - \mu\sqrt{3}}}. \end{aligned} \right. \quad (9)$$

Числители подкоренных выражений формул (8,9) зависят от относительных радиусов контрпуансона и пуансона (α, β), и при $\alpha = \beta$ равны между собой. Это объясняется тем, что они есть производные по X и Y работ сдвига и трения по горизонтальным поверхностям элементов. При $A_v = 0$ относительный радиус контрпуансона β равен 1, α и $Y = 0$, а X зависит только от α и μ .

Для процесса SPO201, характерным отличием которого является отсутствие течения металла в зазоры между пуансоном и матрицей, относительные размеры очагов деформации зависят исключительно от относительных радиусов пуансона и очага матрицы и коэффициента трения μ . Числители формул (9) равны между собой при $\beta = \delta$, тогда как знаменатели отличаются только знаками перед слагаемыми $\mu \sqrt{3}$, так как последние отражают различие в величинах работ сопротивления сил трения ($A_{2-м}, A'_{2-м}$) и работ сопротивления сдвигу между блоками 2-4, 2¹-4¹ (A_{2-4}, A'_{2-4}).

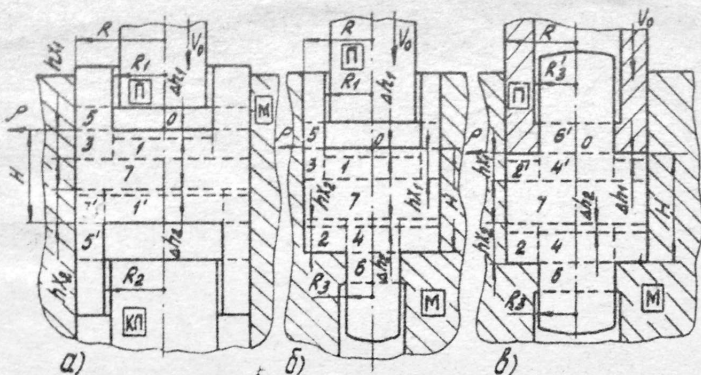


Рис. 3.

Описанная методика использована для анализа формоизменения и силового режима более сложного по кинематике течения процесса комбинированного выдавливания полого изделия с внутренним фланцем.

При внедрении пуансона в кольцевую заготовку, у которой диаметр отверстия меньше диаметра пуансона, формируются два очага деформации, а металл течет в трех направлениях. Процесс характеризуется значительной неоднородностью деформации, особенно по высоте фланца. Изделия без поперечной складки на внутренней поверхности фланца получается только при определенных отношениях высоты заготовки к толщине ее стенки. В расчетную схему введены две вертикальные границы раздела течения металла, определяющие перемещение металла в верхней и нижней частях фланца.

Установлено, что в зазор между контрпуансоном и матрицей металл поступает непрерывно с возрастающей интенсивностью; верхний торец изделия в начальный период деформирования "проваливается" вниз. Затем, при увеличении подпора со стороны фланца начинается интенсивное течение металла и в зазор между пуансоном и матрицей. Границы раздела течения смещаются к оси заготовки.

Сравнение расчетных и опытных зависимостей показало их удовлетворительную качественную и количественную сходимость, что подтверждает пригодность методики для целей практики.

Таблицы, подобные табл.2, составлены также для процессов выдавливания изделий с гладкой наружной поверхностью и сквозным отверстием, изделий со ступенчатой наружной поверхностью, получаемых из

сплошных и полых заготовок, для процессов, осуществляемых при встречном движении верхних и нижних пуансонов. В последнем, когда рассматривается комбинация основных и дополнительных расчетных схем одного типа при одинаковых размерах и скоростях движения инструментов, для определения силового режима выдавливания и параметров очагов деформации можно использовать готовые решения, полученные для простых процессов.

Когда рассматривается комбинация разнотипных схем или однотипных схем при разных размерах инструментов и скоростях движения пуансонов и контрпуансонов, то при определении формоизменения и силового режима следует учитывать смещение заготовки относительно матрицы в сторону пуансона или контрпуансона.

4. УСТОЙЧИВОСТЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССАХ ПОПЕРЕЧНОГО, ПОПЕРЕЧНО-ПРЯМОГО И ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ С КОНЕЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

1544935
Приведены поковки осесимметричные, которые целесообразно изготавливать с использованием операций поперечного, поперечно-прямого и прямого выдавливания металла в расходящиеся кольцевые щели постоянного и переменного сечения. При этом существенно снижаются потребные деформирующие силы; есть и другие преимущества по сравнению с процессами обратного выдавливания и высадки.

Технологические возможности операций определяются ресурсом пластичности материала, величина которого зависит от напряженно-деформированного состояния на кромке изделия, где действуют растягивающие окружные напряжения.

Роль растягивающих напряжений можно уменьшить за счет наложения подпора со стороны кромки или выдавливания металла в суживающийся зазор между пуансоном и матрицей. Предельный коэффициент выдавливания (отношение наибольшего диаметрального размера выдавленной части изделия к наименьшему) определяется исходя из условия полного исчерпания ресурса пластичности ψ по В.Л. Колмогорову.

В этом случае анализируется распределение показателя напряженного состояния σ/τ и степени деформации сдвига Λ вдоль траекторий движения частиц металла. Последовательность расчета: определение траекторий движения частиц, а также поля скоростей, удовлетворяющих гипотезе плоских сечений; определение компонент тензора ско-

ростей деформаций и интенсивности скоростей деформации сдвига H ; определение обобщенных показателей напряженно-деформированного состояния вдоль траекторий движения частиц металла; выявление поверхностей (траекторий), на которых наиболее вероятно разрушение материала; аппроксимация диаграмм пластичности аналитическими функциями, вид которых зависит от показателя и требуемой точности расчета; определение степени использования запаса пластичности вдоль наиболее опасной, с точки зрения разрушения, траектории движения металла от начала до конца области пластической деформации с учетом характера развития деформации; расчет предельного коэффициента выдавливания K_n .

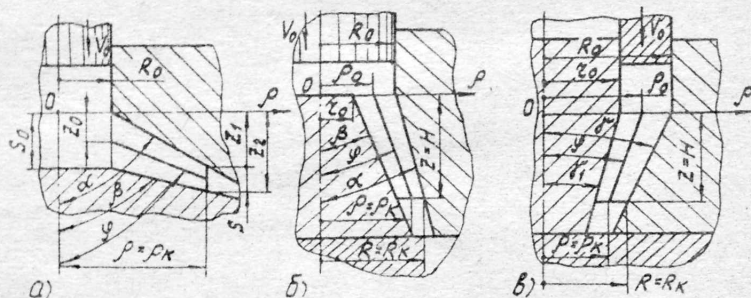


Рис. 4

Анализ результатов исследования силового режима и деформируемости при выдавливании изделий с коническими поверхностями (А.А. Александров, А.Э. Артеc, А.М. Дмитриев, В.В. Евстифеев, А.Г. Овчинников, Г.П. Подколзин и другие авторы) и их обобщение привели к выводу, что методику можно использовать для расчета предельного коэффициента в процессах, сходных по общему характеру течения металла (рис. 4), в том числе и таких, в которых частицы металла по мере смещения вниз приближаются к оси инструмента (рис. 4, в).

Траектории движения частиц задаются уравнениями: для схем (б) и (в) $p = p_0 \pm Z \cdot \operatorname{tg} \psi$; для схемы (а) $Z = Z + (p - R_0) \operatorname{ctg} \psi$, а показатель напряженного состояния на кромке поковки находится из уравнений состояния при граничных условиях $\sigma_z = 0$ (рис. 4, б, в) и $\sigma_r = 0$ (рис. 4, а): $\sigma/\tau = -2 \cdot f_{\tau}(p)/H(\kappa)$.

Математические модели всех процессов, включая поперечное выдавливание по схеме (а) при $\beta = 90^\circ$, прямое выдавливание по схеме (б) при $\alpha = 0$ или по схеме (в) при $\beta_1 = 0$, приведены к общему виду

$$1 - \int_0^{K_{II}} \frac{N_i \cdot M_i(\kappa) \cdot d\kappa}{P_i(\kappa) [A \sqrt{M_i} \pm W_i(\kappa) \cdot B]} = 0,$$

где K_{II} - предельный коэффициент выдавливания;

A, B - коэффициенты аппроксимации диаграмм пластичности;

N, M, P, W - функции относительных размеров поковки и углов наклона образующих конических поверхностей матриц и контрпуансонов.

Так как выражения для K_{II} в явном виде получить невозможно, их значения находим численными методами в определенных интервалах R_0/r_0 (S_0/R_0), β (или β_1), $\text{tg} \alpha / \text{tg} \beta$ (или $\text{ctg} \beta - \text{ctg} \alpha$) и шагах их изменения. Разработана универсальная программа расчета предельного коэффициента выдавливания.

5. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ С МНОГОГРАННОЙ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Приводится методика и результаты исследований характера течения металла при выдавливании изделий с многогранной наружной поверхностью из заготовок-тел вращения при различных соотношениях размеров инструмента, по определению влияния формы заготовки на оформление многогранной поверхности и обоснованию возможности выдавливания изделий с четко оформленными по всей высоте ребрами, анализируется силовой режим выдавливания.

При исследовании использовались цилиндрические и цилиндроконические заготовки. Варьировались такие их размеры: отношение диаметра цилиндрической части D к диаметру торца усеченного конуса d и угол наклона образующей усеченного конуса к горизонтали α .

Распределение деформаций и течение металла изучались по искажению координатных сеток, нанесенных на поперечные и меридианальные сечения исходных заготовок, по трансформации продольных плоскостей разреза составных образцов в различные моменты выдавливания; по изменению твердости, макро- и микроструктуры.

Установлено, что при выдавливании изделий из цилиндрических заготовок полного заполнения углов многогранных матриц по высоте не происходит; изделие имеет незаполнение со стороны внедрения пуансона, величина которого зависит от отношения размера под ключ S матрицы к диаметру пуансона d_n , и увеличивается с увеличением S/d_n . Процесс формоизменения цилиндрических заготовок значительно сложнее. На первой стадии наибольшие деформации имеют место в зоне конуса. Происходит как бы внедрение металла конуса в цилиндрическую часть. Последняя раздается при незначительных осадке по высоте и бочкообразности. Следующая стадия начинается с заталкивания металла, находящегося под переходным сечением в клиновые щели, образованные гранями матрицы. Металл испытывает всестороннее сжатие. В зоне же конуса периферийные слои подвержены действию растягивающих напряжений. Различие в механических схемах деформации предопределяет характер формоизменения. Наибольшие деформации происходят в зоне конуса при максимальном заполнении углов в месте перехода во все время действия пуансона в области конуса. Высота многогранной части изменяется незначительно.

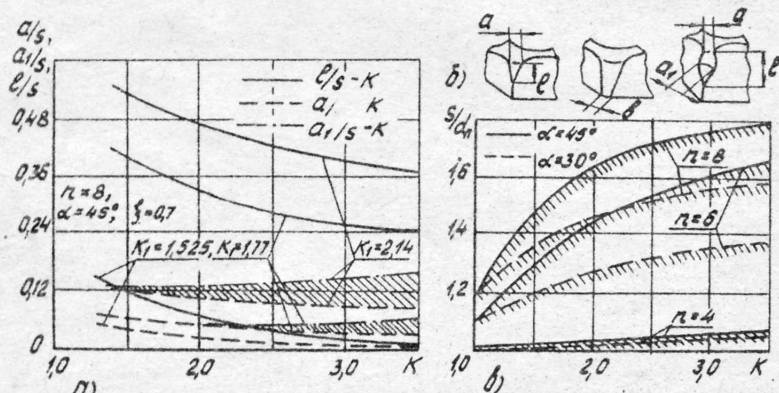


Рис. 5.

Третья стадия - комбинированное выдавливание стакана с увеличивающимся от переходного сечения заполнением углов. На этой стадии ребра изделия либо оформляются полностью, либо приобретают вид, показанный на рис. 5,б.

Заключительная стадия - обратное выдавливание. Очаг пластической деформации формируется в уже упрочненном металле, поскольку при заполняющей прошивке весь объем заготовки подвергается деформации.

Эксперименты показали, что угол α не должен превышать 45° , так как при больших углах наблюдается преимущественная деформация конуса, появляются признаки неустойчивости конуса, увеличивается объем металла вне многогранника. Установлено, что величины относительных незаполнений вертикальных ℓ/s и поперечных $a/s, a_1/s$ при увеличении α и $K = D/d$ уменьшаются, а при увеличении H_{np} (высота заготовки, приведенная к высоте цилиндра диаметром D) увеличиваются, но незначительно. В зависимости от соотношения размеров инструмента и заготовки наблюдаются незаполнения одного из четырех типов: $a \neq 0, \ell \neq 0, \delta = 0$ при $H_{np} > 0,55$ и $K_1 < 1,5$;

$a \neq 0, a_1 \neq 0, \ell \neq 0, \delta = 0$ при $H_{np} > 0,55$ и $K_1 > 1,5$; $a \neq 0, \delta \neq 0, \ell \neq 0$ при $H_{np} < 0,55$ и $K_1 > 1,5$; $a \neq 0, a_1 \neq 0, \ell \neq 0, \delta = 0, a = 0$ при $H_{np} > 0,55$ и $K_1 > 1,5$. Для решения практических задач по расчету переходов штамповки и проектированию инструмента произведена количественная оценка величин незаполнения и определены граничные условия, при которых обеспечивается полное заполнение углов многогранника. По результатам измерений построены графики незаполнений $a/s - K$ и $\ell/s - K$ при числах сторон матрицы, равных 4, 6, 8, K от 1,05 до 3,6 и K_1 от 1,14 до 2,2 (рис. 5, а), а по ним диаграмма заполняемости многогранных матриц в координатах $K_1 - K$ (рис. 5, в). В областях ниже кривых, для определенных n и α , заполнение полное ($K_1 = S/d_n$).

Деформирующая сила, необходимая для выдавливания изделий с числом сторон от 4 до ∞ , определена методом совместного решения дифференциальных уравнений равновесия и условий пластичности. Расчетная схема показана на рис. 6. Кроме общепринятых допущений приняты дополнительные: ребра стакана оформлены по всей длине, траектории движения частиц металла плавно огибают кромку пуансона, упрочнение учитывается на конечной стадии процесса - сталии

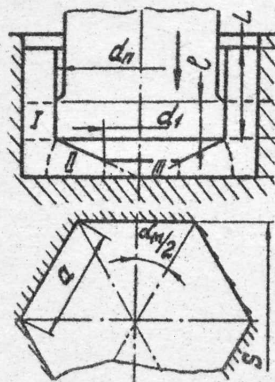


Рис. 6.

обратного выдавливания, нижняя граница очага пластической деформации проходит через точку пересечения образующих конической поверхности торца пуансона и его оси.

Объем заготовки расчленен на участки простой геометрической формы: кольцо I, коническое кольцо со сферическими наружной и внутренней поверхностями II, цилиндр под плоской площадкой торца пуансона III.

Особенность решения состоит в том, что при анализе напряженного состояния участка I, зависящего от сопротивления проталкиванию металла в зазор между матрицей и пуансоном, действительные эпюры давления на стенку матрицы и пояска пуансона заменены прямоугольными за счет введения коэффициентов неравномерности.

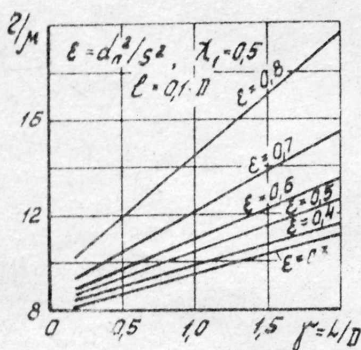


Рис. 7.

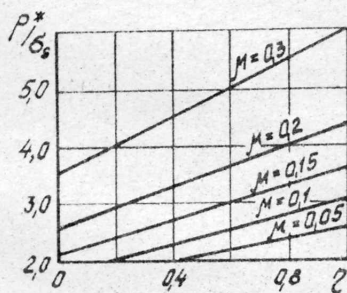


Рис. 8.

Осевое напряжение σ , на нижней границе участка представлено в виде произведения напряжения течения и коэффициента подпора σ . Последний зависит от числа сторон матрицы, коэффициента трения, высоты стенки стакана, контактирующей с матрицей, высоты калибрующего пояска пуансона и равен

$$\sigma = \mu [\pi_m \chi_1 (L - \ell) + \pi_r \ell + \pi d_n \ell] / (F_m - f),$$

где π_m и π_r — параметры матрицы и пуансона; χ_1 — коэффициент неравномерности давления на стенки матрицы; F_m и f — площади поперечного сечения матрицы и пуансона.

Зависимости σ/μ от относительной высоты стенки стакана $\delta = L/D$ при фиксированных значениях χ_1 , ℓ и ϵ — линейные (рис. 7).

Напряжения, действующие на коническую и плоскую поверхности торца пуансона, определены как функции φ и рабочих размеров пуансона:

$$\sigma_{\varphi} = \sigma_s \left\{ \left(\frac{\rho_2}{\rho} \right)^M \cdot \frac{\varphi}{A} + \left(\frac{\rho_2}{\rho} \right)^M \left[\left(\frac{B}{A} + 1 \right) - \frac{1}{M} \right] + \frac{1}{M} \right\}, \quad (1)$$

$$\sigma'_1 = \sigma_s \left\{ \left(\frac{\rho_2}{\rho} \right)^M \cdot \frac{\varphi}{A} + \left(\frac{\rho_2}{\rho} \right)^M \left[\left(\frac{B}{A} + 1 \right) - \frac{1}{M} \right] + \frac{1}{M} \right\} (\cos \alpha_n + \mu \cdot \sin \alpha_n) + 2\sigma_s \cdot \mu (\gamma_1 - \rho') \cdot \frac{1}{R_2}, \quad (2)$$

где $M = 2\mu(1 - 0,5 \alpha_n \operatorname{tg} \alpha_n)$;

$$B = (\cos^2 \alpha_n + \mu \cdot \sin 2\alpha_n);$$

$A = (1 - \mu \cdot \sin 2\alpha_n)$; γ_1 — радиус плоской площадки торца пуансона; ρ и ρ' — текущие радиусы конической и плоской поверхностей торца пуансона.

При определенном μ слагаемые в скобках (1) и (2), а также M и коэффициенты при φ являются постоянными. Поэтому формула для определения удельной деформирующей силы приводится к виду

$$\rho = \sigma_s (E \cdot \varphi + W) + \frac{2\ell \cdot \chi_1}{\gamma_n} \sigma_s = \rho^* + \frac{2\sigma_s \cdot \ell \cdot \chi_1}{\gamma_n}, \quad (3)$$

где ρ^* — неполная удельная деформирующая сила.

Величина ρ^* определяется по графикам зависимости $\rho^* - \varphi$ (рис. 8).

Результаты расчетов соответствуют опытным данным, полученным автором и учеными ТПИ, МГТУ, ХПИ и др.

6. РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНСТРУМЕНТА

Теоретические и экспериментальные исследования привели к созданию эффективных способов формирования изделий. Среди них несколько способов высадки фланцев на трубных заготовках. Один из них [1] предусматривает получение разновысоких наружного и внутреннего фланцев (рис. 9а), за счет установки торца оправки-контрпуансона относительно поверхности матрицы при свободном течении металла. При высадке фланцев одинаковой

ввиду специфики напряженного состояния течение металла во внутренних фланец затруднено, а значит, не всегда можно получить требуемый диаметральный размер его. В этом случае в технологический процесс предлагается вводить предварительный переход (рис. 9 б,1), в котором плоским пуансоном высаживается наружный фланец с заданным диаметром и высотой за счет установки торца матрицы на определенный уровень при одновременном наборе металла во внутреннее утолщение [4]. На втором переходе (рис. 9 б,2) он высаживается до требуемой высоты. Осуществить способ можно и в одном инструменте за два этапа. Описанные способы использованы при выдавливании деталей "корпус подшипника" (НПО Сибкриотехника, г.Омск) и "штулка" (Оршанский льнозавод).

Интенсифицировать смещение металла внутрь трубы (рис. 9в) или наружу можно коническими (вогнутыми или выпуклыми) пуансонами [9]. Например, при угле наклона образующих конуса к плоскости матрицы в 10^0 течение металла во внутреннее утолщение практически отсутствует. На втором переходе фланец осаживается плоским пуансоном. Этот способ реализован в технологическом процессе изготовления детали "Фланец" с наружным диаметром 120 мм. В результате коэффициент использования металла увеличился в 4,4 раза, получен экономический эффект 37 тыс. рублей.

Высадку трубных заготовок при отношении высоты высаживаемой части к толщине стенки от 2,5 до 3,5 можно произвести двумя коаксиально расположенными кольцевым и цилиндрическим пуансонами (рис. 9 д), представляющими плунжерную пару. На первом этапе высаживают наружное утолщение, а на втором внутреннее - сплошным пуансоном. Пуансоны в процессе высадки воздействуют только на часть торца заготовки. В случае, когда диаметр внутреннего пуансона меньше внутреннего диаметра кольцевого пуансона, то на втором этапе оформляется отросток.

При разработке технологий ХОШ реализованы также перспективные способы штамповки: поперечно-прямое выдавливание стержня с цилиндрической головкой - полуфабриката под выдавливание полый многогранной головки (рис. 9з), комбинированное выдавливание вкладыша со сферической полостью, выдавливание прямое на подпружиненной оправке стакана со ступенчатой наружной поверхностью со стороны отверстия, одновременная штамповка двух плоских изделий в одной матрице и др.

Разработаны и внедрены на предприятиях разных отраслей процессы выдавливания таких изделий: двухстенные стаканы (Электро-механический з-д, г. Омск), цапфа автотракторного прицепа массой 12,5 кг, шпильки двух типов, опора цилиндра (Машзавод, г. Петропавловск), прокладка в виде стержня с развитой полой головкой, гайка с цилиндрической головкой, крышки и заглушки, корпуса магнитов, гайка специальная (Сибкриотехника, г. Омск), вкладыш со сферической полостью, крышка гидросистемы комбайна, специальный болт, головка плунжера, ось, седло клапана (Омскгидропривод), втулка-указатель бытового сифона (Трансмаш, г. Омск), втулка ходовая и корпус (ЗИМ, г. Петропавловск), втулка-магнитопровод (Ом-электроточприбор), гайка с фланцем,

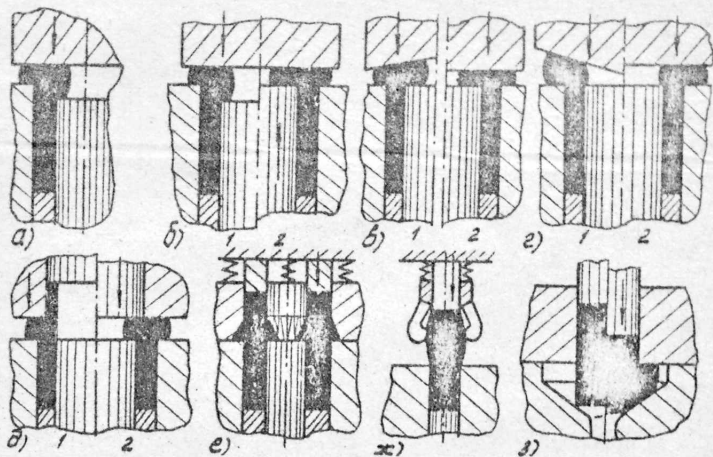


Рис. 9

профиль, ступенчатая втулка и др. (Агрегатный з-д, г. Омск) и многие другие.

Разработка процессов штамповки производилась с учетом простоты получения заготовки, допустимых степеней деформаций, минимального количества переходов при достаточной стойкости инструмента, легкости ориентировки заготовки и полуфабрикатов при загрузке в матрицу и т.д. Формообразующие операции и последовательность их выполнения выбирались из классификатора способов обработки и таблиц возможных вариантов технологий. Именно поэтому оказалось возможным ввести в технологию изготовления корпуса шарнира про-

дольной рулевой тяги автомобиля ГАЗ-24 (внедрена ОПАТП-6) в качестве основной операции обжима трубной заготовки, а для производства Н-образных профилей для сборки цветных витражей Омского музыкального театра вместо многопроходной прокатки прессование. Профиль длиной 1600 м изготовлен в лаборатории обработки металла давлением ОМПИ.

Значительное внимание уделено созданию устройств для деформирования сплошных и полых заготовок, обеспечивающих повышение стойкости инструмента, простоту наладки, расширение технологических возможностей метода холодной объемной штамповки. Например, для высадки и осадки утолщений на стержневых заготовках предложены устройства [5,6], отличающиеся тем, что с целью повышения качества деталей при отношении длины высаживаемой части к толщине стенки больше 2,5 поддерживающий инструмент выполнен в виде одной или нескольких коаксиально установленных цанговых втулок, имеющих возможность осевого перемещения (рис. 9ж). Применение такого инструмента позволяет уменьшить количество переходов штамповки, а в случае набора металла в углубление матрицы с последующей формовкой утолщения в полости, образованной лепестками цанги, производить высадку многогранных головок за один переход [7].

Для расширения технологических возможностей высадки внутренних утолщений предложено [10] использовать инструмент, схема которого представлена на рис. 9е.

Сформулированы и обоснованы принципы конструирования универсальных штамповых блоков с тремя и четырьмя плитами, в которых направляющие колонки и втулки, соединяющие промежуточные плиты, разгружены от изгиба. Сконструированы и внедрены в производство штамповые блоки с верхним расположением колонок на механические, фрикционные и гидравлические прессы.

Разработаны оригинальные устройства для обжима трубных заготовок во вращающейся матрице, для комбинированного и поперечно-прямого выдавливания и др. [8,11,12].

Результаты исследований используются в учебном процессе в лекционных курсах "Теория обработки металлов давлением", "Системы автоматизированного проектирования", "Специальные виды обработки давлением", в курсовом и дипломном проектировании, а также в системе переподготовки инженерных кадров.

5. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

5.1. Предложена принципиально новая концепция конструктивно-технологической классификации изделий полых и стержневых, получаемых методами точной объемной штамповки, составленной таким образом, чтобы объединить в группы схожие по форме изделия, частично технологически ориентированная с учетом использования ограниченного набора способов для создания простых алгоритмов разработки всех возможных вариантов технологических процессов изготовления группы однотипных изделий.

5.2. Разработана конструктивно-технологическая классификация способов точной объемной штамповки (холодной, полугорячей), включающая разнообразные операции выдавливания и высадки, объединенные в группы по преимущественному направлению течения металла и с учетом конструктивной сложности инструментальных наладок; классификация позволяет составить представление об основных способах деформирования сплошных и трубных заготовок, с применением которых можно производить формовку изделий определенных типов, сравнивать сложность инструментальных наладок. Блочная компоновка способствует развитию и расширению классификации.

5.3. Конструктивно-технологические классификации изделий и способов штамповки позволили составить два типа специальных таблиц: возможных вариантов технологических процессов для группы изделий и возможных вариантов технологий изготовления конкретных изделий. Эти таблицы, по сути, являются сборниками алгоритмов проектирования технологических процессов, куда занесены заимствованные существующие и оригинальные процессы, а также процессы, рассчитанные с дроблением деформации с целью повышения стойкости инструмента в условиях массового производства. Оценка вариантов технологии по количеству переходов, нагрузкам на инструмент, по сложности наладок позволяет выбрать экономичный технологический процесс, сформулировать требования при выборе и создании универсального или специализированного оборудования.

5.4. Сформулированы и обоснованы принципы унификации расчетных схем и математических моделей процессов комбинированного и совместного выдавливания. Схемы могут быть сформированы из блоков, которых определены поля скоростей, или из "базовых" и "дополнительных" расчетных схем для анализа процессов выдавливания изделий

из "высоких" заготовок.

5.5. На основе изучения кинематики течения металла, обобщения результатов исследований предложена универсальная методика определения предельного коэффициента выдавливания изделий с коническими поверхностями; она основана на гипотезе плоских сечений и методике расчета истощения ресурса пластичности материала изделия.

5.6. Разработана методика построения и расчета технологических процессов выдавливания полых изделий с многогранной наружной поверхностью, основанная на возможности управления заполнением рабер за счет изменения формы и размеров исходной заготовки, введения специфических приемов формирования полуфабрикатов и изделий; разработана инженерная методика расчета силового режима выдавливания.

5.7. Методика проектирования и процессы ХОИ внедрены на предприятиях Минсупром, Минкриогенмаш, Минтракторосельхозмаш, Минавтопром и других отраслей. Общий экономический эффект от внедрения процессов и оснастки составил более 700 тыс.рублей /в цехах до 01.01.92 г./

5.8. По результатам исследований изданы пять учебных пособий, в которых приведены классификации способов обработки изделий, конструкции универсальных штамповых блоков, типовые решения по построению технологических процессов и т.д., три брошюры, руководящие технические материалы для предприятий Министерства тяжелого энергетического и транспортного машиностроения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В РАБОТАХ

1. Евстифеев В.В., Осинных В.Я. Методика выбора варианта технологического процесса холодной объемной штамповки: Учебное пособие. - Омск: ОмПИ, 1973. - 73 с.

2. Евстифеев В.В. Расчет и проектирование технологических процессов штамповки гвек // Проектирование процессов и конструкции штампов горячей и холодной объемной штамповки. - М.: МДНТП, 1967. - С. 157 - 168.

3. Производство полуфабрикатов и изделий холодным выдавлива-

нием / В.А. Головин, А.Н. Митькин, В.В. Евстифеев, В.Н. Попов. - М.: НИИТАвтопром, 1968. - 65 с.

4. Колесников В.М., Евстифеев В.В. К вопросу оптимизации операции холодного совмещенного выдавливания // Пути совершенствования технологии холодной объемной штамповки и высадки: Тез. докладов Всесоюзной научно-технической конференции. - Омск, 1978. - С.137-143.

5. Евстифеев В.В. Выбор формы заготовки при холодном выдавливании многогранных деталей // Машины и технология обработки металлов давлением (Омск). - 1967. - №2. - С. 52 - 59.

6. Норицын И.А., Головин В.А., Евстифеев В.В. О кинематике течения металла при холодной объемной штамповке полых многогранных деталей. // Кузнечно-штамповочное производство. - 1968. - №7 - С. 7 - 12.

7. Разработка типовых процессов штамповки шаровых пальцев / В.В. Евстифеев, В.А. Головин, А.Н. Митькин, И.К. Букин-Батырев // Машины и технология обработки металлов давлением и литейное производство. - Омск: Зап.-Сиб.кн. изд-во, 1970. - с.75-79

8. Кинематика формоизменения на стационарной стадии холодного обратного выдавливания осесимметричных деталей / В.Н. Перетятко, М.М. Фейгин, В.М. Колесников, В.В. Евстифеев // Машины и технология обработки металлов давлением и некоторые вопросы получения машиностроительных материалов. - Омск: ОмПИ, 1973. - С.37-44.

9. Штампы и инструменты для холодной объемной штамповки / В.В. Евстифеев, В.В. Грязнов, В.П. Кокоулин и др.: Учебное пособие. - Омск: ОмПИ, 1975. - 139 с.

10. Евстифеев В.В., Подколзин Г.П. Методика построения геометрии инструмента при холодном выдавливании конических стаканов // Кузнечно-штамповочное производство. - 1978. - №3. - С. 11-13.

11. Евстифеев В.В. Технология и оснастка специальных способов обработки металлов давлением: Учебное пособие. - Новосибирск: НИСИ, 1977. - 88 с.

12. Евстифеев В.В., Маркечко И.В., Грязнов В.В. Анализ технологических параметров при осесимметричном выдавливании с использованием унифицированных расчетных схем // Совершенствование процессов объемной штамповки. - М.: МДНТИ, 1980. - с.141-145.

13. Евстифеев В.В., Артеc А.Э. Классификация технологических процессов холодной объемной штамповки. Вопросы групповой технологии: Учебное пособие. - М.: Машиностроение, 1980. - 80 с.

14. Евстифеев В.В., Маркечко И.В., Грязнов В.В. Разработка унифицированных расчетных схем для проектирования технологических процессов холодного осесимметричного выдавливания. // Малоотходные технологические процессы холодной объемной штамповки. - М.: МОССТАНКИН, 1984. - Вып. I. - С. 96-III.

15. Евстифеев В.В. Некоторые вопросы холодного деформирования // Вопросы кузнечно-прессового и литейного производства. - Омск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1970. - С. 52-57.

16. Евстифеев В.В., Осинны В.Я. Разработка и промышленное освоение процесса объемной штамповки изделий и точных заготовок // Объемная штамповка. - М.: МДНТП, 1973. - С. 93-97.

17. Конструирование штампов для холодной объемной штамповки / Г.А. Навроцкий, В.А. Головин, В.В. Евстифеев и др. // Обзор.- НИИМАШ: Серия С-6-2. - 1976. - 67с.

18. Реализация группового метода технологической подготовки производства осесимметричных деталей объемной штамповки. / В.В. Евстифеев, В.В. Грязнов, И.В. Маркечко и др. // Расчеты на прочность и малоотходные технологии в машиностроении: Труды Омского политех. ин-та. -Омск.- ОмПИ, 1987. - С. 58-63.

19. Штампы для холодной объемной штамповки / Г.А. Навроцкий, В.А. Головин, В.В. Евстифеев и др. //Обзор.- НИИМАШ, Серия С-6-2. 1977. - 63 с.

20. Евстифеев В.В. Расчет усилий при обратном выдавливании поых изделий // Вопросы кузнечно-прессового и литейного производства. - Омск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1970. - С. 17-24.

21. Конструкции штампов для холодной штамповки на универсальных прессах / В.В. Евстифеев, В.П. Кокоулин, В.М. Колесников и др. // Кузнечно-штамповочное производство. - 1978. № 4.- С. 17-20.

22. Теория и технология бьсадки и выдавливания изделий из трубных заготовок / В.В. Евстифеев, В.П. Кокоулин, С.А. Шильниковский и др. // Пути повышения эффективности холодно-штамповочного производства.- Л.: ЛДНТИ, 1987. - С. 48-53.

23. Холодная штамповка заготовки "цапфа оси" тракторного прицепа / В.В. Евстифеев, В.М. Колесников, В.А. Коновалов и др. // Кузнечно-штамповочное производство. - 1987.- № 9. - С. II-12.

24. Евстифеев В.В., Ланской В.Н., Грязнов В.В. Автоматизация проектирования процессов холодной объемной штамповки и создание систем автоматизированного производства: Учебное пособие - М.: Машиностроение, 1988. - 68 с.

25. Евстифеев В.В., Маркечко И.В., Грязнов В.В. Разработка технологических процессов выдавливания деталей со ступенчатой наружной поверхностью // Автомобилестроение. Отеч.произв.опыт: Экспресс-информ. / Филиал ЦНИИТЭИавтопрома(Тольятти). - 1987.- Вып. 13. - С. 13-16.

26. Евстифеев В.В., Игнатович И.А., Кокоулин В.П. Малоотходная объемная штамповка деталей типа стакана с хвостовиком //Автомобилестроение. Отеч.произв.опыт:Экспресс-информ. / Филиал ЦНИИТЭИавтопрома(Тольятти). - 1987.- Вып. 13. - С. 16-18.

27. Евстифеев В.В., Гаврилов Г.Н., Маркечко И.В., Оптимизация технологических решений с использованием ЭЦВМ // Перспективы производства точных заготовок и деталей методами объемного деформирования. - М.: - МДНТП, 1990. - С. 25-28.

28. Евстифеев В.В. Силовой режим выдавливания полых деталей с многогранной наружной поверхностью / Омск. политехн. ин-т.- Омск, 1991. - 47 с. (Деп.рук. ВИНТИ №3236-В91).

29. Евстифеев В.В., Колесников В.М. Разработка алгоритма и программы расчета на ЭВМ силовых и кинематических параметров операции холодного обратного совмещенного выдавливания // Машины и технология обработки металлов давлением: Труды Омского политехн. ин-та. - Омск. - ОмПИ, 1975. - С. 68-77.

30. Евстифеев В.В. Использование унифицированных расчетных схем и математических моделей при разработке деталей // Проблемы машиностроения и металлообработки: Сборник трудов Омского политехнического института. - Омск.-ОмПИ 1992. - С. 47-54.

31. Евстифеев В.В., Маркечко И.В., Гаврилов Г.Н. Групповой метод технологической подготовки производства изделий с конической головкой. // Системы автоматизированного проектирования в кузнечно-штамповочном производстве: Тез.докладов Всесоюзной научно-

-технич. конференции (Свердловск, II-III октября 1988г.).- М.: 1988. - С.203-205.

32. Евстифеев В.В. Конструкторско-технологические классификации способов холодной объемной штамповки и получаемых с их использованием изделий. / Омский политехнический институт - Омск. 1992. - 26 с. (Деп. ВИНТИ, - № 2775-В92).

33. Подколзин Г.П., Евстифеев В.В. Расчет предельной пластической деформации при холодном выдавливании заготовки в суживающийся зазор между матрицей и оправкой. // Пути совершенствования технологии холодной объемной штамповки и высадки: Тез. докладов Всесоюзной научно-технической конференции.- Омск, 1978,- С. 131-134.

НОВИЗНА СПОСОБОВ ШТАМПОВКИ И УСТРОЙСТВ ЗАЩИЩЕНА АВТОРСКИМИ СВИДЕТЕЛЬСТВАМИ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ: № 927402; № 968400; № 1003986; № 1020177; № 1074647; № 1106570; № 1323181; № 1355339; № 1355341; № 1593774; № 1593775; № 869928; № 1736669, № 997940.

