

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

ВИННИЦКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ГАЙДАМАК ОЛЕГ ЛЕОНИДОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОВ
ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОЛОСТЕЙ В ЗАГОТОВКАХ ИЗ
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Специальность: 05.03.05 "Процессы и машины
обработки давлением"

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

г. Винница

1994г.

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Винницком политехническом институте.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Огородников Виталий Антонович.

Официальные оппоненты

Заслуженный деятель науки и техники Украины, доктор
технических наук, профессор Розенберг Олег Александрович.

Кандидат технических наук, доцент Алиев Ибрагим
Серафуддинович.

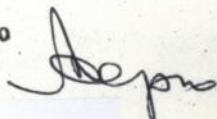
Ведущая организация - институт материаловедения АН Украины.

Защита диссертации состоится "02" 06 1994г. *В 14³⁰*
на заседании специализированного ученого совета К 10.01.02
при Винницком политехническом институте по адресу
286021 г.Винница, Хмельницкое шоссе, 95.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Винницкого политехнического института.

Автореферат разослан "26" 04 1994г.

Ученый секретарь
специализированного
ученого совета



Дерибо А.В.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00810499 (V)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современный этап развития обработки металлов давлением характеризуется совершенствованием существующих и созданием новых технологических процессов, позволяющих существенно сократить потери металла и повысить производительность труда. Важное место среди них занимает процесс холодной пластической деформации дорогостоящих высоколегированных инструментальных сталей. Известно, что холодная объемная деформация этих сталей уменьшает балл карбидной неоднородности и размер аустенитного зерна, что улучшает их физико-механические характеристики. Инструмент, изготовленный методами холодной объемной деформации, имеет более высокую стойкость.

В настоящее время все более широкое распространение методов холодной объемной деформации в инструментальном производстве происходит за счет применения таких технологий как выдавливание полостей сложной конфигурации с применением облегчающих камер, выдавливание радиальным обжатием, выдавливание с полезным действием сил трения, деформирование с промежуточной термообработкой и др. Однако широкое внедрение процессов деформирования инструментальных сталей в производство встречает ряд трудностей, среди которых основными являются: низкая пластичность инструментальных сталей, высокое сопротивление деформированию, отсутствие полной информации о напряженно-деформированном состоянии в процессах пластического формоизменения заготовок инструментального производства.

Несмотря на большой интерес исследователей к осесимметричным процессам холодного объемного деформирования методы опреде-

ления напряженно-деформированного состояния в них развиты не достаточно. Аналитические решения осесимметричных задач связаны со значительными математическими трудностями и часто базируются на недостаточно обоснованных допущениях. В связи с этим, а также развитием вычислительной техники существенную роль продолжают играть экспериментально-расчетные методы решения объемных осесимметричных задач пластичности. Все это обуславливает актуальность темы работы, посвященной дальнейшему развитию экспериментально-расчетных методов определения напряженно-деформированного состояния, совершенствованию на основе феноменологической теории деформируемости таких процессов как выдавливание радиальным обжатием, деформирование с промежуточной термообработкой, а также разработке нового для инструментального производства процесса выдавливания с полезным действием сил трения и создания оборудования для этой цели.

Цель работы. Совершенствование известных и разработка новых способов холодного выдавливания полостей в заготовках из инструментальных сталей на основе феноменологической теории деформируемости металлов и исследования напряженно-деформированного состояния, а также разработка оборудования для осуществления новых способов холодного выдавливания.

Научная новизна. Предложен новый метод расчета напряженно-деформированного состояния при моделировании нестационарных процессов осесимметричного деформирования заготовок, не имеющих свободной поверхности. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния по этому методу получили экспериментальное подтверждение. Исследовано напряженно-деформированное состояние и контактные напряжения при выдавливании заготовок из инструментальных

сталей методом радиального обжатия. Получены значения использованного ресурса пластичности в опасной зоне заготовки. Исследованы закономерности восстановления запаса пластичности инструментальной стали при деформировании с промежуточной термообработкой. Исследовано влияние истории деформирования на закономерности восстановления запаса пластичности при деформировании с промежуточной термообработкой. Предложена методика расчета предельно допустимой степени деформации при деформировании с промежуточной термообработкой, при которой ресурс пластичности каждого этапа деформирования рассчитывается относительно новой диаграммы пластичности, построенной с учетом восстановления запаса пластичности в результате отжига.

Практическая ценность и реализация работы в промышленности.

Полученные значения использованного ресурса пластичности при выдавливании радиальным обжатием позволяют гарантировать бездефектное получение шестигранных полостей. Эпюры контактных напряжений при выдавливании радиальным обжатием позволили выявить наиболее неблагоприятные области, в которых наблюдается резкий рост напряжений. Даны практические рекомендации по совершенствованию этого процесса.

Разработанная методика расчета предельно допустимой степени деформации при деформировании с промежуточной термообработкой позволяет научно обоснованно назначать технологические переходы процессов выдавливания радиальным обжатием квадратных, треугольных и др. полостей, а также других процессов, при которых формоизменение без разрушения за один переход невозможно.

Разработана конструкция штампа для выдавливания матриц с

криволинейным профилем. Даны практические рекомендации по проектированию новых штампов для выдавливания различных заготовок, обеспечивающих формоизменение без разрушения с минимальными усилиями деформирования. Экономический эффект от внедрения результатов исследований в промышленности составил 26 тысяч рублей в год.

Публикации и апробация работы.

По результатам работы опубликовано шесть статей и получено 2 авторских свидетельства на изобретение. По материалам работы сделаны сообщения на третьем межотраслевом научно-практическом совещании "Проблемы повышения качества деталей и эффективности процессов холодной объемной штамповки". (г. Белебей - 1985), на республиканской научно-технической конференции "Высокоэффективные локальные методы обработки металлов давлением" (г. Краматорск - 1984), на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и сотрудников Винницкого политехнического института по итогам научной деятельности (1983-1992).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы из 102 наименований. Общий объем работы составляет 175 страниц машинописного текста 53 рисунков и 3 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечено, что в последние годы технология холодного объемного деформирования изделий инструментального производства достигла значительных успехов. Развитию и внедрению в производство процессов холодного объемного деформирования спо-

сообствовали работы Е.П.Унксова, Г.А.Смирнова-Аллева, И.П.Ренне, А.Г.Овчинникова, В.Л.Колмогорова, О.А.Ганаго, Г.Д.Деля, А.А.Коставы, В.А.Огородникова, А.И.Химбаги, В.А.Головина, Д.П.Кузнецова, А.Ю.Кахара, Х.Х.Мянда, Д.С.Лернера, М.И.Швецца, Г.В.Бунатяна, А.В., А.В.Лясникова, О.А.Розенберга и др.

Более широкое использование методов холодного объемного деформирования изделий из инструментальных сталей сдерживается из-за недостаточной информации о механике пластического формоизменения. В диссертации обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы основные цели и задачи исследования.

В первой главе дана характеристика и анализ процессов холодного выдавливания полостей в инструментальных сталях. Показано, что в последние годы все более широкое распространение получают методы выдавливания полостей с применением облегчающих камер, выдавливание радикальным обжатием, а также деформирование с промежуточной термообработкой. По результатам большого объема экспериментальных исследований процесса выдавливания радиальным обжатием выбран оптимальный угол обжатия и некоторые другие технологические параметры. Однако достаточно полные решения, дающие надежный комплекс сведения о напряженно-деформированном состоянии, использованном ресурсе пластичности, контактных напряжениях, действующих на остастку и их распределение, отсутствуют, что сдерживает совершенствование данного процесса. При изготовлении изделий методами холодного объемного деформирования из инструментальных сталей, важное место занимает вопросы снижения усилия деформирования. Одним из методов снижения усилия деформирования является метод выдавливания с полезным действием сил трения. В частности известно, что может быть достигнуто снижение удельного уси-

лия деформирования по сравнению с традиционным методом обратного выдавливания на 30-35%. Однако в известной нам литературе отсутствуют данные о выдавливании инструментальных сталей с полезным действием сил трения. Кроме того, остается неясным вопрос деформируемости инструментальных сталей по этой схеме. Внедрение этого метода сдерживается из-за сложности необходимого оборудования.

В некоторых случаях для достижения значительных пластических деформаций, пластичность материала при деформировании указанными методами оказывается недостаточной, и деформируемый материал разрушается. В этих случаях для достижения требуемой степени деформации без разрушения необходимо ввести промежуточную термообработку (отжиг). Известно, что на восстановление запаса пластичности существенное влияние оказывает температура отжига, время выдержки, структурные преобразования, происходящие в отжигаемом материале, предварительная степень деформации. Однако в известной нам литературе отсутствуют данные о восстановлении запаса пластичности инструментальных материалов при отжиге. Кроме того нам неизвестны данные о влиянии истории деформирования на восстановление ресурса пластичности при деформировании с промежуточной термообработкой. Методика расчета режимов холодного деформирования с промежуточным отжигом сводится к расчету использованного ресурса пластичности на каждом отдельно взятом переходе и не отражает общую динамику процесса, при котором происходит увеличение предельного значения пластичности материала заготовки в результате отжига.

Существенную роль в решении объемных осесимметричных задач пластичности играют экспериментально-расчетные методы, однако

их применение при моделировании процессов обработки металлов давлением, не имеющих свободной границы в процессе деформирования, затруднительно из-за неопределенности в задании граничных условий.

На основе анализа процессов холодного выдавливания формулируются следующие задачи:

1. Исследовать напряженно-деформированное состояние и контактные напряжения при выдавливании заготовок из инструментальных сталей методом радиального обжатия. Оценить использованный ресурс пластичности. Дать практические рекомендации по совершенствованию данного процесса.

2. Разработать и исследовать процесс выдавливания матриц криволинейного профиля, основанный на выдавливании с полезным действием сил трения.

3. Разработать конструкцию штампа для выдавливания с полезным действием сил трения и методику ее расчета.

4. Исследовать закономерности восстановления запаса пластичности инструментальной стали при деформировании с промежуточной термообработкой.

5. Исследовать влияние истории деформирования на восстановление запаса пластичности при деформировании с промежуточной термообработкой.

6. Разработать методику расчета предельно-допустимой степени деформации при деформировании с промежуточной термообработкой,

которая отражала бы общую динамику процесса изменения предельного значения пластичности материала заготовки в результате отжига между переходами.

7. Предложить новый метод расчета напряженно-деформированного состояния при моделировании нестационарных процессов осесимметричного деформирования заготовок, не имеющих свободной поверхности.

Во второй главе исследован процесс выдавливания радиальным обжатием, схема которого представлена на рис. 1.

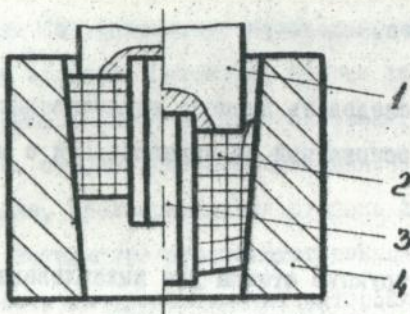


Рис. 1

Анализ механики деформирования проводили экспериментальным методом. В меридиональном сечении заготовки из стали Р6М5 наносили координатную сетку с шагом 2 мм, координаты узлов которой служили исходной информацией для расчета напряженно-деформированного состояния.

Расчет напряженного состояния проводили по методике, разработанной М.А.Рвачевым:

По этой методике расчетное поле напряжений определяется в виде выражения, тождественно удовлетворяющего уравнениям равновесия и статическим граничным условиям

$$\sigma_{ij} = \sum_{k=1}^n c_k \sigma_{ij,k} + \sigma_{ij,0}, \quad (1)$$

где $\sigma_{ij,k} (k=1, n)$ - известные поля напряжений, причем $\sigma_{ij,0}$ удовлетворяет заданным силовым граничным условиям и уравнениям равновесия внутри области, а $\sigma_{ij,k}$ при $k > 0$ удовлетворяет однородным силовым условиям на границе и так же уравнениям равновесия внутри области. Коэффициенты c_k в формуле (1) определяли из условия минимальности среднеквадратичного отклонения девиаторов $S_{ij} = \sigma_{ij} - \sigma_0 \delta_{ij}$ от девиаторов \bar{S}_{ij} , найденных по экспериментально полученной искаженной делительной сетке на основании физических уравнений. (σ_0 - гидростатическое давление).

Поля напряжений $\sigma_{ij,k}$ строились методом P - функций с помощью функций напряжений Максвелла - Морера на базе последовательности кубических двумерных B - сплайнов, заданных на равномерной прямоугольной сетке, накрывающей расчетную область.

Данный метод позволяет рассчитывать напряженное состояние осесимметричных процессов холодного объемного деформирования и получать расчетные поля напряжений, тождественно удовлетворяющие всем уравнениям равновесия, а вычислительные алгоритмы не зависят от геометрии образца.

Степень деформации ϵ_{ij} определяли по всему объему деформируемой заготовки по формуле

$$e_u = \int_0^t \dot{e}_u dt, \quad (2)$$

где

$$\dot{e}_u = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\dot{e}_y - \dot{e}_z)^2 + (\dot{e}_r - \dot{e}_\varphi)^2 + (\dot{e}_z - \dot{e}_r)^2} + \frac{3}{2} \dot{\gamma}_{rz}^2, \quad (3)$$

$\dot{\gamma}_{rz}$, \dot{e}_r , \dot{e}_z , \dot{e}_φ - компоненты тензора деформаций.

На основании этой методики разработан пакет прикладных программ для расчета на ЭВМ ЕС-1022 напряженно-деформированного состояния по ИДС, нанесенной в меридиональном сечении образца, позволяющий автоматизировать процесс расчета напряжений для осесимметричных процессов ОМД.

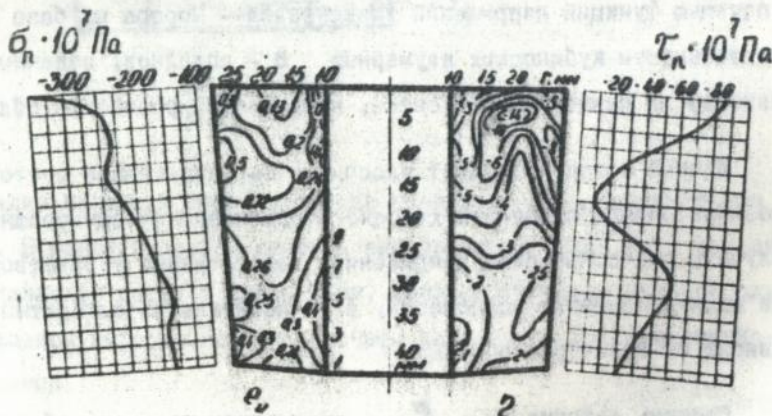


Рис.2.

В результате расчета процесса ВРО для заготовок из инструментальной стали Р6М5 получены поля напряжений σ_r , σ_z , σ_φ , τ_{rz} , поля показателя напряженного состояния ρ и степени деформации e_u для трех стадий деформирования. На рис.2 представлены поля ρ и e_u для последней стадии деформирования.

На основании полученного НДС был определен использованный ресурс пластичности по методике В.А.Огородникова, учитывающий влияние третьего инварианта тензора напряжений и истории деформирования на пластичность. Результат расчета показывает, что запас пластичности деформируемого металла позволяет обеспечить формоизменение заготовки при заданных параметрах без разрушения, а использованный ресурс пластичности в наиболее опасной точке для стали Р6М5 равен 0,54.

Оценка прочности оснастки и усилия выдавливания проводились по рассчитанным контактным напряжениям, эпюры которых приведены на рис. 2.

Из анализа эпюр контактных напряжений, действующих на матрицу можно сделать вывод о том, что в зоне прилегающей к верхней части заготовки имеет место резкий рост контактных напряжений, превышающих значения напряжений в средней части заготовки в два раза. Этот рост напряжений можно объяснить тем, что на последней стадии деформирования материал заготовки вытесняется в зазор между матрицей и толкателем, где происходит его закрепление. Для того чтобы избежать этого, необходимо выполнять фаски на верхней части заготовки. Это исключит зацеменение материала заготовки между матрицей и толкателем. В результате, уменьшатся максимальные

контактные напряжения действующие на матрицу и толкатель, повысится срок их службы.

В третьей главе проведено исследование процесса изготовления матриц с криволинейным профилем для осесимметричного прессования методом выдавливания с полезным действием сил трения.

Силы трения являются полезными в том случае, когда их действие способствует течению металла заготовки. Схема процесса представлена на рис. 3.

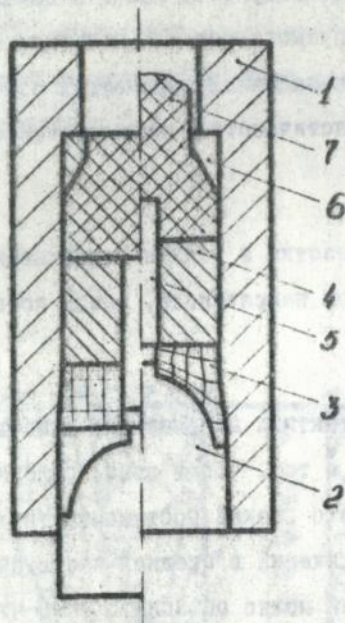


Рис. 3.

В контейнере I размещены пуансон 2, заготовка 3, противоположный пуансон 4, содержащий вкладыш 5, вспомогательную матрицу 6 и вспомогательную деформируемую среду 7.

Величину вклада сил трения варьировали путем изменения геометрии вспомогательной деформируемой среды (свинца) 7. Установлено, что с увеличением хода противоположнонаправленного 4 наблюдалось существенное снижение усилия деформирования. По сравнению с обратным выдавливанием (противоположнонаправленный неподвижен) удалось снизить общее усилие деформирования более чем на 50%, при этом вклад сил трения, способствующих течению металла в процессе формоизменения заготовки, был максимальным.

Исследование напряженно-деформированного состояния проводили экспериментально-расчетным методом по искажению координатной сетки, нанесенной в меридиональном сечении заготовки.

Область применения экспериментально-расчетных методов не ограничивается расчетами для тех образцов, на которых получена экспериментальная информация. Использование ряда гипотез, нашедших практическое подтверждение, открывает возможность их применения для моделирования процессов. Известно, что при соответствующем подборе граничных условий деформированное состояние оказывается близким даже для тел, относящихся к различному классу (в дальнейшем предположение об идентичности деформированного состояния модельного и натурального образца будем называть "гипотезой о кинематическом подобии"). Полагая кинематику, полученную на модельном образце, идентичной натуральным образцам из других материалов, можно перейти к напряженному состоянию и к оценке деформируемости, используя кривые течения, диаграммы пластичности и другие характеристики материала натуре. Однако, при реализации такого подхода возникают проблемы, связанные с тем, что для восстановления тензора напряжений по девматору напряжений необходимо до-

Полнительное условие (усилие деформирования, закон трения или другие граничные условия), которые для натурального образца неизвестны.

Использование для расчета напряжений граничных условий на свободной поверхности заготовки матрицы (как в случае с процессом выдавливания радиальным обжатием) не представляется возможным, так как на последнем этапе деформирования эта граница практически отсутствует. В. А. Огородниковым и другими показано, что пути деформирования $\rho = \rho(\epsilon_0)$ для материалов с различными механическими свойствами оказываются близкими. В дальнейшем предположение о близости путей деформирования модели и натуре будем называть "гипотезой о подобии путей деформирования". В сочетании с гипотезой о кинематическом подобии она приводит к утверждению о подобии полей показателя напряженного состояния ρ . Указанное предположение впервые использовано нами как дополнительное условие, необходимое при определении напряженного состояния заготовки из материала натуре. Схема расчета при этом состоит в том, что девиаторы натурального образца определяются по кинематике модельного образца и кривой течения $\sigma_{ij} = f(\epsilon_0)$ материала натуре. Далее находим гидростатическую составляющую тензора напряжений σ_0 так, чтобы напряжения в натурном образце удовлетворяли уравнениям равновесия, а поле показателя напряженного состояния ρ было близко соответствующему полю модельного образца.

По данной методике были рассчитаны поля напряжений $\sigma_r, \sigma_z, \sigma_\theta, \tau_{rz}$ для заготовки из стали Р6М5. Деформированное состояние рассчитывали по соотношению (2). Достоверность полученных

расчетных результатов была подтверждена определением интенсивности напряжений и степени деформаций по распределению твердости деформированного металла, при этом расхождения численных значений σ_u не превышали 13%, а $\epsilon_u = 10\%$.

При анализе напряженно-деформированного состояния установлено, что показатель напряженного состояния изменяется от минус двух до минус шестнадцати, т.е. формоизменение происходит в условиях всестороннего сжатия. Причем зоны максимальных деформаций приходятся на зоны максимального всестороннего сжатия. Зоны минимальных деформаций $\epsilon_u = 0,1$ находятся вблизи свободной поверхности, а на самой свободной поверхности деформации практически отсутствуют. Таким образом, можно предположить, что при таком характере распределения напряженного и деформированного состояния разрушение материала заготовки не произойдет.

Широкое внедрение данного процесса в производство сдерживается из-за несовершенства и сложности имеющегося оборудования, поэтому нами была предложена конструкция штампа (рис.4).

Штамп работает следующим образом. В исходном положении рабочая среда гидросистемы, подаваемая под давлением через магистраль 4 и обратный клапан 5 в полость контейнера противодействия, удерживает противоуансон 7 в крайнем верхнем положении. При этом слив производится через сливное отверстие 12 и 13. При движении пуансона 26 усилие деформирования через заготовку 2 передается на противоуансон 7. При его перемещении вниз сливное отверстие 13 перекрывается втулкой 14. Созданное при этом избыточное давление закрывает обратный клапан 5. Рабочая среда при этом сливается через клапан 6.

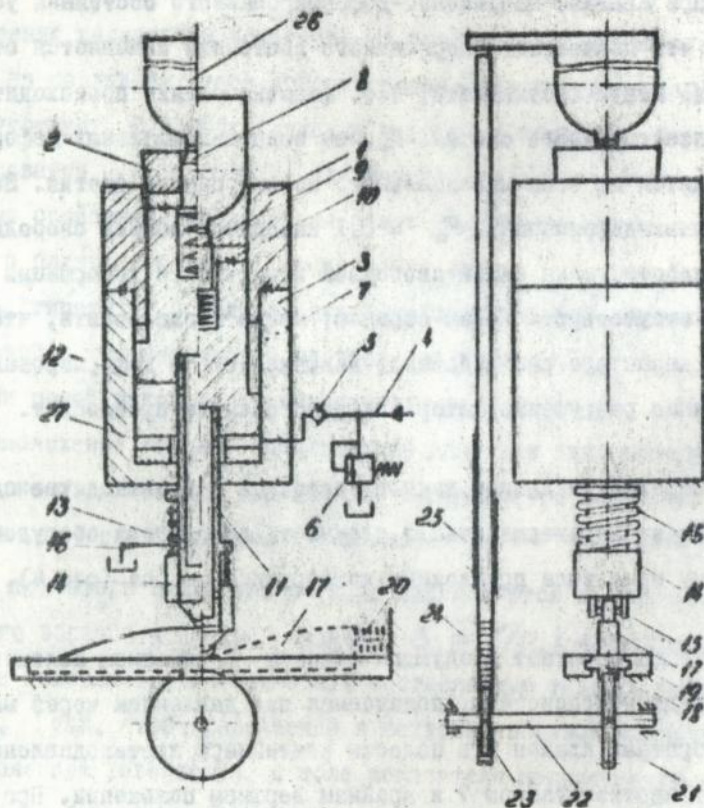


Рис. 4.

Созданное таким образом противодействие препятствует перемещению противоуансона. Заготовка 2 зажимается между пуансоном и противоуансоном. При дальнейшем движении пуансона 26 приходит в движение звенья кинематической цепи 24, 23, 22, 21, 18, перемещая копир 17 вправо. При этом втулка 14 под действием копира 17 открывает сливное отверстие 13, часть рабочей среды стравливается на слив, и противоуансон 7 отслеживает перемещение втулки 14 до завершения процесса деформирования. При перемещении пуансона 26 вверх, звенья кинематической цепи под воздействием пружины 20 занимают свое исходное положение. При этом втулка 14 перекрывает сливное отверстие 13, и давление рабочей среды поднимает противоуансон вверх, выталкивая выдавленную заготовку.

Таким образом, перемещение рабочих органов штампа жестко связаны кинематической цепью, при этом закон взаимосогласованного перемещения рабочих органов может быть задан по любой сложной функции, при помощи изменения профиля копира и передаточного отношения зубчатых колес, при этом звенья кинематической цепи не воспринимают усилия деформирования. Процесс извлечения заготовки из штампа автоматизирован. Конструкция штампа позволяет использовать его на стандартном кузнечно-прессовом оборудовании в условиях гибкого современного производства. Новизна данной конструкции подтверждена авторским свидетельством на изобретение.

Предложена методика расчета звеньев кинематической цепи и профиля копира, позволяющая обеспечить формоизменение заготовок различного профиля без разрушения с минимальным усилием деформирования.

В четвертой главе исследованы закономерности восстановления запаса пластичности в условиях сложного деформирования инструментальных сталей с промежуточной термообработкой.

Проведено моделирование процессов холодного объемного деформирования с промежуточным отжигом при следующих видах нагружения: растяжение, кручение, осадка с различными условиями трения на торцах образцов, растяжение с кручением. Всего испытано 180 образцов. Все образцы изготавливали из стали Р6М5. Заготовки для образцов брались из одной партии металла. Образцы доводились до различных стадий предварительной деформации (по три образца на каждую точку), затем производили отжиг в электропечи при температуре 780°C с выдержкой 1 час (охлаждение с печью), после чего деформировали до разрушения.

По результатам экспериментальных исследований была построена зависимость $\psi_2 = \sqrt{\psi_1}$ (где ψ_1 и ψ_2 - использованный ресурс пластичности до и после отжига соответственно) и рассчитаны доверительные интервалы с надежностью 0,95 для простых видов деформирования (растяжение, кручение, осадка со смазкой торцев, $\eta = \text{const}$) и для сложных видов деформирования (растяжение с кручением, осадка без смазки торцев $\eta = \sqrt{(\sigma)}$). Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о слабом влиянии истории деформирования (для данных видов испытаний) на закономерности восстановления запаса пластичности при промежуточной термообработке, а закономерности восстановления запаса пластичности стали Р6М5 хорошо согласуются с результатами, полученными Смирновым С.В., Богатовым А.А., Колмогоровым В.Л. для сталей 20, СТЗ и др.

Предложена методика расчета предельно-допустимой степени деформирования с промежуточной термообработкой. Отличительной особенностью данной методики является расчет использованного ресурса пластичности на каждом этапе деформирования относительно новой диаграммы пластичности, отражающей изменение предельной пластичности материала заготовки, в зависимости от величины предварительной деформации и восстановления запаса пластичности отжигом. Исходными данными для проведения расчета являются: диаграмма пластичности материала заготовки; пути деформирования частиц материала опасных зон заготовки; экспериментальная зависимость $\psi_2 = f(\psi_1)$ для конкретного вида термообработки. Расхождение экспериментальных и расчетных значений ρ_p , полученных по данной методике, не превышало 16%.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Исследовано напряженно-деформированное состояние процесса выдавливания радиальным сжатием шестигранной полости. Получено распределение напряжений и деформаций по всему объему заготовки. Для наиболее опасной зоны, прилегающей к нижней части мастер-пуансона, рассчитан использованный ресурс пластичности с учетом третьего инварианта тензора напряжений на пластичность. Показано, что полученные значения использованного ресурса пластичности не превышают 0,54, а контактные напряжения, действующие на мастер-пуансон близки к критическим. Анализ эпюр контактных напряжений позволил обоснованно ввести конструктивные изменения заготовки с целью совершенствования процесса.

2. Разработан и исследован процесс выдавливания матриц с криволинейным профилем. Исследовано влияние различных схем дефор-

мирования на распределение степени деформации в объеме заготовки, а также на энергосиловые параметры процесса формоизменения. Установлено, что наиболее оптимальной схемой выдавливания матриц криволинейного профиля является выдавливание с последним действием сил трения, при которой в процессе деформирования происходит перемещение заготовки относительно неподвижной матрицы (контейнера) в направлении, способствующем течению материала заготовки. Кинематика перемещения пуансона и противопуансона рассчитывается из условия постоянства объема заготовки и неизменности положения свободной поверхности торца заготовки по отношению к матрице (контейнеру). Эта схема обеспечивает деформирование без нарушения целостности материала заготовки, а усилие деформирования более чем на 50% меньше, чем при традиционном методе обратного выдавливания.

3. Предложена методика расчета напряженно-деформированного состояния при модальном линии процессов обработки металлов давлением, в которых заготовки при деформировании не имеют свободной поверхности. Достоверность методики подтверждена экспериментально.

4. Разработана конструкция штампа для выдавливания с противоодавлением, позволяющая производить деформирование матриц с криволинейным профилем по наиболее оптимальной схеме. Разработана методика расчета кинематики перемещения пуансона и противо-пуансона для различных форм заготовок, позволяющая при деформировании создавать благоприятную схему напряженно-деформированного состояния с минимальными усилиями деформирования. Конструкция штампа может быть применена на универсальном кузнечно-прессовом оборудовании.

5. Проведено экспериментальное исследование восстановления использованного ресурса пластичности при отжиге после холодной пластической деформации инструментальной стали Р6М5. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами, полученными ранее для других сталей, таких как сталь 20, ст.3 12Х18Н10Т.

6. Установлено, что история деформирования, для исследованных путей деформирования, не оказывает существенного влияния на закономерности восстановления использованного ресурса пластичности при деформировании с промежуточным отжигом.

7. Разработана методика расчета предельной степени деформации при деформировании с промежуточным отжигом. Отличительной особенностью данной методики является расчет использованного ресурса пластичности на каждом этапе деформирования относительно новой диаграммы пластичности, отражающей изменение предельной пластичности материала заготовки в зависимости от величины предварительной деформации и восстановления запаса пластичности отжигом.

Основное содержание работы опубликовано в следующих работах:

1. Бунатян Г.В., Гайдамак О.Л., Деформируемость заготовок при выдавливании радиальным обжатием. // Проблемы повышения качества деталей и эффективности процессов холодной объемной штамповки. Тезисы науч.-тех.конф. - М., 1985 - С.49-50.

2. Гайдамак О.Л., Огородников В.А., Покрас В.Д. Формообразование матриц сложного профиля методом выдавливания с полезным действием сил трения. // Изв. вузов. Черная металлургия, 1987. - № 9 - С. 55-59.

3. Огородников В.А., Рвачев М.А., Гайдамак О.Л. Выдавливание инструментальных сталей. // Кузнечно-штамповочное производство. - 1987. - № 8 - С. 8-11.

4. Гайдамак О.Л., Огородников В.А. Восстановление запаса пластичности в процессе отжига после холодной деформации. // Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении. Учеб. пособие - К.: УМК ВО, 1989. - С.134-136.

5. Огородников В.А., Гайдамак О.Л., Рвачев М.А., Покрас В.Д. Выдавливание инструментальных сталей радиальным обжатием. // Теорияковки и штамповки: Учеб. пособие для студентов машиностроительных и металлургических специальностей вузов. // Е.П.Унксов, У.Джонсон, В.Л.Колмогоров и др.: Под общ. ред Е.П.Унксова, А.Г.Обчинникова, - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1992. - С.106-109.

6. Огородников В.А., Рвачев М.А., Покрас В.Д., Гайдамак О.Л. Моделирование напряженного состояния в процессах объемного формоизменения на основании гипотез о подобии путей деформирования. // Кузнечно-штамповочное производство. - 1991. - С. 2-5.

7. А.С. 990395 (СССР). Штамп для получения режущего инструмент удлиненной формы с зубьями. / Матвеева С.И., Гайдамак О.Л. Оpubл. 1988. Б.И. №3.

8. А.С. 1319998 (СССР). Устройство для выдавливания полостей в заготовках. / Огородников В.А., Гайдамак О.Л., Покрас В.Д., Рвачев М.А. Оpubл. 1987. Б.И. №24.

Оклад

Подписано в печать 15.04.94г.

Зак. № 7. Тир. 100 экз.

Печать офсетная. Бумага типографская № 1.

СКТБ "Модуль", Хмельницкое шоссе, 97.

AB 29.987