М266543

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Московское
Ордена Ленина и ордена Трудового Красного знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

Овчинников Анатолий Георгиевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫДАВЛИВАНИЯ

(Специальность 05.03.05 – Технология и машины обработки давлением)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Город Москва Год 1975

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище им.Н.Э.Баумана

Научные консультанты – Попов Е.А. – заслуженный деятель науки и техники РСФСР,доктор технических наук,профессор, лауреат Государственной премии

Поздеев А.А.– заслуженный деятель науки и техники РСФСР,доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Северденко В.П.– академик АН БССР,доктор технических наук, профессор

Попов С.М. – академик АН Киргизской ССР,доктор технических наук, профессор

Степанский Л.Г.– доктор технических

М266543

Актуальность проблемы. Дальнейшее повышение точности размеров и необходимость изготовления изделий из малопластичных металлов и сплавов определяют основные направления развития технологии и теории обработки давлением.

Технология выдавливания в достаточной степени удовлетворяет указанной тенденции, однако область ее применения остается ограниченной из-за низкой стойкости инструмента и отсутствия специализированного штамповочного оборудования.

Возможность более широкого применения выдавливания и разработки специализированного оборудования для выдавливания неразрывно связана с дальнейшим развитием теории обработки металлов давлением. Последняя должна содержать методы анализа кинематики и напряженно-деформированного состояния для оценки технологических схем деформирования заготовки. На основании анализа кинематики течения и напряженно-деформированного состояния заготовки возможны оценки предельного формоизменения в процессе операций выдавливания. Определение напряжений на контактных поверхностях с инструментом также является задачей теории.

Появляются возможности для выбора оптимальных схем деформирования с точки зрения предельного формоизменения, равномерного распределения деформаций, наименьшего деформирующего усилия или других условий, накладываемых технологическими, конструкторскими или эксплуатационными требованиями.

Данная работа посвящена разработке новой методики исследования кинематики и напряженного состояния заготовки в процессе выдавливания, развитию существующего метода решения приближенных уравнений в теории обработки металлов давлением. В работе предложены новые технологические процессы выдавливания, а также разработаны схемы специализированного штамповочного оборудования для выдавливания.

Цель исследования. Разработка новой методики анализа кинематического и напряженного состояния заготовки в процессах выдавливания; развитие метода решения приближенных уравнений теории обработки давлением; использование этих методов для анализа различных схем выдавливания; разработка новых технологических процессов и специализированного штамповочного оборудования для выдавливания.

№ 966543

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Методы исследования. Теоретический – приближенное решение уравнения функции тока численным методом (метод сеток) и в рядах Фурье с использованием ортогонализации, а также метод решения приближенных уравнений теории обработки давлением.

Экспериментальный – исследование кинематики течения, напряжений на контактных поверхностях и деформирующих усилий.

Научная новизна. Разработка новой методики решения уравнений теории обработки давлением. Показано, что пластическое течение является вихревым; градиент вихря вектора скорости может рассматриваться в качестве дополнительного условия для оценки возможности разрушения. С помощью разработанной методики выявлено количественное влияние изменения условия трения на контактных поверхностях и формы контактных поверхностей, на процесс деформирования; теоретически показано наличие растягивающих напряжений вблизи боковой поверхности при осадке цилиндрической заготовки; аналитически найдены нормальные напряжения на боковой поверхности матрицы при обратном выдавливании; разработана методика расчета образующей матрицы для прямого выдавливания, обеспечивающей обработку малопластичных и труднодеформируемых сплавов.

Апробация работы. Основное содержание исследований опубликовано в 25 статьях и авторских свидетельствах. Результаты исследований использованы при разработке новых технологических процессов выдавливания, при разработке и изготовлении специализированного штамповочного оборудования для выдавливания.

Объем работы. Диссертация содержит 275 страниц машинописного текста; 127 рисунков; 24 таблицы; перечень литературы из 239 наименований; приложение.

В В Е Д Е Н И Е

В решениях XXIУ съезда КПСС подчеркнута необходимость всемерной экономии металла, дальнейшего развития и совершенствования технологии машиностроения.

Поставлена задача неуклонного возрастания удельного веса ковки и штамповки, что позволит повысить коэффициент использования металла, и производительность труда, а также улучшить качество изделий. Прогноз развития технологии ковки и штамповки в нашей стране и за рубежом показывает, что основными направлениями развития являются создание новых и совершенствование существующих технологических процессов, обеспечивающих получение поковок по форме и размерам близким к форме и размерам готовых изделий, получение поковок из малопластичных металлов и сплавов, получение поковок с более равномерным распределением деформаций и изыскание возможности пластического деформирования при приложении меньших деформирующих усилий. Эти требования технологии связаны с необходимостью создания новых кузнечно-штамповочных машин.

Успехи в развитии теории и практики обработки металлов давлением в нашей стране достигнуты благодаря активной и плодотворной деятельности ученых-технологов: Ю.Н.Алексеева, Ю.А. Алюшина, К.Н.Богоявленского, А.Н.Брюханова, О.А.Ганаго, С.И. Губкина, Г.Я.Гуна, А.И.Зимина, А.З.Журавлева, Е.И.Исаченкова, В.Л. Колмогорова, В.Г.Кононенко, Н.И.Корнеева, Е.М.Макушка, А.Н.Малова, В.Т.Мещерина, Е.Н.Мошнина, И.А.Норицына, Я.М.Охрименко, И.М.Павлова, И.Л.Перлина, Е.А.Попова, А.А.Поздеева, П.И.Полухина, Л.В.Прозорова, А.В.Ребельского, И.П.Ренне, В.П.Северденко, Е.И. Семенова, Г.А.Смирнова-Аляева, Л.Г.Степанского, М.В.Сторожева, И.Я.Тарновского, П.К.Тетерина, А.Д.Томленова, Е.П.Унксова, А.И. Целикова, Л.А.Шофмана, Г.Закса, В.Джонсона, Э.Томсена, Ш.Кобаяши и др., а также благодаря активной и плодотворной деятельности коллективов заводских работников и предприятий.

Разработка технологических процессов основана на теории обработки металлов давлением, обеспечивающей научное обоснование выбора схемы деформирования, удовлетворяющей заданным условиям;

определения предельно-допустимого формоизменения при пластическом деформировании заготовки;
определения исходных данных для расчета штамповой оснастки на прочность и жесткость.

Для решения этих задач теория обработки металлов давлением развивается в двух направлениях:

- исследование деформируемости металлов и сплавов, обрабатываемых ковкой и штамповкой, с целью разработки методов количественной оценки предельной деформируемости;

- теоретическое исследование кинематического и напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе выполнения технологической операции в зависимости от геометрических соотношений, схемы деформирования, условий трения и др.

Для установления допустимого пластического формоизменения необходимо учесть все особенности пластического течения, для чего следует совершенствовать существующие и разрабатывать новые методики исследования, позволяющие успешно решать технологические задачи.

В настоящей работе проведены теоретические исследования в условиях плоского и осесимметричного течения с целью определения кинематики и напряженно-деформированного состояния заготовки, знание которых позволяет оценить целесообразность применения конкретной технологии выдавливания, а в некоторых случаях выбрать необходимую форму матриц, и разработать схему деформирования, обеспечивающую получение изделий высокого качества. В дальнейшем можно определить исходные данные для расчета штамповой оснастки на прочность и жесткость, а также выбрать схему и требования к специализированным кузнечным машинам.

Для проведения теоретических исследований разработан новый метод решения уравнения функции тока и дано развитие методи решения приближенных уравнений в теории обработки давлением.

В работе уделено внимание экспериментальным методам исследования операций выдавливания с целью проверки точности результатов теоретических исследований и оценки влияния отдельных факторов на силовые и кинематические параметры разработанных технологических процессов.

Дано описание и расчет новых или усовершенствованных технологических процессов выдавливания и схем специализированных кузнечно-штамповочных машин.

Экспериментальная часть работы выполнена в лаборатории кафедры "Машины и автоматизация обработки давлением" МВТУ им.Н.Э.Баумана.

В работе, в частности, использованы результаты исследований, выполненных под нашим руководством ныне кандидатами технических наук А.А.Головиным, В.И.Дугиненко, Ф.А.Марковским, М.С.Толчинским, А.В.Хабаровым и И.Н.Шубиным.

Глава I. Состояние вопроса и постановка задач исследования.

Процессы выдавливания обладают рядом преимуществ по сравнению с другими технологическими процессами обработки давлением, поэтому их роль и удельный вес в массовом и крупносерийном производствах для изготовления изделий или заготовок из металлов и сплавов непрерывно возрастает. Применение выдавливания для обработки малопластичных и труднодеформируемых металлов и сплавов вызывает необходимость анализа влияния различных факторов на кинематику течения, распределение деформаций и напряжений в заготовке в процессе ее пластического деформирования.

Существующие методы теории обработки давлением основаны на применении законов механики сплошных сред: сохранения массы, сохранения импульса; соотношений между тензором скоростей деформации и вектором скорости течения, между компонентами тензоров девиатора напряжений и девиатора скоростей деформации. При этом используется уравнение, определяющее состояние пластичности тела.

Для решения технологических задач теории обработки металлов давлением разработаны методы, в основе которых положено совместное решение уравнений равновесия, деформационных, физических с учетом условия пластичности. Наиболее распространенными являются инженерный метод, в основе которого совместное решение приближенных уравнений, определяющих условие равновесия и условие пластичности металла; метод характеристик (линий скольжения); метод сопротивления материалов пластическим деформациям; метод использования функции тока для определения кинематики и полей напряжений; метод исследования формоизменения и энергетических параметров с использованием функции комплексного переменного.

Широкое распространение для решения технологических задач обработки давлением получили также энергетические методы исследования, основой которых является обобщенная теорема Клапейрона о работе (мощности) внешних сил.

В последние годы широкое распространение и развитие получили экспериментально-аналитические методы: метод визиопластичности, метод определения напряжений в пластической области по распределению твердости и экспериментальные, использование которых позволило получить довольно большую информацию по характеру пластического деформирования заготовок в процессах обработки давлением, по выявлению количественных оценок допустимой без разрушения деформации и др.

Развитие существующих методов анализа кинематического и напряженного состояния заготовки в процессах обработки металлов давлением направлено на выявление влияния схемы деформирования (приложения внешних нагрузок) на распределение напряжений, кинематику течения поля деформаций с целью установления наиболее опасных областей заготовки с точки зрения разрушения. Последнее особо важно при деформировании малопластичных металлов и сплавов; на выявление характера течения с целью управления формоизменением и выбора форм и размеров рабочих элементов штампа, обеспечивающих заданное формоизменение; на определение нормальных напряжений на контактных поверхностях заготовки и штампа, которые используются как исходные данные для расчетов на прочность.

Хорошие результаты достигнуты при применении метода решения приближенных уравнений, метода линий скольжения для плоского деформированного состояния, энергетических методов, метода сопротивления материалов пластическим деформациям, метода исследования с использованием функции комплексного переменного для исследования формоизменения и энергетических параметров. Однако технология предъявляет новые требования к теоретическим решениям.

Целью данной работы является разработка новой методики анализа и развитие широко применяемого метода решения упрощенных уравнений равновесия и условия пластичности, позволяющих получить новую информацию и более точно отражающие реальные процессы деформирования при анализе кинематического и напряженного состояний заготовки. Эти методики используются при анализе процессов выдавливания для выявления условий нагружения, при которых пластическое деформирование в процессах выдавливания

происходит под действием меньших деформирующих усилий, при разработке новых технологических операций выдавливания и схем специализированного оборудования.

Глава II. Исследование кинематики течения и напряженного состояния заготовки с использованием функции тока.

Для исследования кинематики течения и напряженного состояния заготовки и процессе пластического деформирования необходимо совместное решение уравнений равновесия, кинематических и физических с учетом уравнения, определяющего состояние пластичности.

Использование функции тока ψ для определения скоростей течения позволяет указанные выше уравнения представить в виде уравнения функции тока.

Плоское течение

$$v_x = \frac{\partial \psi}{\partial z}, \qquad v_z = -\frac{\partial \psi}{\partial x},$$

$$\frac{\partial^4 \psi}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 \psi}{\partial x^2 \partial z^2} + \frac{\partial^4 \psi}{\partial z^4} =$$

$$= -\frac{1}{\mu_i}\left[\left(\frac{\partial^2 \mu_i}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \mu_i}{\partial z^2}\right)\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}\right) + 4\frac{\partial^2 \mu_i}{\partial x \partial z}\frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial z} + \right.$$

$$\left. + 2\frac{\partial \mu_i}{\partial x}\left(\frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial z^2}\right) + 2\frac{\partial \mu_i}{\partial z}\left(\frac{\partial^3 \psi}{\partial x^2 \partial z} + \frac{\partial^3 \psi}{\partial z^3}\right)\right]$$

Осесимметричное течение

$$v_\rho = \frac{1}{\rho}\frac{\partial \psi}{\partial z}, \qquad v_z = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \psi}{\partial \rho},$$

$$\frac{\partial^4 \psi}{\partial \rho^4} + 2\frac{\partial^4 \psi}{\partial \rho^2 \partial z^2} + \frac{\partial^4 \psi}{\partial z^4} - \frac{2}{\rho}\frac{\partial^3 \psi}{\partial \rho^3} - \frac{2}{\rho}\frac{\partial^3 \psi}{\partial \rho \partial z^2} + \frac{3}{\rho^2}\frac{\partial^2 \psi}{\partial \rho^2} - \frac{3}{\rho^3}\frac{\partial \psi}{\partial \rho} =$$

$$= -\frac{1}{\mu_i}\left[\left(\frac{\partial^2\mu_i}{\partial\rho^2} - \frac{\partial^2\mu_i}{\partial z^2}\right)\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial\rho^2} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial\psi}{\partial\rho} - \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}\right) + \right.$$

$$+ 2\frac{\partial^2\mu_i}{\partial\rho\,\partial z}\left(2\frac{\partial^2\psi}{\partial\rho\,\partial z} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial\psi}{\partial z}\right) +$$

$$+ \frac{\partial\mu_i}{\partial\rho}\left(2\frac{\partial^3\psi}{\partial\rho^3} - \frac{3}{\rho}\frac{\partial^2\psi}{\partial\rho^2} + \frac{3}{\rho^2}\frac{\partial\psi}{\partial\rho} + 2\frac{\partial^3\psi}{\partial\rho\,\partial z^2} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}\right) +$$

$$\left. + 2\frac{\partial\mu_i}{\partial z}\left(\frac{\partial^3\psi}{\partial\rho^2\partial z} - \frac{1}{\rho}\frac{\partial^2\psi}{\partial\rho\,\partial z} + \frac{\partial^3\psi}{\partial z^3}\right)\right].$$

Уравнение функции тока является неоднородным дифференциальным уравнением четвертого порядка в частных производных, левая часть которого представляет бигармоническую функцию. Теория решения таких уравнений с правой частью не разработана, однако существуют некоторые указания для их приближенного решения. В частности, указывается на возможность применения численных методов; метода Фурье с использованием ортогонализации и вариационных.

В данной диссертационной работе приведено численное решение уравнения функции тока применительно к плоскому течению при прямом выдавливании через клиновую матрицу. Замена бесконечномалых величин конечно- разностными аналогами позволяет уравнение функции тока в частных производных

$$\frac{\partial^4\psi}{\partial z^4} + 2\frac{\partial^4\psi}{\partial x^2\partial z^2} + \frac{\partial^4\psi}{\partial z^4} = f\left(x, z, \frac{\partial\psi}{\partial x}, \frac{\partial\psi}{\partial z}, \frac{\partial^2\psi}{\partial x\,\partial z}, \ldots, \frac{\partial^3\psi}{\partial z^3}\right)$$

заменить алгебраическими.

При решении использован метод итерации.

Решается бигармоническое уравнение вида

$$\frac{\partial^4\psi}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4\psi}{\partial x^2\partial z^2} + \frac{\partial^4\psi}{\partial z^4} = 0.$$

Найденные приближенные значения функции тока $\psi_0(x, z)$ из решения бигармонического уравнения используются для определения правой части

$$f\left(x, z, \frac{\partial \psi_0}{\partial x}, \frac{\partial \psi_0}{\partial z}, \frac{\partial^2 \psi_0}{\partial x \partial z}, \ldots, \frac{\partial^3 \psi_0}{\partial z^3}\right).$$

После этого решается уравнение функции тока с правой частью для определения уточненного значения функции тока $\psi(x, z, \psi_0)$, которое используется для уточнения правой части и т.д. до получения результатов заданной точности.

Граничные условия для решения бигармонического уравнения заданы с учетом свойств линий тока, как линий уровня функции тока. На оси заготовки $\psi = 0$, на границе с инструментом – расходу металла через матрицу.

Граничные условия для решения уравнения функции тока уточнены из предварительного решения бигармонического уравнения.

Представление функции тока в виде двойного тригонометрического ряда Фурье с неизвестными коэффициентами позволило разработать методику приближенного решения уравнения функции тока для плоского и осесимметричного течения с использованием ортогонализации.

Эту методику решения удобно проследить на примере анализа осадки полосы в условиях плоского течения, который приведен ниже.

Производные функции тока (скорости течения), удовлетворяющие условию несжимаемости, для осадки полосы представлены в виде следующих рядов.

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -v_z = \sin\frac{\pi z}{2} + \sum_{i=1,2,3\ldots}^{\infty} \sum_{j=1,2,3\ldots}^{\infty} a_{ij} \sin\frac{i\pi x}{b} \sin j\pi z,$$

причем производная функции тока по z определяется из условия несжимаемости

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = v_x = \frac{\pi}{2}\left(x - \frac{b}{2}\right)\cos\frac{\pi z}{2} - \sum_{i=1,2,3\ldots}^{\infty}\sum_{j=1,2,3,\ldots}^{\infty} a_{ij}\frac{j}{i}b\cos\frac{i\pi x}{b}\cos j\pi z.$$

Оба эти выражения удовлетворяют граничным условиям

на оси заготовки

$$x = \frac{b}{2}, \qquad 0 \leq z \leq 1 \qquad v_x = 0; \quad \eta_{xz} = \omega_y = 0.$$

в срединной плоскости

$$0 \leq x \leq b, \qquad z = 0 \qquad v_z = 0 \quad \eta_{xz} = \omega_y = 0.$$

на контактной поверхности

$$0 \leq x \leq b \qquad z = 1 \qquad v_z = -1.$$

Неизвестными в выражениях для скоростей течения являются коэффициенты a_{ij}, которые находятся в результате решения с использованием ортогонализации.

Подстановка значений производных функции тока в дифференциальное уравнение функции тока приводит к вычислению интегралов типа

$$\int_0^b \sum_{i=1,2,3\ldots}^{\infty} a_{ij}\cos\frac{i\pi x}{b}\cos\frac{m\pi x}{b}dx = \begin{cases} a_{ij}\dfrac{b}{2} & \text{при } i = m, \\ 0 & \text{при } i \neq m. \end{cases}$$

Выбирая $m = 1,2,3$ и т.д. можно найти значения всех коэффициентов a_{ij}.

В результате решения коэффициенты тригонометрического ряда нулевого приближения (решения бигармонического уравнения) определены следующими выражениями

$$(a_{ij})_0 = -\frac{\int_0^1 \sin\frac{j\pi z}{2}\sin j\pi z\,dz}{2\pi i\left(\frac{i^4}{b^4} + 2\frac{i^2 j^2}{b^2} + j^4\right)}, \qquad \begin{matrix} i = 1,3,5\ldots \\ j = 1,2,3\ldots \end{matrix}$$

Применяя к-тую итерацию можно найти значения $(a_{ij})_k$ коэффициентов с любой наперед заданной точностью

$$(a_{ij})_k = (a_{ij})_{k-1} - \frac{4\int_0^1 \left[\sin j\pi z \int_0^6 f(x,z)\cos\frac{i\pi x}{6}\,dx\right] dz}{\pi^3 6\left(\frac{i^3}{6^3} + 2\frac{ij^2}{6} + \frac{j^4}{l}6\right)} \qquad \begin{matrix} i = 1,3,5\ldots, \\ j = 1,2,3\ldots \end{matrix}$$

После определения коэффициентов тригонометрического ряда кинематические параметры могут быть найдены по общеизвестным зависимостям в результате дифференцирования, а напряженное состояние заготовки после интегрирования уравнений равновесия, методика решения которых приведена в работе.

Для проведения вычислений необходимо использование ЭЦВМ.

Пользуясь данной методикой в диссертации получены результаты анализа процессов: обратного и прямого выдавливания.

Разработанная методика приближенного решения уравнения функции тока позволяет найти кинематические параметры и напряженное состояние заготовки в процессах прямого и обратного выдавливания в условиях плоского и осесимметричного течения. Результаты этих исследований позволяют выявить распределение деформации и наиболее опасные области для оценки разрушения при использовании, например, критерия В.Л.Колмогорова с учетом ресурса пластичности

$$\Phi = \int \frac{d\gamma}{q_{np}(\sigma)},$$

а также показывают, что пластическое течение является вихревым, причем предложенные методики позволяют оценить градиент вихря по объему очага деформации.

Исследование пластического течения в результате решения уравнения функции тока является все же весьма громоздким, поэтому наряду с развитием этого метода, необходимо совершенствовать существующие, например, метод решения приближенных уравнений, который позволяет результаты решения представить в виде аналитических зависимостей.

Глава III. Развитие инженерного метода теории обработки металлов давлением для исследования кинематики и напряженного состояния заготовки.

В традиционном понимании инженерный метод характеризуется совместным решением приближенных уравнений, определяющих условия равновесия и состояние пластичности. Основной задачей инженерного метода является определение деформирующих усилий и в некоторых случаях работы деформации.

Постановка задачи исследования кинематики течения вызывает необходимость пересмотра принятых упрощающих гипотез и использования кинематических уравнений.

Для обоснования предлагаемых упрощающих допущений целесообразно напряжения и скорости деформации подразделить на основные и второстепенные. Под второстепенными следует понимать такие, взаимное влияние которых в тех или иных уравнениях не велико, и ими можно пренебречь. Например, касательными напряжениями при вытяжке цилиндрического стакана для определения главных деформаций и направления главных осей можно пренебречь. Однако в уравнениях равновесия отбрасывание слагаемых, определяемых касательными напряжениями, может привести к большим погрешностям поскольку они действуют на большой площади и после интегрирования величина этих слагаемых будет велика и весьма существенно сказывается на величине растягивающих напряжений в стенке вытягиваемого стакана.

Значит касательные напряжения, действующие во фланце заготовки при вытяжке изделий типа стаканов, в уравнениях равновесия следует считать основными, а в уравнении, определяющем пластическое состояние (условие пластичности), - второстепенными.

Для оценки перехода в состояние пластичности металла в некоторых случаях можно пренебречь влиянием промежуточного главного напряжения, хотя величина его может быть соизмерима с крайними главными напряжениями, но погрешность при этом не превышает 8%.

Упрощающими решение гипотезами могут явиться предположения о характере течения (о распределении скоростей течения). Если на основании экспериментальных исследований в какой-либо

части заготовки удается в направлении какой-либо координатной оси скорость течения выразить в функции только одной координаты, то решение упрощается весьма значительно. Если очаг пластической деформации заготовки представлен в виде нескольких областей то значительную трудность представляет удовлетворение граничным условиям в скоростях течения на границах между областями. Предположение о наличии вблизи границы между областями узкой области, в которой имеет место выравнивание скоростей с учетом равенства расхода, существенно упрощает решение. Упрощение решения уравнений можно достигнуть также используя средние значения интенсивности скоростей деформации в отдельных пластических областях.

Несмотря на использование упрощающих гипотез интегрирование дифференциальных уравнений равновесия в некоторых случаях представляет весьма трудоемкую проблему, поэтому целесообразно использовать приближенные способы вычисления интегралов.

Использование указанных выше упрощений часто приводит к возникновению противоречий, которые должны быть устранены на основании результатов экспериментальных исследований. Вообще говоря невозможно поставить приближенные решения без устранения противоречий, но последние не должны существенным образом искажать картину деформирования заготовки в исследуемой технологической операции.

Применяя указанные выше упрощающие гипотезы нами решены следующие технологические задачи: осадка цилиндрической заготовки выдавливание гладким цилиндрическим пуансоном с плоским и сферическим торцем, выдавливание ступенчатым пуансоном, коническим пуансоном, выдавливание с активными силами трения и боковое выдавливание.

Осадка цилиндрической заготовки. При наличии контактного трения между инструментом и заготовкой вблизи торцев образуется заторможенная область, границу которой можно принять параболической. Тогда относительная высота h пластической области осаживаемой заготовки может быть определена выражением

$$h = 1 + cr^2.$$

Составляющие скоростей течения частиц, удовлетворяющие граничным условиям и несжимаемости получают вид:

$$v_z = -\frac{z}{1+a\rho^2}, \qquad 0 \le z \le (1+a\rho^2),$$

$$v_\rho = \frac{1}{2a\rho}\ln(1+a\rho^2). \qquad 0 \le \rho \le R$$

В результате решения получены выражения для напряжений

$$\sigma_\rho = -\frac{2}{3(\bar{\sigma}_i)_\varphi}\left\{\left[\frac{1}{(1+a\rho^2)^2} - \frac{4a\rho^2}{(1+a\rho^2)^2}\right]\frac{z^2}{2} - \left[\frac{1}{(1+a\rho^2)} - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{1}{a\rho^2}\ln(1-a\rho^2)\right]z + \frac{1}{2(1+a\rho^2)} - \frac{1}{2(1+aR^2)}\right\},$$

$$\sigma_\theta = \sigma_\rho + \frac{2}{3(\bar{\sigma}_i)_\varphi}\left[\frac{1}{a\rho^2}\ln(1+a\rho^2) - \frac{1}{(1+a\rho^2)}\right],$$

$$\sigma_z = \sigma_\rho - \frac{2}{3(\bar{\sigma}_i)_\varphi}\left[\frac{2}{1+a\rho^2} - \frac{1}{a\rho^2}\ln(1+a\rho^2)\right],$$

$$\tau_{\rho z} = \frac{2}{3(\bar{\sigma}_i)_\varphi}\frac{a\rho z}{(1+a\rho^2)^2}.$$

Полученные выражения для напряжений свидетельствуют о том, что при $\rho = 0$ $\sigma_\rho = \sigma_\theta$, а при $\rho = R$ $\sigma_\rho = 0$, а σ_θ становится растягивающим. Последнее обстоятельство можно использовать для оценки возможности разрушения заготовок из малопластичных сплавов в процессе осадки.

Обратное выдавливание гладким цилиндрическим пуансоном с плоским торцем. Очаг пластической деформации под торцем пуансона представлен в виде двух областей. I область определена радиусом пуансона; II-кольцевая определена радиусами пуансона и матрицы.

С учетом экспериментальных исследований и условия несжимаемости скорости течения частиц выражены зависимостями:

в I области

$$v_z = -a_1 \varphi(z), \qquad 0 \le \rho \le 1, \quad 0 \ge z \ge -h;$$

$$v_\rho = \frac{1}{2} a_1 \rho \varphi'(z),$$

во II области

$$v_z = a_2 [z - \varphi(\rho)], \qquad 1 \le \rho \le R, \quad 0 \ge z \ge -h$$

$$v_\rho = \frac{a_2}{2}\left(\frac{R^2}{\rho} - \rho\right)$$

В результате решения найдены высота очага пластической деформации

$$h = \sqrt{\frac{(R^2-1)\left(\frac{1}{2} + \mu_T^*\right)}{2(1 + 2\mu^* R)}},$$

где μ_T^*, μ^* коэффициенты трения на контактной поверхности заготовки и торца пуансона, заготовки и боковой поверхности матрицы;

удельное деформирующее усилие на торце пуансона

$$q = -\left\{\sqrt{\frac{1+2\mu^* R}{2(R^2-1)}} + \frac{R^2(\rho_0 - 1)}{2}\left[\frac{1}{\rho_0^3\sqrt{\frac{R^4}{\rho_0^4}+3}} + \frac{1}{2\sqrt{R^4+3}}\right] + \frac{\frac{R^2}{\rho_0^2}+3}{\sqrt{3}\sqrt{\frac{R^4}{\rho_0^4}+3}} + 0{,}82\right\},$$

$$\rho_b = \sqrt{\frac{R(R + 2\mu^*)}{1 + 2\mu^* R}};$$

давление на боковую поверхность матрицы в зоне очага пластической деформации

$$p = -\left[\frac{(1+\mu^* R)z}{R^2-1} + \frac{R-\rho_b}{\sqrt{3}}\left(\frac{\sqrt{1-3\mu^{*2}}}{2R} + \frac{\frac{R^3}{\rho_0^3}}{\sqrt{\frac{R^4}{\rho_0^4}+3}}\right) + \frac{\frac{R^2}{\rho_0^2}+3}{\sqrt{3}\sqrt{\frac{R^4}{\rho_0^4}+3}}\right]$$

Эти выражения являются исходными для оценки усталостной прочности пуансона и матрицы для обратного выдавливания.

Аналогично проведены исследования кинематического и напряженного состояния заготовок при обратном выдавливании ступенчатым пуансоном, коническим пуансоном, пуансоном со сферическим торцем. В результате получены формулы для расчета деформирующего усилия, давления на боковую поверхность матрицы, а также для определения кинематических параметров: скоростей течения и скоростей деформации.

Для исследования процесса обратного выдавливания цилиндрическим пуансоном со сферическим торцем использованы уравнения равновесия в сферической системе координат.

Исследование процесса обратного выдавливания с активными силами трения позволило установить величину снижения деформирующего усилия на торце пуансона и оценить возможное увеличение его стойкости (усталостной прочности).

Исследования процесса бокового выдавливания позволили установить расчетные формулы для определения деформирующего и распирающего усилий для разных схем деформирования (одностороннее и двухстороннее). Для более легкого определения деформирующих усилий построены номограммы.

Глава IУ. Экспериментальные исследования выдавливания.

Задача экспериментальных исследований определение кинематических параметров, напряжений на контактных поверхностях и деформирующих усилий. Для построения траекторий движения частиц использовано широко применяемое фотографирование координатной сетки при стадийном нагружении. Траектория движения точки определяется ее координатами в каждый момент времени. Зависимость положения точки в пространстве в функции времени при таком рассмотрении остается неявной.

Для исследования кинематических параметров разработана методика обработки экспериментальных данных по распределению скоростей течения в эйлеровых координатах при прохождении фиксированными частицами заготовки фиксированных точек пространства через известные промежутки времени. Наличие этих данных позволяет построить траектории движения частиц в функции координат и времени. В результате такого построения получают

№266543

поверхность, сечение которой плоскостями равных времен позволяет получить проекции траекторий движения частиц в направлении осей. Скорости перемещения частиц определяются уже производными по координатам. Построение таких графиков позволяет получить зависимости проекций скорости на координатные оси в функции x и z. При этом переход от одной траектории на другую осуществляется при постоянных значениях координат. Такие построения можно осуществить численно или графически.

Построение скоростей для плоского течения при прямом выдавливании в случае стационарного течения существенно упрощается, поскольку траектории движения частиц совпадают с линиями тока и более того, даже с расположением линий координатной сетки после их деформирования.

Построенное таким образом поле линий тока и знание величины функции тока на каждой линии позволяет в каждом частном случае построить поверхность тока. Все кинематические, деформационные параметры и распределение напряжений в заготовке можно определить по известным зависимостям. Такая методика обработки экспериментальных данных применена впервые.

Проведенная по этой методике обработка экспериментальных данных прямого выдавливания через клиновую и коническую матрицы подтвердила вихревой характер течения, установленный на основании теоретических решений. Сравнение количественных оценок, полученных в результате теоретических и экспериментальных исследований, подтверждает правильность предложенной методики исследования.

Для определения кинематических параметров проведены испытания разрезных образцов с нанесенной координатной сеткой.

Для измерения нормальных напряжений на боковой поверхности матрицы наиболее широкое распространение получили два способа измерений: точечными месдозами и тензометрическими скобами. Нами применен первый способ, поскольку его можно применять для бандажированных матриц. Недостаток этого способа; неточность показаний в результате различной жесткости самой месдозы и стенки матрицы, частично устранен нами применением тарировки с использованием жидкости высокого давления.

Измерения нормальных напряжений на торцах пуансонов затруднительно и нами не проводилось. Мы ограничивались измерением общего деформирующего усилия, что можно использовать в качестве косвенной проверки правильности теоретического определения величин нормальных контактных напряжений.

Для проведения экспериментальных исследований разработана различная штамповая оснастка, позволяющая проводить исследования процессов обратного выдавливания с неподвижной матрицей; с матрицей, перемещающейся принудительно с определенной скоростью; и матрицей незакрепленной, перемещающейся под действием сил трения, возникающих на контактной поверхности с перемещающимся металлом; а также с матрицей, позволяющей исследовать боковое выдавливание в условиях одностороннего и двухстороннего приложения нагрузки.

В качестве оборудования использованы УИМ-50, фрикционный винтовой пресс усилием 180тс, гидравлический пресс усилием 160тс и чеканочный пресс усилием 800тс (К846Б). Регистрация показаний датчиков осуществлена шлейфными осциллографами МПО-2 и Н-700.

Экспериментальные исследования подтвердили правильность кинематических параметров, определенных в результате численного решения уравнения функции тока для прямого плоского выдавливания, а также удовлетворительную точность результатов, полученных при исследовании процессов обратного и бокового выдавливания. Эксперименты подтвердили также вихревой характер пластического течения.

Экспериментальные исследования позволили оценить влияние некоторых геометрических параметров, например: радиуса скругления при входе в боковую полость для бокового выдавливания, количества боковых полостей и их расположение, а также скорости перемещения матрицы для обратного выдавливания с активными силами трения, на величину деформирующего усилия и кинематическое состояние заготовки. На основе проведенных экспериментальных исследований разработан ряд новых технологических процессов выдавливания и конструкций штампов.

Глава У. Разработка технологических процессов выдавливания.

Представленные в предыдущих главах результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов выдавливания позволили разработать некоторые технологические процессы.

Прямое выдавливание (прессование) прутков из сплавов ЭИ698 и ЭП 220. Эти сплавы имеют весьма низкий коэффициент теплопроводности и узкий температурный интервал технологической пластичности. Неравномерность распределения сдвиговых деформаций приводит к повышенному тепловыделению в местах их концентрации. Следствием этого является образование местных разрушений на поверхности прутка. Экспериментальные исследования показывают, что градиент вихря вектора скорости на входе в матрицу меньше влияет на трещинообразование. Поэтому в качестве образующей матрицы выбрана клотойда, кривизна которой изменяется от максимальной на биссектрисе угла, образованного общей касательной с прямыми, соответствующими контуру матрицы на входе и выходе, до нуля на выходе из матрицы. Трудность задания клотойды для изготовления матрицы заставили апроксимировать ее профиль прямой, проходящей под углом $10-12^{\circ}$ к оси прессования и дугой окружности, радиус которой вдвое больше максимального радиуса клотойды на участке профиля матрицы. На основании проведенных исследований предложена методика профилирования матрицы для прямого выдавливания, согласно которой проведен расчет, сконструирована, изготовлена матрица и осуществлено выдавливание прутков из сплавов ЭИ689 и ЭП 220 в условиях серийного производства.

Штамповка поковок газосварочной аппаратуры.

По существующему технологическому процессу поковки газосварочной аппаратуры штампуют в открытых штампах на винтовых фрикционных прессах усилием 160тс. Отходы металла в заусенец достигают 30% от веса поковки.

Для поковок корпусов горелок "Москва", резака "Пламя" и др. предложен технологический процесс, основой которого является боковое выдавливание. Для этого технологического процесса разработаны конструкции закрытых штампов с вертикальной плоскостью разъема для винтовых фрикционных прессов. Опытная штамповка

показала, что обе конструкции штампов надежны в работе. По периметру поковки образуется заусенец, толщина которого 0,15-0,20 мм. Микро- и макроструктурный анализ поковок, полученных согласно предложенному технологическому процессу, свидетельствует о высоком их качестве, несмотря на неравномерность и различную степень вытянутости зерен; расслоения металла и перерезывания волокон не обнаружено. Отходы металла в заусенец уменьшились до 3-5%.

Штамповка изделий типа стаканов с фланцами и сферическими днищами. Технологический процесс штамповки таких изделий включает несколько технологических операций: обратное выдавливание, протяжку или прямое выдавливание. Особенностью разработанного технологического процесса является использование одного пуансона со сменными матрицами. Для уменьшения деформирующего усилия на технологических операциях предусмотрено перемещение контейнера. Разработанный технологический процесс опробован в лаборатории кафедры АМ-6 МВТУ и передан производству.

Выдавливание корпусов масленок с активными силами трения. Теоретические и экспериментальные исследования процесса обратного выдавливания с активными силами трения использованы для разработки технологического процесса и для конструирования штампа корпуса масленки. Разработка конструкции штампа выполнена Калужским филиалом центрального проектно- конструкторского технологического бюро (ЦКФ ЦПКТБ). Технологический процесс включает заготовительные операции: отрезку заготовки, первую осадку и обжим, вторую осадку и обжим, третью осадку и обжим, выполняемые на холодно-высадочном автомате А4II. Предусмотрены термообработка заготовок и их смазка (отжиг, травление, фосфатирование, омыление). Основные технологические операции -обратное выдавливание и пробивка отверстия выполняются в штампе КФ ЦПКТБ. Передача заготовки с одной позиции на другую осуществляется применением револьверной подачи, являющейся неотъемлемой частью штампа.

Штамп разработан для чеканочного пресса К2I30 с номинальным усилием I00тс.

Выдавливание изделий с полостями сложной формы. Исследование процесса обратного выдавливания ступенчатым пуансоном позволили разработать технологический процесс и конструкцию

штампов для поковки муфты из сплава Д16Т. Технологический процесс включает операции: выдавливание, термическая обработка, анодирование и нанесение смазки, обратное выдавливание ступенчатым пуансоном.

Конструкция штампа разработана КФ ЦПКТБ.

Выдавливание стаканов с фалнцами при наличии противодавления. Толщина стенок некоторых изделий с фланцами, например, ниппелей 0,2 мм. Получить такие изделия обработкой давлением традиционными способами возможно применяя несколько переходов. Нами предложен и исследован технологический процесс получения таких изделий в основе которого обратное выдавливание с противодавлением. Схема процесса в какой-то степени аналогична чистовой вырубке со сжатием. Отличием является наличие зазора между пуансоном и матрицей соответствующим толщине образуемой стенки стакана.

Глава УI. Разработка схем специализированных прессов для выдавливания.

Исследования технологических процессов бокового выдавливания в условиях двухстороннего приложения нагрузки, обратного выдавливания с активными силами трения обладают рядом преимуществ, реализация которых возможна при обеспечении соответствующих схем деформирования перемещением рабочих элементов штампов. Однако при использовании универсального оборудования применение этих технологий вызывает необходимость разработки довольно сложных конструкций штампов, что затрудняет работу и снижает технико-экономический эффект применения разработанных технологических процессов. Это обстоятельство вызвало необходимость разработки схем специализированного штамповочного оборудования.

Гидравлический штамповочный пресс. Конструктивная схема пресса позволяет использовать для уменьшения деформирующего усилия активные силы трения без смены инструмента при штамповке изделий за несколько операций, обеспечивая высокую точность размеров и производительность.

Гидравлический штамповочный пресс состоит из неподвижной рамы, внутри которой расположена подвижная. На колоннах жестко

закреплена промежуточная поперечина, в которой расположены цилиндры контейнеродержателя с установленным внутри него контейнером. На поперечинах установлены рабочие и возвратные цилиндры пресса. На верхней плоскости контейнеродержателя установлены ходоограничители с приводными гидроцилиндрами. На нижней поперечине установлены подвижно два стола, на которых расположена штамповая оснастка: поддон и матрица. На верхней поперечине подвижной рамы расположен пуансон.

Гидравлический штамповочный пресс предназначен для штамповки цилиндрических изделий типа стаканов с фланцами и сферическими днищами.

Механический пресс для выдавливания с активными силами трения. Для прямого и обратного выдавливания с активными силами трения необходимо обеспечить перемещение матрицы со скоростью, соответствующей скорости истечения металла. Последняя определена скоростью перемещения пуансона и отношением радиусов матрицы и пуансона. Для механических прессов скорость перемещения пуансона в процессе рабочего хода изменяется согласно кинематической схеме привода. Предложенная конструкция механического пресса для выдавливания с активными силами трения предусматривает изменение скорости перемещения матрицы введением необходимых звеньев в кинематическую схему привода.

Применение механических прессов с предложенными кинематическими схемами позволит упростить конструкцию штампов для обратного выдавливания с активными силами трения и для бокового выдавливания с двухсторонним деформированием.

З А К Л Ю Ч Е Н И Е

На основе анализа существующих исследований, относящихся к теории, к экспериментальным методам исследований технологических операций обработки давлением, к разработке технологических операций выдавливания и перспектив их дальнейшего совершенствования, в работе выявлены перспективные направления развития методов теоретических исследований с целью более точного отображения действительного характера пластического формоизменения и определения кинематического и напряженного состояния заготовки и операциях обработки давлением, а также влияния изменения контактных условий трения на характер деформирования и напряженное состояние.

В результате решения, поставленных в диссертации цели и задач, разработан новый метод анализа кинематического и напряженного состояния заготовки, основанный на приближенном решении уравнения функции тока для плоского и осесимметричного течения с использованием ортогонализации; и численным методом для плоского течения.

Предложенная методика исследования позволила учесть вихревой характер течения в процессе пластического деформирования, найти поля напряжений, скоростей деформации, величину и градиент вихря вектора скорости применительно к операциям выдавливания. Выявление и количественная оценка вихревого характера течения позволили установить дополнительный критерий для оценки возможного разрушения пластически деформируемой заготовки. Таким дополнительным качественным критерием может служить градиент вихря вектора скорости. Учет вихревого характера течения позволяет более точно определить поле скоростей течения, соответствующих заданным граничным условиям.

Использование кинематических уравнений в инженерном методе теории обработки металлов давлением позволяет устранить имеющееся несоответствие между принятой кинематикой и отыскиваемым напряженным состоянием заготовки. Разработана методика упрощенной апроксимации сравнительно простыми аналитическими функциями кинематического состояния заготовки при пластическом деформировании в операциях обработки давлением, позволяющая приближенными методами решать совместно кинематические, физические уравнения равновесия с учетом условия пластического состояния металла.

В результате анализа технологических операций выдавливания по развитой методике удалось найти зависимости, определяющие приближенно для основных операций выдавливания поля напряжений, которые позволяют найти распределение напряжений на контактных поверхностях, а также оценить влияние изменения условий контактного трения на величину и распределение нормальных напряжений на торцевой поверхности пуансона.

Исследование кинематического и напряженного состояния при осадке цилиндрической заготовки позволило установить поле напряжений более точно соответствующее действительному. В частности нормальные напряжения в меридиональных площадках вблизи боковой поверхности являются растягивающими; переход боковой поверхности на торцевую при осадке определяется наличием вихря вектора скорости.

Определены поля напряжений и распределение напряжений на боевой поверхности матрицы при обратном выдавливании; получено аналитическое решение для обратного выдавливания цилиндрическим пуансоном со сферическим торцем и др.

Методы теоретических исследований могут быть использованы для анализа кинематического и напряженного состояния заготовок в процессе других технологических операций обработки давлением, если деформированное состояние является плоским или осесимметричным. В частности эти методы были применены при анализе процесса штамповки в открытых штампах.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили вихревой характер течения при пластическом деформировании, позволили установить зависимость величины и градиента вихря вектора скорости от формы образующей матрицы для прямого выдавливания, а также подтвердили сходимость результатов аналитических решений по предложенному методу, а также по усовершенствованному инженерному методу. На основе выполненных теоретических исследований разработаны новые технологические процессы выдавливания, а также конструкции специализированных прессов, новизна которых подтверждена авторскими свидетельствами, и применение которых позволит более эффективно внедрить технологические процессы выдавливания, описание которых дано в главе У.

Усовершенствованный инженерный метод применяется в учебном процессе.

Содержание диссертации опубликовано в статьях.

1. Овчинников А.Г. Деформирование трубы внутренним и внешним давлением "Машины и технология обработки металлов давлением".Сб.МВТУ,№111 под ред.А.И.Зимина,М. Машгиз, 1964г.
2. Овчинников А.Г. Материалы научно-технической конференции, посвященной 100-летию ф-та АМ МВТУ им.Н.Э.Баумана г.Москва, 1968.
3. Овчинников А.Г. К вопросу об определении формоизменения и работы деформации при открытой штамповке.Сб."Труды МВТУ №128 "Машины и технология обработки металлов давлением",Выпуск 9.Изд."Машиностроение".Москва, 1969,стр.181-189.
4. Овчинников А.Г. Исследование процессов выдавливания.Сборник Научные основы технологии и прогрессивные технологические процессы в машино- и приборостроении. Материалы 3-й Всесоюзной научно-технической конференции.Москва,МВТУ,1970,стр.14-15.
5. Попов Е.А.,Овчинников А.Г.,Малышев В.И. Исследование процесса обратного выдавливания с использованием активных сил трения,разработка конструкций штампов и оборудования.Материалы научно-технической конференции, посвященной 50-летию Армии.Ереван,1970,стр.15.
6. Овчинников А.Г.,Головин А.А. Определение контактных напряжений на поверхности ступенчатого пуансона при обратном выдавливании. Материалы республиканской научно-технической конференции,посвященной 50-летию Советской Армии,Ереван,1970.
7. Овчинников А.Г.,Головин А.А. Исследование процесса обратного выдавливания ступенчатым пуансоном.Материалы шестой научно-технической конференции.Тула,1970, стр.19.
8. Овчинников А.Г.,Головин А.А. Расчет на прочность ступенчатых пуансонов.Журнал "Вестник машиностроения",1971,№10, стр.57-59.
9. Овчинников А.Г.,Семенов Е.И. Способ выдавливания полых изделий.Авторское свидетельство №326997 М.Кл.В.21 5/12.1971, стр.2.

10. Овчинников А.Г., Малышев В.И. Исследование процесса обратного выдавливания с использованием активных сил трения. Технология изготовления заготовок в Машиностроении. Сб. МВТУ, изд. "Машиностроение", Москва, 1971, стр. 90-97.

11. Овчинников А.Г., Шубин И.Н., Пахомов Е.В. Штамповка поковок с отростками в закрытых штампах. Технология изготовления заготовок в машиностроении. Сб. МВТУ Изд. "Машиностроение", Москва, 1971, стр. 98-107.

12. Овчинников А.Г., Хабаров А.В., Петухов И.А., Семенов Е.И. и др. Гидравлический штамповочный пресс, авторское свидетельство № 398414 от 01.10.71. М.

13. Овчинников А.Г., Макина Н.А. Исследование процесса закрытой прошивки с активными силами трения. Журнал "Кузнечно-штамповочное производство". 1972, №6, стр. 3-5.

14. Овчинников А.Г. Верхняя оценка деформирующего усилия при выдавливании изделий с боковыми отростками. Сб. труды МВТУ, №163. "Машины и технология обработки металлов давлением". Изд. "Машиностроение", Москва 1973, стр. 181-186.

15. Овчинников А.Г. Осадка бесконечно-длинной полосы. Сб. Труды МВТУ №163. "Машины и технология обработки металлов давлением", изд. "Машиностроение", Москва, 1973, стр. 178-181.

16. Попов Е.А., Овчинников А.Г. Холодное выдавливание заготовок типа тел вращения с использованием активных сил трения. Состояние и перспективы развития кузнечно-штамповочного производства на предприятиях Минстанкопрома. Москва, 1973, стр. 67.

17. Зимин А.И., Овчинников А.Г., Хабаров А.В. Об основных показателях мощных гидравлических штамповочных прессов. Труды МВТУ №163. Машины и технология обработки металлов давлением. Изд. "Машиностроение", Москва 1973, стр. 117-121.

18. Овчинников А.Г., Богданов Э.Ф. Экспериментальные исследования по теории обработки металлов давлением. Методическое пособие Москва, 1973, стр. 45.

19. Хабаров А.В.,Овчинников А.Г.,Семенов Е.И. Гидравлический штамповочный пресс со станиной в сдвоенном рамном исполнении. Журнал "Вестник машиностроения",1973 №8, стр.59-62.

20. Овчинников А.Г.,Лугинин В.И. Применение ЭВМ при исследовании холодного выдавливания.Материалы семинара "Объемная штамповка" МДНТП им.Ф.Э.Дзержинского 1973, стр.

21. Овчинников А.Г.,Малышев В.И.,Степанова Т.А. Механический пресс, авторское свидетельство №376268 от 15.01.73.М.,кл.В 306 №06,В2,9/18.

22. Семенов Е.И.,Овчинников А.Г.,Ефремов В.К. Определение усилий при прессовании металла через коническую матрицу.Вестник машиностроения,1974,№2.

23. Овчинников А.Г.,Лугинин В.И. Исследование процесса обратного выдавливания с использованием функции тока."Известия ВУЗ(ов).Машиностроение" 1974.№10.

24. Попов Е.А.,Овчинников А.Г. Выдавливание с активными силами трения.Материалы общегосударственной научной конференции с международным участием "Износ и стойкость инструмента при обработке давлением", ЧССР,г.Братислава,1974.

25. Попов Е.А.,Овчинников А.Г. Исследование кинематического и напряженного состояния заготовки в операциях обработки давлением. Материалы 6-ой Всесоюзной конференции прочности и пластичности, г.Москва, 1975.

Зак. 1239 Тир. 150. Объем 2 п.л. Лит. № 91175 от 14/У-75.
Тип. МВТУ