

M287714

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Министерство высшего и среднего специального образования

Московское

ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

ДМИТРИЕВ Александр Михайлович

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО ОБРАТНОГО
ВЫДАВЛИВАНИЯ И СТОЙКОСТИ СТУПЕНЧАТЫХ ПЛАНСОНОВ

05.03.05.- Технология и машины обработки давлением

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва - 1976

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское

ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

ДМИТРИЕВ Александр Михайлович

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО ОБРАТНОГО
ВЫДАВЛИВАНИЯ И СТОЙКОСТИ СТУПЕНЧАТЫХ ПЛАТФОРМ

05.03.05.- Технология и машины обработки давлением

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1976

М 287414

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1287714

Дмитриев А.М. Исследование

Работа выполнена в МВТУ им. Баумана

Научный руководитель – доктор технических наук доцент
Овчинников А.Г.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук Степанский Л.Г.,

кандидат технических наук доцент Ефремов В.К.

Ведущее предприятие указано в решении Ученого Совета.

Защита диссертации состоится " " _____ 1976 г.

на заседании специализированного Совета _____

Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшего технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу:
Москва, 107005, 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим
выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им.
Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан " " _____ 1976 г.

Ученый секретарь специализированного Совета

Л-101205 от 14/У-76г. Объем I п.л. Тип МВТУ. Зак.1237.Тир.100

● ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

М В Т У
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

Актуальность проблемы. Повышение эффективности производства неразрывно связано с разработкой и внедрением технологических процессов, позволяющих получать высококачественные изделия, обеспечивать высокие производительность и культуру труда. Современные масштабы производства требуют разработки процессов, легко поддающихся механизации и автоматизации.

В области обработки металлов давлением ведутся работы по внедрению техпроцесса холодного обратного выдавливания полых цилиндрических деталей. Многие машиностроительные детали, для получения которых рационально применять процесс выдавливания, имеют ступенчатую полость. Возможны два способа выдавливания таких деталей: гладкими пуансонами за несколько переходов и ступенчатым пуансоном за один переход. Второй процесс является более прогрессивным, т.к. позволяет повысить производительность и создает лучшие предпосылки для его автоматизации. Исследование процесса выдавливания ступенчатым пуансоном является актуальной проблемой.

Цель исследования. Целью настоящей работы является установление области рационального применения выдавливания ступенчатым пуансоном в зависимости от качества изделия и стойкости инструмента.

Для внедрения техпроцесса выдавливания ступенчатым пуансоном разработаны штамповая оснастка и оборудование.

Методы исследования. Характер течения деформируемого металла в процессе выдавливания ступенчатым пуансоном и дефекты исследованы по макроструктуре изделий.

Исследование напряженного состояния заготовки проведено согласно инженерному методу теории обработки давлением при задании распределения скоростей течения в очаге пластической деформации выражением, согласующимся с экспериментом.

Оценка стойкости ступенчатого пуансона основана на расчете величины эквивалентного напряжения в наиболее опасных точках пуансона по энергетической теории с учетом геометрического и силового концентраторов напряжений.

Экспериментально исследованы величины удельного деформирующего усилия в зависимости от схемы деформирования, формы и

относительных размеров пуансона и матрицы.

Научная новизна. Выявлено влияние конструкции инструмента и схемы деформирования на качество изделия и величину усилия при выдавливании ступенчатым пуансоном. Определена степень влияния каждого из основных конструктивных и технологических факторов.

В результате теоретического анализа установлена методика определения удельного усилия выдавливания ступенчатым пуансоном при отсутствии разделения очага пластической деформации жесткой зоной. Разработана методика оценки прочности ступенчатого пуансона с учетом концентрации напряжений в галтели под ступенью.

Проведено экономическое обоснование области рационального применения выдавливания ступенчатым пуансоном в зависимости от его стойкости.

Практическая ценность. В результате проведенных исследований найдена оптимальная форма ступенчатого пуансона, обеспечивающая максимальную его стойкость и получение высококачественного изделия, что призвано изобретением.

Разработаны и опробованы в производственных условиях технологический процесс и конструкция штампа для выдавливания детали с двухступенчатой полостью.

Разработаны две конструктивные схемы гидропресса для выдавливания с активными силами трения деталей со ступенчатой полостью. Оба варианта конструкции признаны изобретениями и защищены авторскими свидетельствами.

Разработан экспериментальный образец гидропресса для выдавливания с активными силами трения.

Данная работа является составной частью исследований, проводимых на кафедре "Машины и автоматизация обработки давлением" МВТУ им. Н.Э. Баумана в области разработки, анализа и практического внедрения процессов холодного выдавливания.

Апробация работы. Основные разделы работы доложены: на научных семинарах кафедры АМ-6 МВТУ им. Баумана - дважды - в 1975, 1976 гг., на XI научно-технической конференции Тульского политехнического института в 1975, на научно-технических конференциях молодых специалистов завода-вуза (ЗИЛ) - дважды

- в 1975, 1976 гг., на научном семинаре "Прогрессивные методы и оборудование для обработки металлов давлением" в Киевском РДЭНТИ в 1976 г.

Результаты исследования технологии выдавливания двух ступенчатым пуансоном включены в отчет по научно-исследовательской теме АМ-678.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 115 страницах машинописного текста. Она содержит введение, шесть глав, выводы по каждой главе, итоги работы. В диссертации приведены 11 таблиц, 100 рисунков и список литературы из 71 наименования.

В первой главе дана общая характеристика процесса обратного выдавливания ступенчатым пуансоном. Рассмотрены работы, связанные с исследованием напряженно-деформированного состояния, определением величин деформирующего усилия и действующих на стенку матрицы нормальных напряжений при выдавливании ступенчатым пуансоном.

Анализ известных из отечественной и зарубежной литературы исследований Гофмана Ф.И.; Тарновского И.Я., Поздеева А.А. и Вайсбурда Р.А.; Моргана Р.; Овчинникова А.Г. и Головина А.А. показывает, что при выдавливании ступенчатым пуансоном величина удельного деформирующего усилия больше, чем при выдавливании гладким. Увеличение удельного усилия и наличие концентрации напряжений снижают стойкость ступенчатого пуансона по сравнению со стойкостью гладкого.

При выдавливании ступенчатым пуансоном имеет место встречный характер течения металла из-под торца пуансона вверх и от торца ступени - вниз, при плоских торцах пуансона и ступени под ними существуют застойные зоны. В результате возможно образование дефектов в изделии. В литературе практически нет сведений о влиянии формы ступенчатых пуансонов на качество изделия и величину удельного усилия выдавливания.

В результате исследований Яшайца С.Ш.; Овчинникова А.Г.; Макиной Н.А. и Малышева В.И.; Охрименко Я.М. и Бережного В.Л. установлено, что изменение характера сил трения приводит к уменьшению усилия выдавливания на величину до 30%. Изменение направления сил трения достигается перемещением матрицы в сторону истечения металла со скоростью, превышающей скорость

истечения. Определено оптимальное соотношение скорости перемещения матрицы и скорости истечения при обратном выдавливании, равное 2.

Для внедрения в производство выдавливания с активными силами трения необходимы разработка и создание специализированного оборудования. Разработаны прессы, привод которых позволяет поддерживать постоянное в процессе выдавливания соотношение между скоростями перемещения пуансона и матрицы.

В результате проведенного анализа и в соответствии с целью исследования были поставлены следующие задачи:

1. Установить на основе исследования характера течения деформируемого металла зависимость качества изделия при выдавливании ступенчатым пуансоном от относительных радиусов матрицы и пуансона, формы и размеров галтели под ступенью пуансона, толщин дна изделия. Дать рекомендации по выбору оптимальной формы ступенчатого пуансона.

2. Установить влияние длины участка пуансона до ступени на характер течения и величину усилия выдавливания ступенчатым пуансоном.

3. Определить теоретически и экспериментально величины деформирующего усилия при конструктивных и технологических параметрах процесса, позволяющих получить высококачественное изделие, уменьшить усилие и повысить стойкость инструмента.

4. Разработать методику расчета ступенчатого пуансона на прочность с учетом концентрации напряжений в галтели.

5. Разработать и опробовать в производственных условиях технологию изготовления детали с двухступенчатой полостью и конструкцию производственного штампа.

6. Предложить конструктивные схемы прессов для выдавливания с активными силами трения, позволяющие поддерживать оптимальную скорость перемещения матрицы относительно скорости истечения металла при выдавливании деталей с переменным по высоте сечением, когда скорость истечения в процессе выдавливания изменяется.

Во второй главе изложены результаты исследования характера течения металла и качества изделий в зависимости от относительных радиусов пуансона и матрицы, формы и размеров галтели

под ступенью пуансона, длины пуансона до ступени, толщины донной части изделия. Относительные радиусы пуансона и матрицы: $R = \frac{\bar{R}}{\bar{R}_0}$ и $r_1 = \frac{\bar{r}_1}{\bar{r}_0}$, где $\bar{R}$ - радиус матрицы, $\bar{R}_0$ - радиус пуансона до ступени, $\bar{r}_1$ - радиус ступени. Исследование проведено по макроструктуре экспериментальных деталей из алюминиевых сплавов Д1, Д16 (в отдельных экспериментах применены также сплавы АД1, АК8, В95), полученных выдавливанием на гидравлической универсальной испытательной машине УИИ-50 и на кривошипном прессе РКЖ-250(ГДР).

Установлено, что при пуске торце ступени пуансона и остром внутреннем угле или галтели малого радиуса в заготовке под торцом ступени образуется застойная зона, что является причиной показанных на рис. 1а и 1б дефектов.

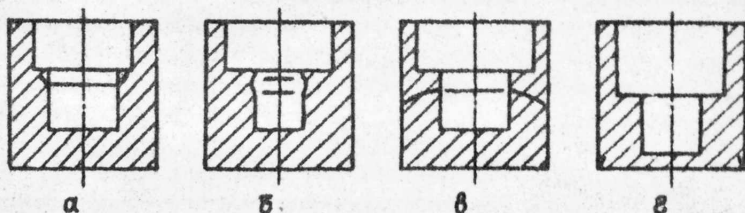


Рис.1

Трещина по границе застойной зоны, рис. 1а, появляется при недостаточном гидростатическом давлении в заготовке, которое зависит от толщины стенки выше ступени $/R - r_1/$ и ширины ступени /характеризуется величиной $r_1/$. Трещины не наблюдается у деталей с $R - r_1 \leq 0,55$ при $r_1 = 2,3$. При уменьшении r_1 до 1,35 отсутствие трещины определяется неравенством $R - r_1 \leq 0,15$.

Поднутрение на боковой поверхности полости ниже ступени, рис. 1б, является результатом появления деформации растяжения при изменении направления течения металла на границе застойной зоны. Оно также, как и трещина, имеет место при недостаточном гидростатическом давлении, но при большой ширине ступени, когда трещина не образуется. При $R - r_1 < 0,3$ поднутрения не наблюдается.

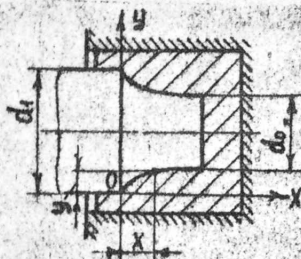
Для предотвращения рассмотренных дефектов необходимо выполнить переход под ступенью пуансона, устраняющий застойную

зону, или увеличить гидростатическое давление. Форма ограничивающей застойной зоны поверхности близка к конической. При $R - r_1 \geq 0,65$ величина угла при вершине конуса $\sim 90^\circ$, при $R - r_1 < 0,65$ и $r_1 > 1,2$ величина угла $\sim 120^\circ$, при $r_1 < 1,2$ величина угла $\sim 90^\circ$ вне зависимости от $R - r_1$.

Применение матрицы с расширяющейся в сторону истечения металла рабочей поверхностью позволяет снизить усилие деформирования в результате уменьшения трения. Однако одновременно уменьшается гидростатическое давление. При конусности матрицы 2° получить изделие из малопластичного сплава пуансоном с галтелью малого радиуса под ступенью Нельзя.

Определена оптимальная форма галтели в результате эксперимента по выдавливанию ступенчатым пуансоном заготовки с предварительно выточенной полостью диаметра $2\bar{r}$, заполненной более пластичным материалом. Поверхность раздела наполнителя и металла заготовки, оформляемая в процессе выдавливания, принята за оптимальную форму галтели. Размеры галтели приведены в табл. I.

Табл. I.



$\frac{x}{dr d_0}$	0	0,015	0,05	0,14	0,26	0,43	0,6	0,88	1,25	1,62
$\frac{y}{dr d_0}$	0	0,05	0,12	0,2	0,27	0,35	0,4	0,45	0,48	0,5

При выдавливании детали с тонкой стенкой и широкой ступенью из малопластичного труднодеформируемого сплава /например, В95/ возможно образование трещины, пересекающей стенку изделия ниже ступени, рис. Iв. Причиной является выход металла из-под торца пуансона к наружной поверхности в результате взаимодействия с потоком от ступени. Трещина, пересекающая стенку, развивается из мелких поперечных трещин, которые появляются на наружной поверхности изделия при $\frac{R}{r_1} < 1,5$. При больших скоростях выдавливания /кривошипный пресс/ трещины на наружной поверхности наблюдаются при значениях $\frac{R}{r_1}$ больше

указанных. Глубина трещин зависит от смазки. Устраняется дефект применением исходных заготовок без поперечных рисок, а также подбором смазки.

При малой толщине дна изделия образуется трещина на кромке дна, рис.1г. Причиной является наличие встречных потоков металла из-под торца пуансона - вверх и от торца ступени - вниз, к кромке дна. Для устранения этого дефекта необходимо увеличить толщину дна или снять фаску.

В результате исследования характера течения в зависимости от длины пуансона до ступени установлено, что при длине, ограниченной дугой полуокружности с центром на оси пуансона на уровне торца ступени, происходит слияние разделенных жесткой зоной очагов пластической деформации под торцами пуансона и ступени в общий очаг. При этом изменяются размеры застойной зоны под торцем ступени, и пуансон с застойными зонами приобретает плавно обтекаемую металлом форму. При слиянии очагов пластической деформации можно принять расчетную схему процесса, как показано на рис.2.

В третьей главе изложены полученные в результате теоретического анализа процесса методики определения удельного усилия выдавливания при одном очаге пластической деформации в заготовке, оценки прочности ступенчатого пуансона с учетом теоретического коэффициента концентрации напряжений в галтеле под ступенью, обоснования области экономически рационального применения выдавливания ступенчатым пуансоном.

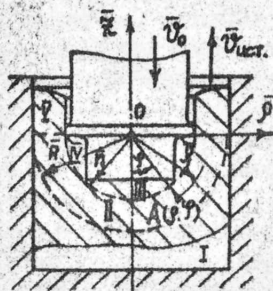


Рис.2

Расчетная схема процесса приведена на рис.2. Решение проводится в сферической системе координат. Деформируемое тело считается жестко-пластическим. Зоны I, II, III, IV, V - жесткие, зона VI - пластичная.

Распределение скоростей течения в очаге пластической деформации задано выражениями

$$U_p = (R - \rho) \cos \varphi, \quad U_\varphi = \frac{1}{3} (3\rho - 2R) \sin \varphi,$$

$$\text{где } R = \frac{\bar{R}}{R - \bar{R}}, \quad \rho = \frac{\bar{\rho}}{R - \bar{R}}, \quad U_p = \frac{U_p}{U_0}, \quad U_\varphi = \frac{U_\varphi}{U_0}$$

При таком задании распределения скоростей выполняются граничные условия: при $\rho = \bar{\rho}$ и $\varphi = 0$, $U_p = 1$; при $\rho = R$, $U_p = 0$.

- и условие постоянства объема.

Подстановка выражений для скоростей течения в уравнение равновесия с учетом кинематических уравнений и уравнений связи позволяет найти последующим интегрированием выражение для среднего главного напряжения. При интегрировании соблюдено граничное условие: при $\varphi = \frac{\pi}{2}$; $\sigma_y = 0$.

С учётом выражения для среднего главного напряжения распределение напряжений на верхней границе очага пластической деформации описывается следующими выражениями:

$$\sigma_p = -\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{(1 + 5\cos^2\varphi)\cos\varphi}{\sqrt{(2\cos^2\varphi + 1)^3}} \ln r_1 - \frac{2\cos\varphi}{\sqrt{3}\sqrt{2\cos^2\varphi + 1}};$$

$$\sigma_\theta = \sigma_y = -\frac{2(1 + 5\cos^2\varphi)\cos\varphi}{\sqrt{3}\sqrt{(2\cos^2\varphi + 1)^3}} \ln r_1 + \frac{\cos\varphi}{\sqrt{3}\sqrt{2\cos^2\varphi + 1}};$$

$$\tau_{\varphi r} = \frac{\sin\varphi}{\sqrt{3}\sqrt{2\cos^2\varphi + 1}}.$$

Величины удельного деформирующего усилия

$$q = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (-\sigma_p \sin\varphi \cos\varphi + \tau_{\varphi r} \sin^2\varphi) d\varphi,$$

рассчитанные с использованием ЭЦВМ, приведены в табл.2.

Табл.2.

$\frac{R}{r_1} = 1,05$	$\frac{R}{r_1} = 1,1$	$\frac{R}{r_1} = 1,2$	$\frac{R}{r_1} = 1,5$
4,05	3,38	2,72	1,86

Оценка прочности ступенчатого пуансона с учетом теоретического коэффициента концентрации напряжений в галтели под ступенью основана на принципе суперпозиции действия сил. Расчетным является сечение галтели под ступенью пуансона. Последовательно рассмотрены действия среднего осевого напряжения q_0 на участке пуансона до ступени и контактных давлений на поверхность галтели, осевого p_x и радиального p_r . Методика определения q_0 разработана Овчинниковым А.Г. и Головинным А.А.

Ю.

При действии q_0 эквивалентное напряжение σ_0 определяется по энергетической теории пластичности. Опасная точка расчетного сечения находится на контуре галтели. При наложении контактных давлений, в соответствии с принципом Сен-Венана, компоненты тензора напряжений в опасной точке изменяются следующим образом $\sigma'_x = \sigma_x + p_x$, $\sigma'_y = \sigma_y + p_y$, $\sigma'_z = \sigma_z + p_z$, $\tau' = \tau$.

При наличии контактных давлений на поверхности галтели эквивалентное напряжение

$$\sigma_0' = (p_x - p_y)^2 + (p_x - p_z)^2 + (p_y - p_z)^2 + \sigma_0^2.$$

Анализ существующих данных о распределении напряжений в выточках позволяет считать, что $\sigma_x = \alpha_0 q_0$, $\sigma_y \approx 0,9 \alpha_0 q_0$, $\sigma_z = (0,3 \dots 0,4) \alpha_0$, $\sigma_y = 0$, где α_0 — теоретический коэффициент концентрации напряжений.

Тогда $\sigma_0' = 0,8 \alpha_0^2 q_0^2 + 1,7 \alpha_0 q_0 (p_x - p_y) + (p_x - p_y)^2 \leq [\sigma]^2$, где $[\sigma]$ — допустимое напряжение. Согласно условию пластичности, $(p_x - p_y)_{\max} = 1,15 \sigma_s \approx \sigma_s$, где σ_s — напряжение текучести деформируемого сплава.

$$\text{Окончательно } \frac{[\sigma]}{\sigma_s} \geq \sqrt{0,8 \alpha_0^2 \left(\frac{q_0}{\sigma_s}\right)^2 + 1,7 \alpha_0 \frac{q_0}{\sigma_s} + 1}.$$

Область экономически рационального применения технологии выдавливания ступенчатым пуансоном за один переход определена в зависимости от соотношения стойкости ступенчатого пуансона и стойкостей гладких пуансонов при выдавливании за несколько переходов.

При сокращении переходов экономится время работы пресса и оператора. Однако низкая стойкость ступенчатого пуансона и необходимость переналадки штампа на прессе при его замене ограничивают экономическую рациональность технологии выдавливания ступенчатым пуансоном. Стойкость ступенчатого пуансона, ограничивающая область его применения, определяется следующим выражением:

$$B_{ст} = \frac{F t_{см} + 5}{(m-1)F(t_{шт} + \frac{t_{пз}}{N}) + (\frac{1}{B_1} + \frac{1}{B_2} + \dots + \frac{1}{B_m})(F t_{см} + 5)},$$

где $F = \frac{K + nC + 12\Pi}{\Phi}$, K — стоимость пресса с монтажом;
 T — срок окупаемости пресса; n — категория сложности ремонта пресса; C — стоимость затрат в год на ремонтную единицу;
 Π — заработная плата оператора пресса; Φ — годовой фонд времени работы пресса; $t_{шт}$ — время на штамповку одной детали;
 $t_{пз}$ — подготовительно-заключительное время на штампуемую пар-

тию N деталей; $t_{см}$ — время смены пуансона с переналадкой штампа на прессе; B_i — величина партии, штампуемой до разрушения пуансона /стойкость пуансона/ на i -ом переходе;

m — количество переходов при выдавливании гладкими пуансонами; $B_{ст}$ — стойкость ступенчатого пуансона; S — стоимость пуансона.

При рассмотрении конкретного примера выдавливания детали с двухступенчатой полостью установлено, что при $B_1 = 4000$ шт., $B_2 = 10000$ шт., $B_3 = 8000$ шт. применение выдавливания ступенчатым пуансоном рационально при $B_{ст} \geq 800$ шт.

В четвертой главе описаны экспериментальные исследования величины удельного усилия выдавливания ступенчатым пуансоном в зависимости от относительных размеров пуансона и матрицы, условий контактного трения и. границе заготовки с матрицей, формы пуансона, длины пуансона до ступени.

Эксперименты проведены на УИМ-50, материал заготовок — алюминиевый сплав Д1, скорость выдавливания составляла 10 мм/мин. Для оценки влияния скорости выдавливания проведено сравнение величин удельного деформирующего усилия при скоростях 5 мм/мин и 50 мм/мин. Расхождение при размерах инструмента $R = 2$, $r_1 = 1,6$ составило 15%.

Для оценки влияния условий контактного трения на границе заготовки с матрицей проведено сравнение усилий при выдавливании набором ступенчатых пуансонов с различными относительными радиусами в закрепленной матрице, в свободной матрице /матрица под действием сил трения перемещается в процессе выдавливания/ и в матрице с расширяющейся рабочей поверхностью с углом конусности 2° .

Установлено, что применение свободной матрицы позволяет получить снижение деформирующего усилия на величину до 13% по сравнению с выдавливанием в неподвижной матрице, а применение матрицы с углом конусности 2° — на величину до 25%.

При аналогичном сравнении усилий выдавливания гладкими пуансонами применение свободной матрицы позволяет получить снижение на величину до 9%, а матрицы с углом конусности 2° — до 7%. Следовательно, эффективность выдавливания с активными силами трения ступенчатым пуансоном должна быть выше, чем при выдавливании гладким.

Для оценки влияния на величину усилия выдавливания формы перехода под ступенью проведен эксперимент по выдавливанию ступенчатыми пуансонами с одинаковыми радиусами но разными переходами: острый внутренний угол, галтель радиуса $R - r_1$, галтель радиуса $3,5 (R - r_1)$, конус с углом при вершине 90° , конус с углом при вершине 45° , обтекаемая галтель, размеры которой приведены в табл. I.

Установлено, что наименьшее усилие при выдавливании ступенчатым пуансоном с острым внутренним углом под ступенью. Однако при этом имеет место застойная зона под торцом ступени, с наличием которой связана возможность образования рассмотренных выше дефектов. Наименьшее усилие при устранении застойной зоны достигается при выдавливании пуансоном с обтекаемой галтелью. При такой форме галтели, как известно из справочников по расчету на прочность, коэффициент концентрации напряжений близок к 1. Поэтому выполнение обтекаемой галтели под ступенью обеспечивает максимальную стойкость ступенчатого пуансона.

При выдавливании пуансоном с коническим переходом под ступенью усилие выдавливания увеличивается с уменьшением угла при вершине конуса. Поэтому при проектировании пуансона с коническим переходом под ступенью угол при вершине конуса следует принимать максимальным, обеспечивающим отсутствие застойной зоны.

Исследование влияния длины пуансона до ступени на величину усилия выдавливания проведено путем постепенного уменьшения длины. Исследование показало, что при наличии двух раздельных очагов пластической деформации уменьшение длины до ступени приводит к пропорциональному уменьшению усилия в результате изменения составляющей от трения. При наличии одного очага пластической деформации происходит более резкое снижение усилия выдавливания, что связано с изменением характера течений. При дальнейшем уменьшении длины до ступени усилие изменяется в результате уменьшения объема очага пластической деформации.

Установлено, что определенная в результате проведенного в главе 3 анализа зависимость для определения величины относительного удельного усилия выдавливания ступенчатым пуансо-

ном с ограниченной длиной участка до ступени с точностью до 17% соответствует реальному процессу при $\frac{R}{R_1} \leq 1,25$.

В пятой главе описаны разработанные и опробованные в производственных условиях технологический процесс выдавливания промышленных деталей из сплавов Д16 с двухступенчатой полостью и конструкция производственного штампа.

Предложена методика определения удельного усилия выдавливания двухступенчатым пуансоном в зависимости от относительных радиусов пуансона и матрицы. Усилия, определенные по приведенной методике, имеют расхождение с измеренными при выдавливании двух деталей с различными относительными радиусами в пределах 13%.

В шестой главе предложены две конструктивные схемы прессы для выдавливания с активными силами трения деталей с переменным по высоте сечением. В этих прессах привод матрицы обеспечивает перемещение ее со скоростью, изменяющейся в процессе выдавливания в соответствии с изменением скорости течения металла.

В первом варианте конструкции использован копно-рычажный механизм изменения производительности гидрпривода матрицы в функции перемещения ползуна. В качестве привода применен насос переменной производительности.

Во втором варианте конструкции для регулирования в процессе выдавливания скорости перемещения матрицы в магистраль, соединяющую гидроцилиндры привода матрицы с источником питания, введен специальный клапан.

Описана разработанная конструкция опытного образца гидропресса для выдавливания с активными силами трения.

Итоги работы.

1. В результате литературного обзора установлено, что при обратном выдавливании ступенчатым пуансоном возможно образование двух очагов пластической деформации, разделенных жесткой зоной, или одного, не существует исследованного процесса при одном очаге пластической деформации, практически не исследовано влияние формы и относительных размеров ступенчатого пуансона на качество изделий и величину удельного усилия выдавливания, отсутствует технико-экономический анализ процесса.

2. Для обоснования проведения исследований выполнен технико-экономический расчет, который подтвердил целесообразность и перспективность технологии выдавливания ступенчатым пуансоном.

3. В результате экспериментального исследования характера течения впервые выявлены причины появления дефектов при выдавливании ступенчатым пуансоном. Установлена оптимальная форма ступенчатого пуансона, позволяющая исключить дефекты в изделии при наиболее высокой стойкости пуансона. Обоснована принятая в анализе расчетная схема процесса.

4. В результате теоретического анализа установлена методика определения удельного усилия выдавливания при одном очаге пластической деформации в заготовке. Разработана методика оценки прочности ступенчатого пуансона с учетом теоретического коэффициента концентрации напряжений в галтели под ступенью.

5. В результате экспериментального анализа установлено, что условия контактного трения по границе с матрицей оказывают значительное влияние на величину усилия выдавливания ступенчатым пуансоном. При выдавливании в свободной матрице усилие уменьшается на величину до 13%, при выдавливании в матрице с расширяющейся поверхностью с углом конусности 2° — на величину до 25%. Следовательно, является эффективным выдавливание ступенчатым пуансоном с активными силами трения.

Экспериментальные исследования усилия выдавливания подтверждали приемлемость допущений, принятых в теоретическом анализе процесса /расхождение теоретических и экспериментальных результатов в пределах 17% при $\frac{R}{P_1} \leq 1.25/$.

6. Проведенные исследования позволили разработать и опробовать в производственных условиях технологический процесс получения изделий с 2-х ступенчатой полостью.

7. Предложены две конструктивные схемы пресса для выдавливания с активными силами трения деталей с переменным по высоте сечением.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Семенов Е.И., Овчинников А.Г., Дмитриев А.М. Исследование процесса выдавливания. "Известия высших учебных заведений. Машиностроение", М., МВТУ им. Баумана, 1975 г., № 12.

2. Овчинников А.Г., Головин А.А., Дмитриев А.М. Оценка прочности ступенчатых пуансонов для холодного выдавливания. "Известия высших учебных заведений. Машиностроение", М., МВТУ им.Баумана, 1976 г., № 1.

3. Овчинников А.Г., Дмитриев А.М. Система управления гидравлическим прессом. Авторское свидетельство СССР №489658, кл. В30 в 15/20 с приоритетом от 23 мая 1974 г. "Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки" № 40, 1975 г.

4. Овчинников А.Г., Головин А.А., Дмитриев А.М. Получение детали "муфта" с внутренней ступенчатой полостью закрытой прошивкой за один переход. Тезисы докладов XI научно-технической конференции Тульского политехнического института. Секция "Обработка металлов давлением". Тула, 1975 г.