

00.11.14
На правах рукописи

УДК 621.979.15

Абрамов Евгений Алексеевич

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПОЛЫХ
ДЕТАЛЕЙ ХОЛОДНЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ НА
МАЛОГАБАРИТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССАХ**

Специальность 05.03.05 – Технологии и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Е.А. Абрамов

Москва

2006

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время актуальным является повышение технико-экономических показателей отечественного машиностроения в целом и конкурентоспособности продукции машиностроительного производства путем повышения качества, надежности и увеличения срока службы деталей машин.

Развитие машиностроения неразрывно связано с применением прогрессивных методов изготовления изделий на основе процессов холодной объёмной штамповки, позволяющих получать точные размеры заготовок, высокое качество поверхности, а следовательно, сократить, а иногда и полностью исключить обработку резанием, то есть обеспечить энергосберегающую, малоотходную или безотходную технологию.

Как показывает опыт международных научно-технических конференций, область холодной штамповки в странах Запада также постоянно расширяется.

Однако для выполнения холодного выдавливания необходимо создавать удельные силы, величина которых в ряде случаев составляет четыре и более значений напряжения текучести материала деформируемой заготовки. Это обстоятельство является одной из причин, затрудняющих применение операции холодного выдавливания для среднеуглеродистых сталей, так как стойкость инструмента (в первую очередь пуансонов) является недостаточной, чтобы технологический процесс был конкурентоспособным по сравнению с другими.

Практикой установлено, что величина удельной силы, воспринимаемая пуансонами из сталей P9M4, P6M3, P6M5, ЭП761, твердость которых HRC, 61-63, не должна превышать 2500 МПа.

В настоящее время для снижения деформирующей силы применяют различные смазки, формы инструмента, способы обработки поверхности заготовок, позволяющие уменьшить силы контактного трения, а также проводят выдавливание с активными силами трения. Автор конкретизирует возможности этих способов снижения сил в применении к выдавливанию цилиндрических стаканов из среднеуглеродистых сталей. Поэтому тема диссертации является актуальной.

Целью работы является расширение области применения холодного выдавливания деталей типа стаканов путём научно обоснованного проектирования технологических процессов с использованием способов комбинированного выдавливания, позволяющих уменьшить удельные деформирующие силы, повысить формоизменение заготовок, увеличить точность изготавливаемых деталей и исключить необходимость последующих доводочных операций.

Методы исследований. Экспериментальные исследования были проведены с использованием метода многофакторного планирования, экспери-

ИМ. Н. Э. БАУМАНА

БИБЛИОТЕКА

ментов. Эксперименты проводились на заготовках, с размерами $d_1 = 30$ мм и $h_1 = 30$ мм из меди М1, АРМКО железа и стали 20 на лабораторном гидравлическом прессе ПАСТ-1 с номинальной силой 1,6 МН и универсальной испытательной машине (УИМ-50). Использовалась разработанная оснастка, позволяющая моделировать холодное выдавливание деталей типа стакан на гидравлических прессах в матрице пуансонами разных диаметров и форм торца пуансона из заготовок, имеющих разные размеры наметки. Процесс холодного выдавливания производился с применением активных сил трения и без их применения.

Для построения математических моделей и их анализа, обработки данных экспериментальных исследований и численного моделирования техпроцессов холодного выдавливания были использованы методы многофакторного планирования с применением компьютерных программ “Excel” и “Mathcad 11”.

Научную новизну имеют следующие результаты:

- расширение области применения холодного выдавливания деталей типа стаканов путём рационального применения комбинированных способов, предусматривающих течение в двух направлениях;
- построение математической модели операции выдавливания деталей типа стакан с учётом формы инструмента, формы торцевой наметки и глубины выдавливаемой полости и выдача рекомендаций по увеличению глубины полости, выдавливаемой за один переход;
- нахождение совокупности оптимальных форм наметки на заготовке и торца пуансона для снижения удельной силы на инструмент.

Практическую значимость имеют следующие результаты:

- разработана экспериментально обоснованная методика проектирования технологического процесса производства деталей типа стакан с предварительным нанесением наметки на заготовку;
- даны рекомендации по определению рациональных параметров операции холодного выдавливания деталей типа стакан по построенным математическим моделям;
- спроектирован специализированный пресс для производства деталей типа стаканы, сделано экономическое обоснование для внедрения данного пресса в серийное производство.

Апробация работы.

Основные положения работы доложены и обсуждены на:

- Аспирантских семинарах кафедры «Технологии обработки давлением», МГТУ им. Н.Э.Баумана.
- Научно-технических семинарах кафедры «Технологии обработки давлением» МГТУ им. Н.Э.Баумана.
- Научно-технической конференции «Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением». Тула, Тульский государственный университет, 2001 г.

- Научно-техническом совещании ОАО «ТЯЖПРЕССМАШ», г. Рязань 2002 г.
- Научно-технической семинар «Механика и процессы управления, серия технологии и машины обработки давлением». - Екатеринбург, 2003г.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы изложено в 6-ти опубликованных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы и приложения. Работа выполнена на 235 страницах машинописного текста, содержит 83 рисунка, 64 таблицы и список литературы из 83 наименований.

Автор защищает:

- преимущества разработанного технологического процесса выдавливания деталей типа стакан;
- методику, позволяющую использовать полученные уточнённые формулы, пригодные для расчета сил в характерных точках диаграммы комбинированного выдавливания при наличии упрочнения;
- уточнённые формулы для расчета основных технологических параметров процесса комбинированного выдавливания цилиндрических стаканов с наружным стержнем;
- уточненные формулы для расчета оптимальных углов матрицы и деформирующей силы при калибровке прутковых заготовок;
- математические модели, описывающие силу выдавливания деталей типа стакан из различного материала с предварительным нанесением наметки на торец заготовки;
- целесообразность применения разработанной конструкции специализированного малогабаритного прессы для промышленного производства деталей типа стакан холодной объёмной штамповкой.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертационной работы и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ литературных источников, посвященных вопросам получения деталей цилиндрической формы холодным выдавливанием и различных факторов влияющих на данный процесс.

В главе рассмотрены существующие схемы изготовления цилиндрических деталей и методы экспериментальных и численных исследований процессов пластического формоизменения заготовки. А также проведён анализ существующих малогабаритных гидравлических прессов для получения данных заготовок из мало- и среднеуглеродистых сталей.

При изучении литературных источников было установлено, что исследование процесса выдавливания гладким пуансоном проводилось большим количеством авторов; С.И. Губкин, Е.П. Унксов, М.В. Сторожев, Л.В. Прозоров, И.Я. Тарновский, О.А. Ганаго, Р.А. Вайсбург, А.Г. Овчинников, А.М.

Дмитриев и др.

Исследования процесса выдавливания ступенчатым пуансоном были проведены И.Я. Тарновским, О.А. Ганаго, Р.А. Вайсбургом, А.Г. Овчинниковым, А.А. Головиным и А.М. Дмитриевым и др.

Изучению комбинированного выдавливания посвящены работы А.Ю. Кахара, Л.А. Шофмана, Л.Д. Оленина, Л.Г. Степанского, В.М. Колесникова, О.В. Грязнова, А.К. Евдокимова, Е.В. Юдахина, Ф. А. Коммеля, Е.И. Семёнова, К.В. Хидешели, М.Ю. Пискарёва, В.А. Евстратова, И.А. Королёва и др.

Не смотря на большое количество проведенных работ в данной области существует ряд вопросов, на которые не было получено ответов, либо полученные ответы были не однозначны. Так например в работах Овчинникова А.Г. и Тарновского И.Я. изложено определение напряженного состояния при выдавливании ступенчатым пуансоном по теории пластического течения, полученные промежуточные выражения имеют достаточно громоздкий вид. При этом решение не доведено до получения расчетных соотношений в явном виде и включает не взятый неопределенный интеграл от неизвестной зависимости контактного касательного напряжения, что затрудняет использование результатов исследования технологами-практиками. В решении также не учитывались форма переходной галтели и влияние упрочнения материала заготовки, отсутствуют расчетные соотношения для случая слияния очагов пластической деформации.

В работе Гречникова Ф.В. и Дмитриева А.М. для выдавливания ступенчатым пуансоном с активными силами трения получены расчетные соотношения в явном виде. Данные соотношения также достаточно сложны и имеют область применения, ограниченную определенными значениями радиусов пуансона, матрицы и фактора трения по матрице, т.к. при выходе за эти значения под имеющимся в решении квадратным корнем получается отрицательная величина. Форма переходной галтели и влияние упрочнения материала заготовки в решении не учитывались. Случай слияния очагов пластической деформации также не рассмотрен.

Наиболее простые расчетные формулы получены в работе Осадчего В.Я. и Воронцова А.Л., где изложена также и методика определения основных технологических параметров в случае слияния верхнего очага пластической деформации с нижним. Однако и в этой работе тоже не учитывалась форма галтели, отсутствуют методика учета упрочнения и формулы для выдавливания ступенчатым пуансоном с активными силами трения.

Влияние формы пуансона на величину удельной силы выдавливания исследовалось во многих работах. Полученные результаты крайне противоречивы. В работе Глебова И.Ф. указывается, что выдавливание пуансоном со сферическим торцом требует больших сил, чем выдавливание пуансоном с плоским торцом, в то время как теоретические исследования работы Овчинникова А.Г. показывают прямо противоположное. В работе Прозорова Л.В. приводятся полученные экспериментально коэффициенты формы пуансонов, и, таким образом, делается вывод, что, независимо от условий деформирова-

ния, одна форма торца оптимальнее по силе, чем другая. Работы Граздил Ф.А., Навроцкого Г.А., Семёнова Е.И. в качестве оптимального рекомендуют конический пуансон с углом конусности 60-75° и плоской площадкой с диаметром, равным 0,3-0,5 от диаметра рабочего пояска. По данным работ Фельдмана Г.Д., Эверхарт Д. оптимальным будет пуансон с углом конусности 85°. В то же время, в ряде работ показано, что оптимальность формы торца пуансона существенным образом зависит от величины обжатия. Согласно работе Антонова Е.А., Пасюта А.В. до обжатия величиной 58% оптимальным является пуансон с торцом в виде сферы, радиус которой в 1,5 раза превышает диаметр рабочего пояска пуансона, а при обжатии свыше 58% наилучшим будет пуансон с небольшой конической фаской с углом конусности 63°. Эти данные не согласуются с экспериментами работы Басовского Л.Б., Моисеева Е.Ф., Рене И.П. согласно которым при выдавливании нормализованных заготовок из стали 10 с обжатием 55-62% изменение угла конусности от 85° до 20° привело к уменьшению удельных деформирующих сил на 15-20%.

В работе Филимонова Ю.Ф., Позняка Л.А. указывается, что с увеличением радиуса фаски сила выдавливания снижается, в то время как в работе Митькина А.М. утверждается, что с увеличением этого радиуса сила возрастает.

В работах Дмитриева А.М., Яшаева С.Ш. и др. представлены сведения о влиянии активных сил трения на процесс холодного выдавливания, но ни в одной из этих работ не решена задача количественной оценки влияния активных сил трения. И так далее.

Подводя итоги литературного обзора однозначно можно сказать следующее. Наиболее эффективным для изготовления деталей типа стакан является технологический процесс холодной объёмной штамповки, основной формоизменяющей операцией которого является обратное выдавливание. Существует ряд описанных технологических процессов выдавливания деталей типа стакан с применением различных форм пуансона, различных наметок, с применением разных смазок. Однако, описание технологического процесса, учитывающего перечисленные условия одновременно, в существующей литературе отсутствует, недостаточно изучены процессы комбинированного выдавливания. Поэтому разработка технологических процессов холодного комбинированного выдавливания деталей типа стаканов является актуальной.

Исходя из этого вывода целью данной работы является расширение области применения холодного выдавливания деталей типа стаканов. В соответствии с этой целью поставлены следующие *задачи исследования*.

1. На основании теоретического анализа оценить величины деформирующих заготовку сил при комбинированном выдавливании стаканов со сферическим дном, сферическим пуансоном из цилиндрических заготовок.

2. На основании теоретического анализа определить величину снижения деформирующих заготовку сил при операции комбинированного выдавливания стакана с внешним стержнем в донной части.

3. Для рекомендуемой для включения в технологический процесс операции калибровки заготовок прямым выдавливанием теоретически обосновать рациональные углы матриц.

4. Для увеличения ресурса смазочного слоя на торце заготовок экспериментально обосновать формы и объёмы технологических канавок, выполняемых при калибровке заготовок.

5. Установить экспериментально величину снижения удельных деформирующих заготовку сил при выдавливании с активными силами трения, выявить рациональные формы торца пуансона, относительных толщин стенок выдавливаемых стаканов.

6. Разработать технологический процесс выдавливания стальных стаканов для автомобильной промышленности (поршней тормозного цилиндра из стали 10).

7. Разработать конструкцию малогабаритного специализированного пресса для выдавливания деталей типа стакан на малых предприятиях.

Во второй главе рассмотрены операции комбинированного выдавливания полых цилиндрических деталей пуансоном с полусферическим торцом и комбинированное выдавливание цилиндрических стаканов с наружным стержнем, а также операция калибровки цилиндрических прутков.

При выдавливании полых цилиндрических изделий часто используются пуансоны с торцом в виде полусферы. Наиболее простой схемой для определения основных характеристик такого выдавливания является показанная на рис. 1, где область пластических деформаций представлена заключенной между двумя эквидистантными сферическими поверхностями. Помимо простоты, такая схема является наиболее удобной для анализа выдавливания полых изделий со сферическим дном.

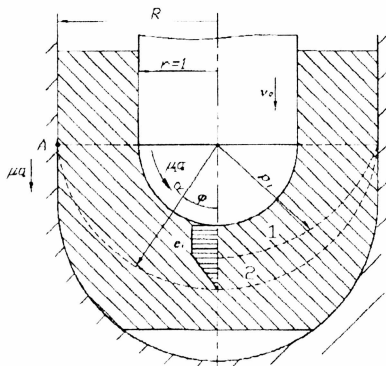


Рис. 1. Расчётная схема для изделия типа стакана со сферическим дном

В решении используем сферическую систему координат ρ, φ, θ . Выдавливаемый материал считаем жесткопластическим, а возможное упрочнение учитываем средним по очагу пластической деформации напряжением текучести σ_s . Задаём граничные условия: при $\rho=R$ $v_\rho=v_0\cos\varphi$, при $\rho=R$ $v_\rho=0$, при $\varphi=0$ $v_\varphi=0$ – откуда:

$$\text{Скорости течения: } v_\rho = \frac{v_0}{R^2 - 1} \left(\frac{R^2 - \rho^2}{\rho^2} \right) \cos\varphi, \quad v_\varphi = \frac{v_0}{R^2 - 1} \sin\varphi.$$

$$\text{Скорости деформации: } \begin{cases} \xi_\rho = \frac{\partial v_\rho}{\partial \rho}, \\ \xi_\theta = \frac{v_\varphi \operatorname{ctg} \varphi}{\rho} + \frac{v_\rho}{\rho}, \\ \xi_\varphi = \frac{1}{\rho} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{v_\rho}{\rho}, \end{cases}$$

$$\text{Соотношения Леви – Мизеса: } \begin{cases} \sigma_\rho = \sigma + \frac{2}{3} \frac{\xi_\rho}{\xi_i} \sigma_s, \\ \sigma_\varphi = \sigma + \frac{2}{3} \frac{\xi_\varphi}{\xi_i} \sigma_s, \\ \sigma_\theta = \sigma + \frac{2}{3} \frac{\xi_\theta}{\xi_i} \sigma_s, \\ \tau_{\varphi\rho} = \frac{1}{3} \frac{\eta_{\varphi\rho}}{\xi_i} \sigma_s, \end{cases}$$

$$\text{Интенсивность скоростей деформаций: } \xi_i = \frac{v_0}{R-1} \cos\varphi.$$

Удельная деформирующая сила будет равна:

$$q = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (|\sigma_\rho| \sin 2\varphi + 2|\tau_{\varphi\rho}| \sin^2 \varphi) d\varphi = \sigma_s \left[1 + 2 \ln \frac{R+1}{2} + 0,385 \frac{R[(\mu+0,5)R+2\mu]}{R-1} \right].$$

Для проверки данной формулы были проведены эксперименты по выдавливанию заготовок из свинца С00, напряжение текучести которого $\sigma_s=19$ МПа практически не зависело от накопленной деформации e_i . Результаты сопоставления теоретических и опытных данных приведены в табл. 2.2, из которой видно, что полученная формула как при использовании традиционного граничного условия (расчеты с $\mu=0,5$), так и при использовании предлагаемого (расчеты с $\mu=0,3$ и $\mu=0,1$) дает достаточно высокую сходимость с экс-

периментальными данными, существенно превосходя точность известных решений.

Таблица 1.

R	б/см.	$\mu=\mu_1=0,5$			$\mu=0,5, \mu_1=0,3$		$\mu=\mu_1=0,3$		смазка	$\mu=\mu_1=0,1$		
	$(q/\sigma_s)_s$	$(q/\sigma_s)_r$	$\delta, \%$	$(q/\sigma_s)_r$	$\delta, \%$	$(q/\sigma_s)_r$	$\delta, \%$	$(q/\sigma_s)_s$	$(q/\sigma_s)_r$	$\delta, \%$		
1,1	6,00	9,99	39,9	8,30	27,7	7,37	18,6	4,35	4,74	8,2		
1,2	5,05	6,27	19,5	5,35	5,6	4,79	-5,4	3,50	3,32	-5,4		
1,3	-	5,12	-	4,45	-	4,02	-	-	2,91	-		
1,4	-	4,60	-	4,06	-	3,68	-	-	2,77	-		
1,5	3,80	4,33	12,2	3,87	1,8	3,53	-7,6	3,10	2,72	-14,0		
1,6	-	4,19	-	3,78	-	3,45	-	-	2,72	-		
1,7	-	4,12	-	3,75	-	3,43	-	-	2,74	-		
1,8	-	4,10	-	3,75	-	3,44	-	-	2,78	-		
1,9	-	4,10	-	3,78	-	3,47	-	-	2,83	-		
2,0	3,60	4,12	12,6	3,81	5,5	3,50	-2,9	3,20	2,89	-10,7		

Также в данной главе была проанализирована удельная сила в каждой характерной точке данного процесса выдавливания. Полученные теоретические значения были подтверждены экспериментально (расхождение в пределах 10,1 %).

Для способа комбинированного выдавливания стаканов с внешним стержнем, рекомендуемого в литературе в качестве технологического приёма снижения нагрузок на инструмент и расширения области холодного выдавливания на заготовки из среднеуглеродистых сталей, представлены выведенные формулы для расчёта удельных сил на пуансонах, хорошо согласующиеся (расхождение в пределах 6,1 %) с данными экспериментов.

Для операции калибровки заготовок прямым выдавливанием выведены формулы для расчёта давлений на инструменте, позволившие оптимизировать углы конусности матриц. Показана хорошая сходимость теоретических данных с экспериментом (расхождение в пределах 3,6 %).

В третьей главе приведен выбор схем обратного выдавливания без применения активных сил трения и с их применением, осуществлено подробное описание используемого оборудования. Разработана технологическая оснастка для экспериментов, вошедших в данную работу, а также проведено исследование используемых материалов. Описана методика проведения осуществлённых экспериментов.

Представлена методика регрессионного анализа и в соответствии с ней проведено планирование экспериментов, вошедших в данную работу.

В четвертой главе представлены результаты, полученные при проведении экспериментов, рис. 2. Проведен анализ результатов эксперименталь-

ных и численных исследований. В соответствии с проведённым планированием многофакторного эксперимента, используя полученные результаты,

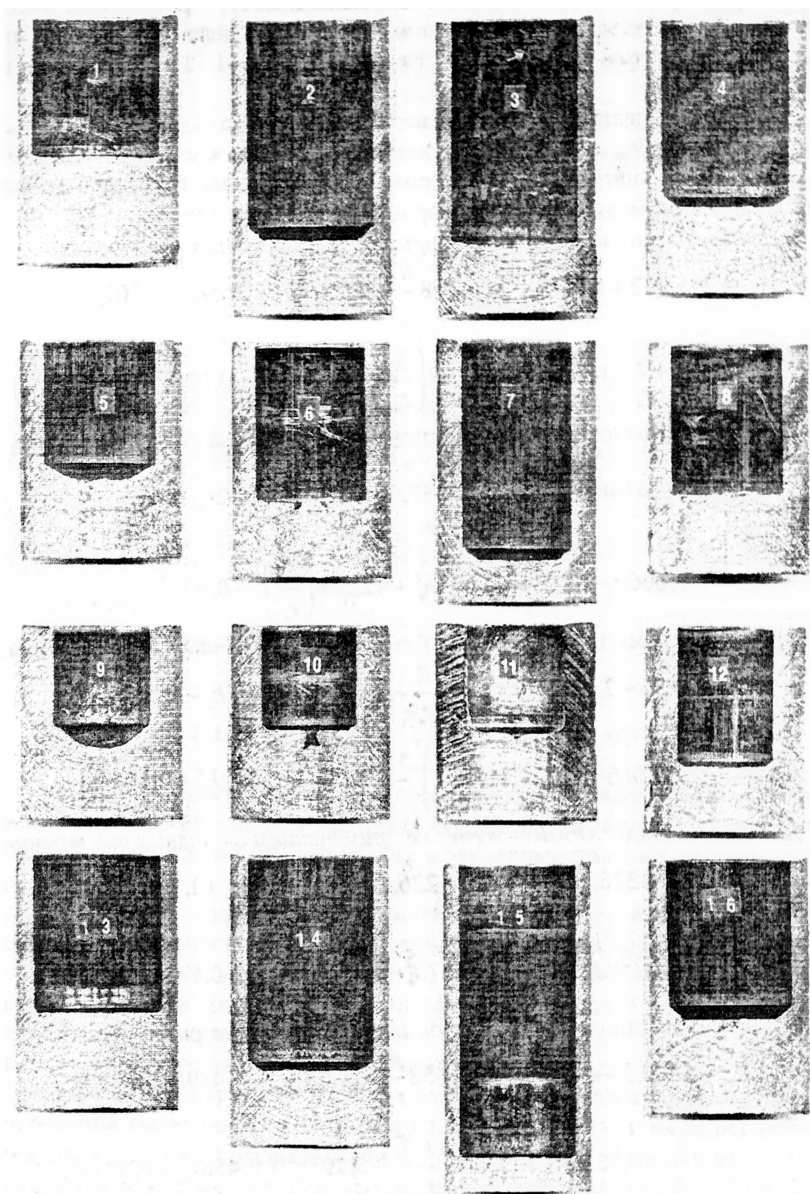


Рис 2. Детали типа стакан из стали 20

были построены математические модели, отражающие влияние активных сил трения, формы наметки, нанесённой на торец пуансона, диаметра пуансона и формы торца пуансона. Рассчитана воспроизводимость проводимых экспериментов. Расчёт коэффициентов математических моделей проводился посредством компьютерных программ "Excel" и "Mathcad 11", (представлен в приложении).

Ниже приведены математические модели для разного материала исходной заготовки без применения активных сил трения и с их применением, учитывающие влияние диаметра и формы торца пуансона, глубину выдавливания, форму и размеры наметки на торце заготовки.

Для заготовок из меди М1 без применения активных сил трения:

$$P_{M1} = 295,932 + 1,367h_g - 306,208\frac{R}{r_n} + 0,257r_n + 0,165h_n - 0,301\gamma - \\ - 2,775\frac{r_T}{r_n} - 0,032h_g^2 + 87,668\left(\frac{R}{r_n}\right)^2 - 0,017h_n^2 + 0,005\gamma^2.$$

Для заготовок из меди М1 с применением активных сил трения:

$$P_{M1a} = 168,2 + 2,097h_g - 157,965\left(\frac{R}{r_n}\right)^2 - 0,042h_n - \\ - 0,066\gamma - 10,9\frac{r_T}{r_n} - 0,058h_g^2 + 42,588\left(\frac{R}{r_n}\right)^2 - 0,02h_n^2.$$

Для заготовок из АРМКО железа без применения активных сил трения:

$$P_A = 698,156 - 2,72h_g - 732,439\frac{R}{r_n} + 2,613r_n + 0,792h_n - 0,952\gamma + \\ + 11,5\frac{r_T}{r_n} + 0,086h_g^2 + 214,858\left(\frac{R}{r_n}\right)^2 - 0,475r_n^2 - 0,072h_n^2 + 0,02\gamma^2.$$

Для заготовок из АРМКО железа с применением активных сил трения:

$$P_{Aa} = 326,64 - 5,364h_g - 226,214\frac{R}{r_n} - 0,283r_n + 1,794h_n - \\ - 0,225\gamma + 6,45\frac{r_T}{r_n} + 0,137h_g^2 + 52,172\left(\frac{R}{r_n}\right)^2 - 0,172h_n^2.$$

Для заготовок из стали 20 без применения активных сил трения:

$$P_{ст} = 520,13 - 4,497h_g - 493,658\frac{R}{r_n} + 35,118r_n - 4,489h_n - 1,089\gamma + \\ + 14,4\frac{r_T}{r_n} + 0,122h_g^2 + 130,142\left(\frac{R}{r_n}\right)^2 - 5,795r_n^2 + 0,456h_n^2 + 0,021\gamma^2.$$

Для заготовок из стали 20 с применением активных сил трения:

$$P_{cm_s} = 391,119 - 5,377h_g - 297,051 \frac{R}{r_n} - 3,771r_n + 0,203h_n + \\ + 0,082\gamma + 0,135h_g^2 + 76,398 \left(\frac{R}{r_n} \right)^2 + 0,569r_n^2 - 0,021h_n^2 - 0,007\gamma^2.$$

Далее, используя результаты многофакторных экспериментов, в соответствии с проведённым планированием были построены более универсальные модели, учитывающие активные силы трения.

Для заготовок из меди М1:

$$P_{M1} = 168,8 + 8,9619h_g - 232,09 \frac{R}{r_n} + 0,8237r_n + 0,072h_n - 0,2359\gamma - 6,8376 \frac{r_T}{r_n} - \\ - 10,922\Theta - 0,2276h_g^2 + 65,128 \left(\frac{R}{r_n} \right)^2 - 0,1126r_n^2 - 0,019h_n^2 + 0,004\gamma^2.$$

Для заготовок из АРМКО железа:

$$P_A = 522,56 - 4,0423h_g - 479,33 \frac{R}{r_n} + 1,5231r_n + 1,2929h_n - 0,5969\gamma + 8,9752 \frac{r_T}{r_n} - \\ - 21,056\Theta + 0,1114h_g^2 + 133,52 \left(\frac{R}{r_n} \right)^2 - 0,2986r_n^2 - 0,122h_n^2 + 0,01\gamma^2.$$

Для заготовок из стали 20:

$$P_{cm} = 481,28 - 4,9368h_g - 395,35 \frac{R}{r_n} - 0,1544r_n + 0,1584h_n - 0,101\gamma + 7,1248 \frac{r_T}{r_n} - \\ - 20,956\Theta + 0,1286h_g^2 + 103,27 \left(\frac{R}{r_n} \right)^2 + 0,0861r_n^2 - 0,0249h_n^2 - 0,002\gamma^2.$$

В данной главе представлено сравнение экспериментальных и теоретических данных, последние из которых получены с помощью математических моделей. Расхождение теоретических и экспериментальных данных составило менее 8%.

Используя полученные математические модели были рассчитаны и построены графические зависимости, наглядно показывающие влияние каждого фактора на силу выдавливания. На основе анализа полученные графические зависимости (рис. 3, 4, 5) были сделаны рекомендации для разработки методики проектирования техпроцесса холодного выдавливания деталей типа стакан без применения активных сил трения и с их применением.

При анализе графических зависимостей, представленных на рис.3, видно, что при выдавливании заготовок из АРМКО железа и меди М1 наблюдается снижение силы выдавливания до значения угла $\gamma=30^\circ$, а при $\gamma>30^\circ$ наблюдается её увеличение. При выдавливании заготовок из стали 20 наблюдается снижение силы выдавливания на протяжении всего заданного диапазона

угла γ , при этом надо отметить, что после значения $\gamma \approx 15^\circ$ снижение силы выдавливания протекает быстрее.

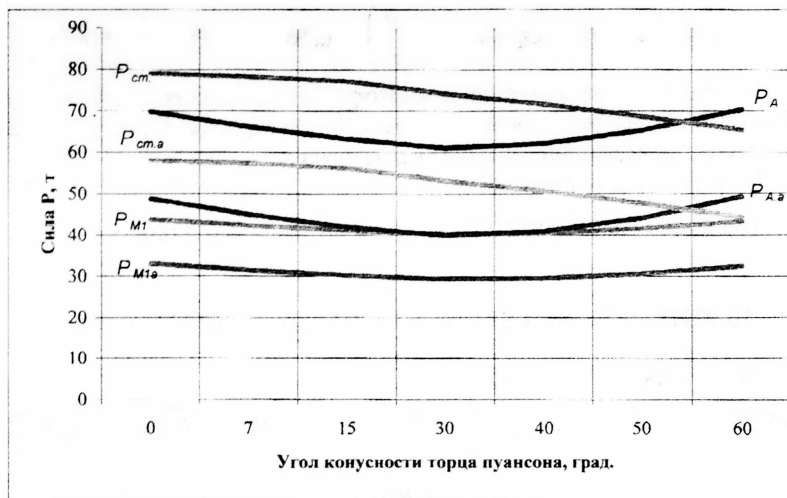


Рис. 3. Графические зависимости сил P от угла конусности торца пуансона γ

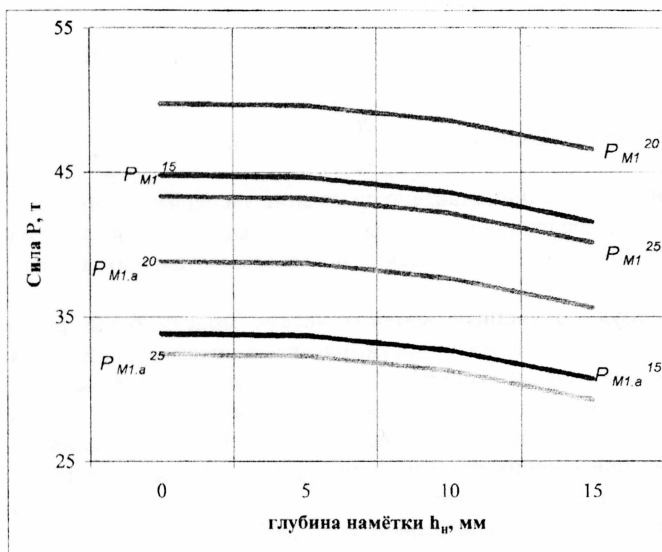


Рис. 4. Графические зависимости сил P_{M1} от глубины наметки h_n , для разной глубины выдавливания h_a

При анализе графических зависимостей, представленных на рис. 4, 5, видно, что при увеличении размеров наметки происходит падение силы. Также можно отметить, что у мягких металлов наметка начинает работать при глубине выдавливания больше чем 20-25 мм, а у твёрдых металлов, наоборот, наметка работает при глубине выдавливания меньше 20-25 мм.

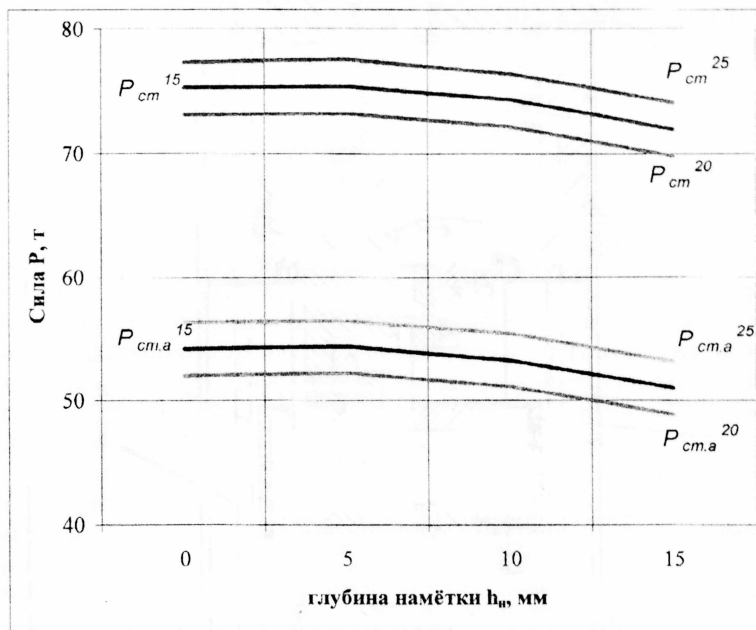


Рис. 5. Графические зависимости сил $P_{ст}$ от глубины наметки h_n , для разной глубины выдавливания h_a

Проведен анализ полученных заготовок на выявление дефектов. Даны рекомендации прогнозирования дефектов и путей предотвращения их появления.

В пятой главе представлено техническое задание на проектирование малогабаритного гидравлического прессы (рис. 6) для холодного выдавливания заготовок поршней тормозного цилиндра из стали 10.

В сборную матрицу 1, закрепленную на нижней плите 2, вкладывается заготовка 4. При подаче масла в рабочую полость «А» главного цилиндра 5, прикрепленного к верхней плите 3 с помощью винтов 6 и опор 7, плунжер 8 начинает движение вниз. В свою очередь пуансон 9, прикрепленный к плунжеру 8, внедряется в заготовку 4. При подаче масла в рабочую полость «В» пуансон 9 выходит из матрицы 1, если заготовка остаётся на пуансоне, то её

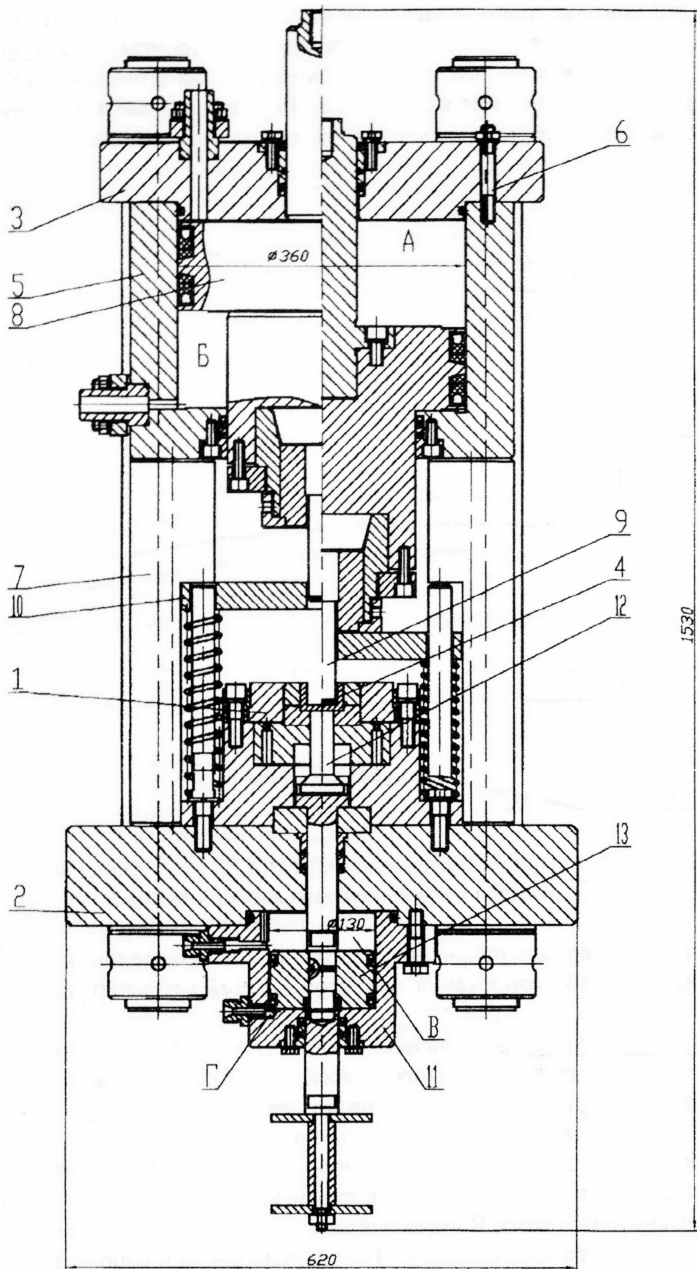


Рис. 6. Сборочный чертёж пресса ПГН

снятие происходит съёмником 10. На тот случай, если заготовка остаётся в матрице, предусмотрен нижний цилиндр 11, расположенный под нижней плитой 2. При подаче масла в рабочую полость «Г» плунжер 13. начинает движение вверх, в свою очередь выталкиватель 12, прикрепленный на плунжере 13, выталкивает заготовку 4 из матрицы 1. При подаче масла в рабочую полость «В» выталкиватель 12 возвращается в исходное положение.

Представлен расчёт основных узлов малогабаритного гидравлического пресса. Сделано экономическое обоснование целесообразности применения таких прессов.

Выводы по работе:

1. В диссертации решена научная задача по оценке эффективности снижения удельных сил (контактных напряжений), действующих на пуансоны при холодном выдавливании деталей типа стакан. Проанализированы две схемы комбинированного выдавливания, когда металл деформируемой заготовки имеет возможность течь в двух направлениях. Исследована, преимущественно на стальных заготовках, эффективность выдавливания с активными силами контактного трения, изменения формы торца пуансона, использования технологических углублений на торцах заготовок. Решение этой задачи имеет существенное значение для повышения усталостной прочности штампового инструмента на предприятиях машиностроения.

2. Получены формулы для расчёта удельных деформирующих заготовку сил при комбинированном выдавливании стаканов со сферическим дном сферическим пуансоном из цилиндрических заготовок. Формулы хорошо согласуются (расхождение в пределах 10,1 %) с данными экспериментов диссертанта и приведенными в литературе отдельными экспериментальными данными. Эти формулы показывают, что при рассмотренных способах комбинированного выдавливания удельные деформирующие заготовку силы меньше, чем при выдавливании традиционным способом (см. главу 1).

3. Для способа комбинированного выдавливания стаканов с внешним стержнем, рекомендуемого в литературе в качестве технологического приёма снижения нагрузок на инструмент и расширения области холодного выдавливания на заготовки из среднеуглеродистых сталей, выведены формулы для расчёта удельных сил на пуансонах, хорошо согласующиеся (расхождение в пределах 6,1 %) с данными экспериментов.

4. Для практической реализации результатов исследований, произведённых экспериментально на заготовках, выточенных на токарных станках, проведено теоретическое исследование калибровки заготовок прямым выдавливанием. Для включения в технологический процесс операции калибровки заготовок прямым выдавливанием выведены формулы для расчёта давлений на инструменте, позволившие оптимизировать углы конусности матриц. Показана хорошая сходимость теоретических данных с экспериментом (расхождение в пределах 3,6 %).

5. Поскольку отношения внешнего диаметра поршней тормозного цилиндра к диаметру полости составляют 1,3 – 1,7, эти детали целесообразно выдавливать за один переход, без последующих операций по изменению толщины стенки. Применение активных сил контактного трения при таких относительных размерах деталей позволит уменьшить удельную силу на пуансоне на 20 – 30 % (в зависимости от твёрдости металла, для твёрдых металлов снижение больше). Применение оптимального угла конусности торца пуансона позволит уменьшить удельную силу на пуансоне на 7 – 13 % (в зависимости от твёрдости металла, для твёрдых металлов снижение больше). При действии активных сил трения влияние формы торца пуансона уменьшается. А применение оптимальных размеров наметки на торце заготовки позволит уменьшить удельную силу на пуансоне на 4 - 15 % (в зависимости от твёрдости металла, для твёрдых металлов снижение больше). При действии активных сил трения влияние технологической наметки уменьшается.

6. В разработанной конструкции специализированного малогабаритного гидравлического пресса с номинальной силой 3 МН масса пресса составила всего лишь 2,2 т.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Дмитриев А.М., Абрамов Е.А. Малогабаритные гидравлические прессы для выдавливания // Исследования в области теории, технологии и оборудования штампованного производства: Сборник. – Тула: ТГУ, 2002. – С. 83-88.
2. Дмитриев А. М., Воронцов А. Л., Абрамов Е. А. Комбинированное выдавливание полых цилиндрических изделий со сферическим дном // Металлообработка. – 2002. – №3. – С.22-24.
3. Дмитриев А.М., Абрамов Е.А. Малогабаритные гидравлические прессы для выдавливания с активными силами трения // Обработка сплошных и слоистых сред: Сборник. – Магнитогорск, 2003. – С. 107-113.
4. Дмитриев А. М., Воронцов А. Л., Абрамов Е. А. Выдавливание полых цилиндрических изделий пуансоном с полусферическим торцом // Механика и процессы управления, серия Технологии и машины обработки давлением: Труды XXXIII уральского семинара.- Екатеринбург, 2003. – С. 12-17.
5. Дмитриев А. М., Воронцов А. Л., Абрамов Е. А. Выдавливание полых цилиндрических изделий с наружным стержнем // Заготовительные производства в машиностроении. – 2003. – №3. – С. 39-42.
6. Дмитриев А. М., Воронцов А. Л., Абрамов Е. А. Выдавливание сплошных ступенчатых изделий // Заготовительные производства в машиностроении. – 2003. – №6. – С.14-18.