На правах рукописи

Сидоров Алексей Александрович

РАЗРАБОТКА НАУЧНО ОБОСНОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ТОЛСТОСТЕННЫХ СТАКАНОВ ПРИ АКТИВНОМ ДЕЙСТВИИ СИЛ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ

Специальность 05.03.05 –

Технологии и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2009 г.

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель- член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор Дмитриев Александр Михайлович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Семенов Иван Евгеньевич;
кандидат технических наук, старший научный сотрудник Дмитренко Дмитрий Анатольевич

Ведущая организация- ОАО «Институт Цветметобработка»

Защита состоится «___» 2009 г. в ч. мин. на заседании диссертационного совета Д212.141.04 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу:

105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5

Телефон для справок 8 (499) 267-09-63

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направлять по указанному адресу

С диссертацией можно ознакомится в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

Автореферат разослан «___» 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент Семенов В.И.

Подписано к печати Зак. Объем 1.0 п.л. Тир. 100

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Повышение качества точности заготовок и сокращение расхода металла относятся к основным задачам современной технологии машиностроения. Наиболее полно эти задачи реализуются при использовании процессов холодной объемной штамповки.

Холодная объемная штамповка является высокоэффективным процессом изготовления деталей и широко используется в мировом машиностроении. Особое место среди операций объемной штамповки занимает выдавливание.

Выдавливанием получают детали различной формы и назначения, используя соответствующие способы: прямое выдавливание, обратное, комбинированное, дифференцированное, выдавливание с активными силами трения, или комбинации выше приведенных способов. В отечественной и зарубежной литературе рассмотрены вопросы, касающиеся технологии выдавливания: уменьшение удельных сил деформирования, повышения точности и качества, а также интенсификации производства деталей типа «тонкостенный стакан». Даны рекомендации по форме и размерам рабочего торца пуансона и схемам деформирования, обосновано применение, показана эффективность использования активных сил трения для изготовления тонкостенных стаканов, однако эти данные весьма противоречивы. Применительно к толстостенным стаканам такая информация в литературе отсутствует.

Выбор того или иного способа при производстве изделий выдавливанием требует разработки научно обоснованной технологии, позволяющей прогнозировать механические характеристики получаемых деталей на стадии проектирования технологического процесса. Кроме того, разработка рациональных технологических процессов способствует решению задач по расширению возможностей холодного выдавливания за счёт снижения удельной силы, воспринимаемой пуансонами, нахождению оптимальной формы пуансона и использования менее труднодеформируемых сплавов в качестве материала заготовок.

В работе рассматривается технологический процесс изготовления детали типа «толстостенный стакан» холодным обратным выдавливанием и исследуется влияние параметров холодного выдавливания на механические характеристики деталей рассматриваемого типа.

Исследование механических характеристик позволит рассматривать возможность замены дорогостоящей легированной стали на менее дорогую при обеспечении высоких механических характеристик последней благодаря упрочнению, происходящему в результате холодной деформации.

Сказанное позволяет заключить, что разработка научно обоснованных технологических процессов, способствующих расширению возможностей холодного выдавливания вследствие снижения удельной силы, воспринимаемой пуансонами, путем нахождения оптимальной формы

пуансона, определения рациональной схемы деформирования и использования менее труднодеформируемых сплавов для заготовок при выдавливании деталей типа «стакан» является новой актуальной задачей.

Целью работы является расширение области применения холодного выдавливания путем разработки научно обоснованной технологии холодного выдавливания деталей типа «толстостенный стакан», обеспечивающей возможность прогнозирования механических характеристик и высокую стойкость инструмента.

Методы исследований. Работа выполнена экспериментальными методами, включающими в себя вычислительные эксперименты с применением программного комплекса DeForm 2D и физические многофакторные эксперименты с последующим регрессионным анализом и построением математических моделей.

Научную новизну имеют следующие результаты:

- впервые показана эффективность активного действия сил трения для снижения удельной силы выдавливания толстостенных стаканов. Дана количественная оценка, которая составила 10%;
- установлено, что при выдавливании с активными силами трения прямое выдавливание происходит при меньшей удельной силе, чем обратное с активными силами трения, обратное и прямое с реактивными силами трения;
- построены математические модели зависимости удельной силы выдавливания деталей типа «толстостенный стакан» от толщины стенки, угла конусности рабочего торца пуансона, сил трения, глубины выдавливания и материала заготовки;
- построены математические модели зависимости механических характеристик деталей типа «стакан» от толщины стенки, исходной твердости материала и глубины выдавливания.

Практическую значимость имеют следующие результаты:

- разработана научно обоснованная методика проектирования технологического процесса производства деталей типа «толстостенный стакан»;
- дан набор математических моделей и алгоритм их использования при проектировании технологического процесса холодного выдавливания деталей типа «толстостенный стакан».

Апробация работы.

Основные положения работы доложены и обсуждены на следующих семинарах:

- Всероссийской научно-практической конференции «Инженерные системы 2008». Москва, Российский университет дружбы народов, 2008 г.

- Всероссийской с международным участием научно-технической конференции «Авиакосмические технологии АКТ-2007». Воронеж, 2007 г.
- Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008 г.
- Всероссийской научно-технической конференции «Машиностроительные технологии». Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008 г.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы изложено в 4-х опубликованных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы. Текст диссертации содержит 115 машинописных страницах, включая 45 таблиц и 53 рисунка.

Автор защищает:

- преимущества разработанного технологического процесса выдавливания деталей типа «толстостенный стакан»;
- математические модели зависимости удельной силы выдавливания деталей типа «толстостенный стакан» от различных факторов;
- математические модели зависимости механических характеристик от технологических параметров процесса холодного обратного выдавливания деталей типа «стакан».

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе произведен обзор существующих способов изготовления полых цилиндрических изделий холодным выдавливанием, которые были исследованы и описаны следующими авторами: А.Г. Овчинниковым, В.А. Евстратовым, А.М. Дмитриевым, В.А. Головиным, А.А. Головиным, Г.Д. Фельдманом, К.М. Богоявленским, Ю.К. Филипповым, А.Э. Артесом, В.В. Евстифеевым, Ф.А. Мартиросяном, В.Г. Шибаковым, В.С. Белоусовым, М.Ю. Пискаревым, Г.А. Навроцким, В.П. Кузнецовым, И.П. Ренне, Е.И.Семеновым, А.Л. Воронцовым, Б.С. Морозом, В.А. Абрамовым и др.

Исследованием холодного выдавливания гладким пуансоном занимались следующие авторы: В.П. Кузнецов, Г.Д. Фельдман, В.А. Головин, А.Н. Митькин, А.Г. Резников и др. Ими получены математические зависимости удельной силы холодного выдавливания от различных технологических факторов, произведен анализ и даны рекомендации к проектированию технологических процессов.

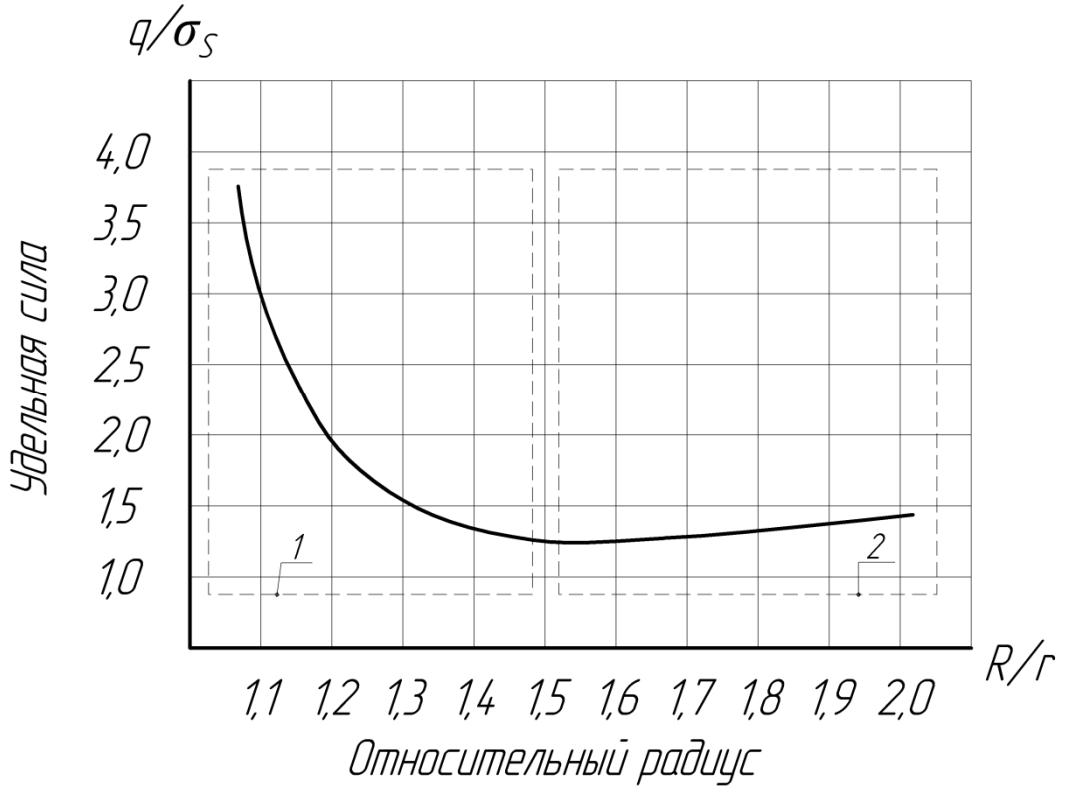


Рис. 1. Зависимость относительной удельной силы от относительного радиуса пуансона при холодном обратном выдавливании; 1 – область тонкостенных стаканов; 2 – область толстостенных стаканов

Выдавливание ступенчатым пуансоном рассматривалось И.Я. Тарновским, О.А. Ганаго, Р.А. Вайсбургом, А.Г. Овчинниковым, А.А. Головиным и А.М. Дмитриевым. Определены оптимальная схема деформирования, условия возникновения и пути устранения дефектов, размеры оптимальной галтели ступенчатого пуансона. Однако полученные зависимости имеют сложную форму и громоздкий вид.

В работах Овчинникова А.Г., Дмитриева А.М., Яшаева С.Ш., Охрименко Я.М., Бережного В.Л. и др. представлены сведения о влиянии активных сил трения на процесс холодного выдавливания цилиндрических деталей. В работах решена задача оценки влияния активных сил трения. Рассмотрено применение схем с активным действием сил трения для выдавливания деталей типа «тонкостенный стакан». Информации по применению активных сил трения при выдавливании деталей типа «толстостенный стакан» в литературе нет.

Влияние формы пуансона на величину удельной силы выдавливания исследовалось во многих работах. Полученные результаты 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 деформирования, одна форма торца оптимальнее с точки зрения минимума силы, чем другая. Работы Граздил Ф.А., Навроцкого Г.А., Семенова Е.И. в качестве оптимального рекомендуют усеченный 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., Эверхартда Д. оптимальным будет пуансон с углом конусности 85°. В то же время, в ряде работ показано, что оптимальность формы 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 полусферы, 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 в работах Босовского 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 работах Филимонова Ю.Ф., Позняка Л.А. указывается, что с увеличением фаски сила выдавливания снижается, в то время как в работе Митькина А.М. утверждается, что с увеличением этого радиуса сила возрастает.

Рассмотрены способы определения степени деформации материала изделия, предложенные такими авторами как Шофман Л. А., Шехтер В.Я., Дмитриев А.М., Воронцов А.Л., и др.

Подводя итоги литературного обзора сделаны следующие выводы:

1. В предшествующих работах авторы не акцентировали внимание на целесообразности использования активных сил трения в технологическом процессе выдавливания деталей типа «толстостенный стакан», хотя она является актуальной, поэтому интенсификация процесса деформирования с использованием схем с применением активных сил трения для толстостенных стаканов в литературе не рассмотрена.

2. Недостаточно внимания уделено изучению формы и размеров рабочего торца пуансона с целью увеличения его стойкости при выдавливании толстостенных стаканов.

3. Проектирование технологических процессов с прогнозированием механических характеристик изделия на стадии проектирования проводилось в небольшом объеме, хотя является очень актуальным.

Из этих выводов вытекает цель данной работы:

Расширение области применения холодного выдавливания путем разработки научно обоснованной технологии холодного выдавливания деталей типа «толстостенный стакан», обеспечивающей высокую стойкость инструмента и возможность прогнозирования механических характеристик.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать технологический процесс холодного выдавливания с использованием активных сил контактного трения для деталей типа «толстостенный стакан», обеспечивающий более высокую стойкость инструмента.

2. Определить оптимальную схему деформирования из условия минимальной требуемой силы.

3. Разработать математическую модель, позволяющую определить оптимальную форму рабочего торца пуансона.

4. Разработать математическую модель, позволяющую оценить влияние активных сил трения на удельную силу выдавливания.

5. Исследовать распределение твердости по высоте и толщине стенки

6. Обосновать возможность получения рассматриваемых деталей с прогнозируемой твердостью.

Во второй главе рассмотрены возможности программного комплекса DeForm 2D, теоретические основы регрессионного анализа.

Составлены матрицы плана эксперимента для проведенных исследований и составления математических моделей вида:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{k} b_i X_i + \sum_{i<j} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^{k} b_{ii} X_i^2 ,$$

где X_i - факторы в натуральном масштабе, т.е. в МПа, м, кг и т.д.

Для физического эксперимент по исследованию влияния формы рабочего торца пуансона, толщины стенки и глубины выдавливания на относительную удельную силу холодного выдавливания составлена матрица вида $2 \cdot 3^3 // 16$. Кроме того, составлена матрица $3 \cdot 2^2 // 9$ для физического эксперимент по определению влияния параметров холодного выдавливания на твердость детали типа «стакан». Для физического эксперимент по определению влияние параметров процесса холодного выдавливания деталей типа «толстостенный стакан» на удельную силу составлена матрица $3^2 \cdot 2^2 // 9$. Варьирование факторов проводилось согласно табл. 1, табл. 2 и табл. 3 соответственно.

Таблица 1.

Варьируемые факторы в первом эксперименте

i	Фактор	Значение
1	Радиус пуансона $r_п$, мм	9
		10,5
		12
2	Радиус торца пуансона $r_т$	0,5 $r_п$
		0,75 $r_п$
3	Глубина выдавливания $h_в$, мм	15
		20
		25
4	Угол конусности пуансона γ°	7°
		30°
		40°

Таблица 2.

Варьируемые факторы во втором эксперименте

i	Фактор	Значение
1	Твердость материала заготовки, *HB*	81 (Медь М1)
		114 (АРМКО)
		129 (Сталь 20)
2	Радиус пуансона *r,* мм	12
		9
3	Глубина выдавливания, мм	20
		25

Таблица 3.

Варьируемые факторы в третьем эксперименте

i	Фактор	Значение
1	Относительный радиус пуансона, *R*/*r*	1,5
		1,83
		2,0
2	Относительный ход деформирования, *H*	2*r*
		2,5 *r*
		3 *r*
3	Материал заготовки, *M*	Алюминий АД1 (0)
		Сталь 10 (1)
4	Сила трения, *T*	С АСТ (1)
		Без АСТ (0)

Разработана технологическая оснастка, приведена схема оборудования и принцип его работы, описаны основные и вспомогательные материалы для проведения экспериментов.

В третьей главе проведен ряд исследований для процесса холодного выдавливания деталей типа «стакан», а также результаты этих исследований и их анализ.

Моделированием в DeForm 2D выбрана оптимальная схема деформирования с точки зрения минимума силы – прямое выдавливание с активными силами трения (рис. 2).

Произведено исследование влияния формы рабочего торца пуансона, толщины стенки и глубины выдавливания на относительную удельную силу холодного выдавливания. Полученные математические модели приведены ниже.

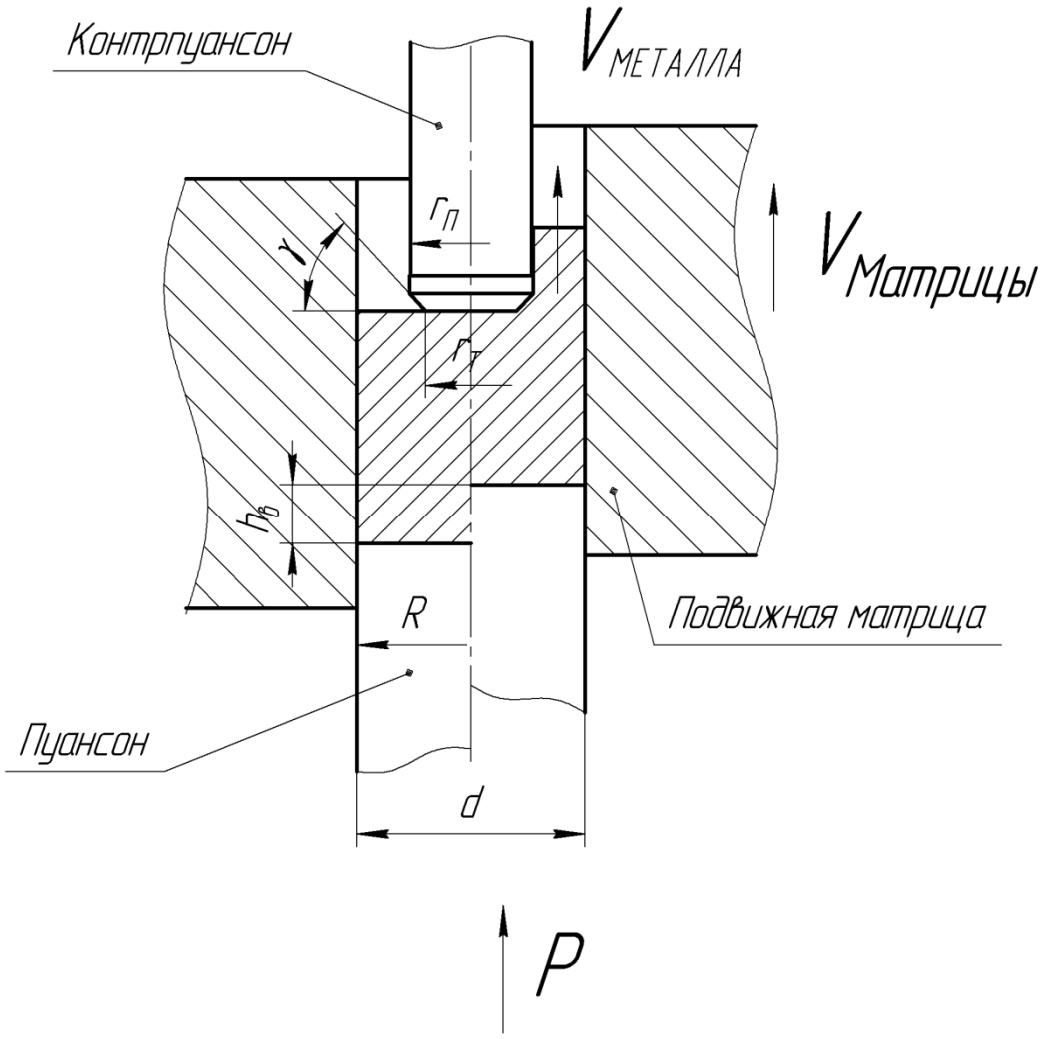


Рис. 2. Схема прямого выдавливания с активными силами трения

Для заготовок из меди М1 без применения активных сил трения:

$$\frac{q}{\sigma_S} = 4,65 - 0,9(d/h_{\text{В}}) - 5,01(R/r_{\text{П}}) - 0,0182\gamma - 0,13(r_{\text{Т}}/r_{\text{П}}) -$$

$$-0,22(d/h_{\text{В}})^2 + 2,28(R/r_{\text{П}})^2 + 0,00033\gamma^2.$$

Для заготовок из меди М1 с применением активных сил трения:

$$\frac{q}{\sigma_S} = 1,91 - 0,157(d/h_{\text{В}}) - 0,71(R/r_{\text{П}}) - 0,011\gamma - 0,55(r_{\text{Т}}/r_{\text{П}}) -$$

$$-0,13(d/h_{\text{В}})^2 + 0,86(R/r_{\text{П}})^2 + 0,00017\gamma^2.$$

Для заготовок из стали 20 без применения активных сил трения:

$$\frac{q}{\sigma_S} = 0,62 + 0,15(d/h_{\text{В}}) + 0,92(R/r_{\text{П}}) - 0,0073\gamma + 0,35(r_{\text{Т}}/r_{\text{П}}) +$$

$$+0,0192(d/h_{\text{В}})^2 - 0,1(R/r_{\text{П}})^2 + 0,00008\gamma^2.$$

Для заготовок из стали 20 с применением активных сил трения:

$$\frac{q}{\sigma_S} = 2,41 - 2,35(d/h_{\text{В}}) + 1,03(R/r_{\text{П}}) + 0,0061\gamma - 0,2(r_{\text{Т}}/r_{\text{П}}) +$$

$$+0,78(d/h_{\text{В}})^2 - 0,00028\gamma^2$$

По полученным моделям построены графики, наглядно показывающие влияние исследуемых факторов на относительную удельную силу.

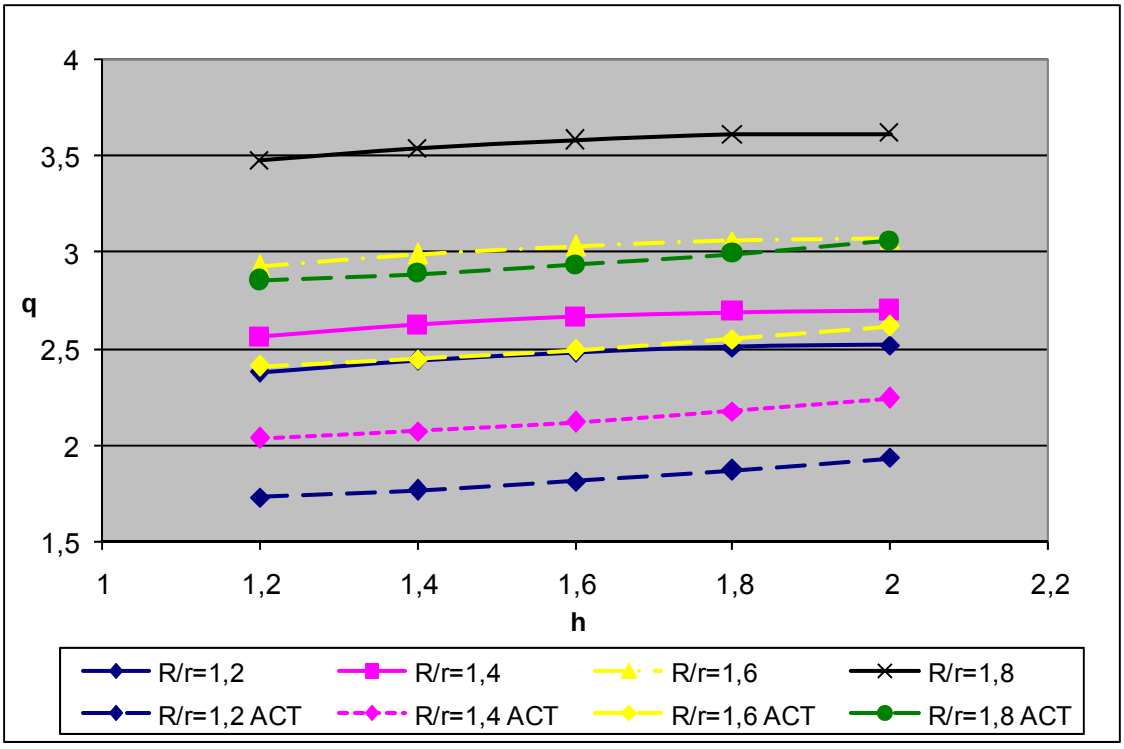


Рис. 3. График зависимости $\frac{q}{\sigma_S}$ от h для меди М1 при $\gamma = 40^\circ$; $\frac{r_{\text{Т}}}{r_{\text{П}}} = 0,75$ *мм*

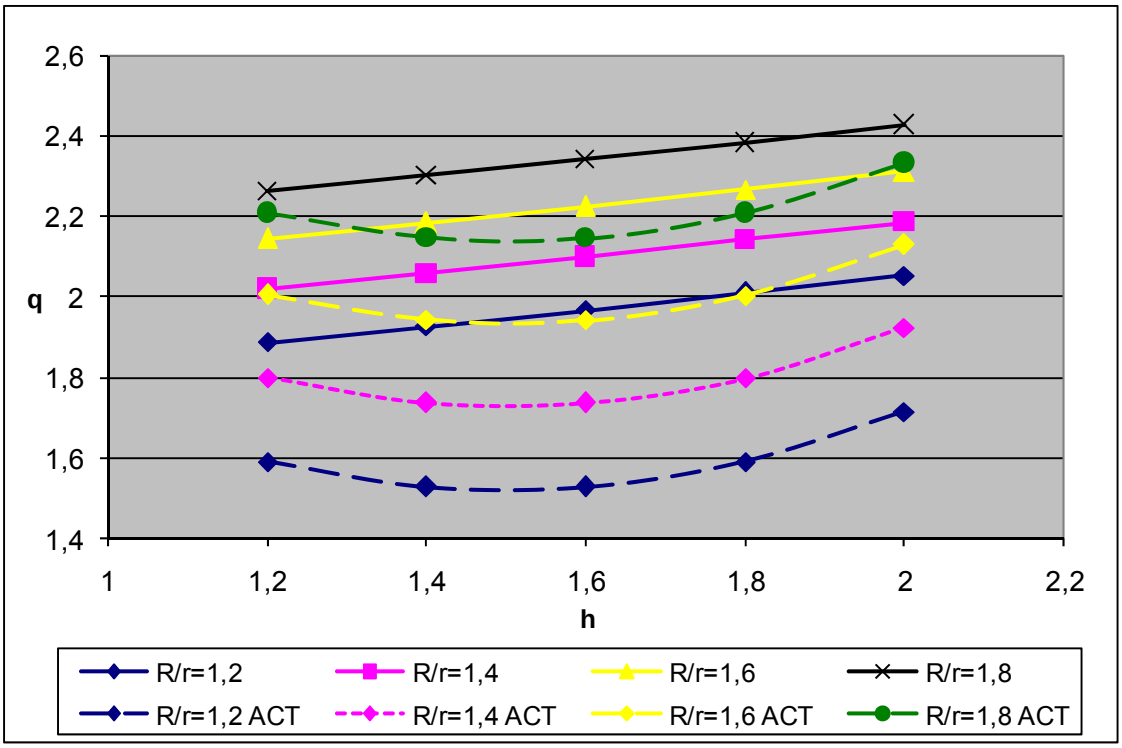


Рис. 4. График зависимости q/σ_S от h для стали 20 $\gamma = 30^\circ$; $r_T/r_П = 0,75$ *мм*;

Выводы по математическим моделям и графикам:

1. При малом относительном радиусе (*R/r*=1,25-1,35) удельная сила имеет относительно небольшое значение, из-за большой площади пуансона, а напряжение текучести σ_S, напротив, имеет большую величину. Это вызвано тем, что металл заготовки, вытекая в узкий зазор между пуансоном и матрицей, сильно упрочняется. Поэтому величины q/σ_S меньше, чем при больших *R/r*.

2. С увеличением относительного радиуса площадь пуансона уменьшается, соответственно увеличивается удельная сила; зазор между пуансоном и матрицей увеличивается; величина накопленной деформации уменьшается и, как следствие, уменьшается значение σ_S. Поэтому q/σ_S увеличивается.

3. Применение активных сил трения позволяет снизить относительную удельную силу почти на 20% в зависимости от размеров и формы инструмента.

4. Графики зависимости q/σ_S от γ без использования активных сил трения имеют минимум относительной удельной силы приблизительно при $\gamma = 35^\circ - 40^\circ$, и дальнейшее возрастание с увеличением угла γ. При использовании активных сил трения с увеличением угла конусности относительная удельная сила уменьшается. С нашей точки зрения это можно объяснить тем, что возрастает нормальная к стенкам матрицы составляющая силы деформирования, которая в свою очередь увеличивает силу трения, позволяя полнее использовать активные силы трения.

Исследовано влияние толщины стенки и хода деформирования на твердость детали типа стакан из меди М1, стали 20 и АРМКО железа. Математическая модель влияния исследуемых факторов:

$$HB = 14,9HB_{мат} - 57,54R/r - 0,06HB^2_{мат} - 604,4$$

Из графика на рис. 5 видно, что с увеличением относительного радиуса пуансона твердость в стенке стакана уменьшается. Графики изменения твердости в стенке в зависимости от относительного радиуса пуансона имеют вид прямых линий. Это хорошо согласуется с тем, что кривые упрочнения для исследуемых материалов в зоне, превышающей относительную пластическую деформацию величиной в 10%, тоже имеют вид прямых. Твердость стенки стакана увеличилась в 1,5 – 2 раза по сравнению с твердостью заготовки, в зависимости от толщины стенки детали типа «стакан».

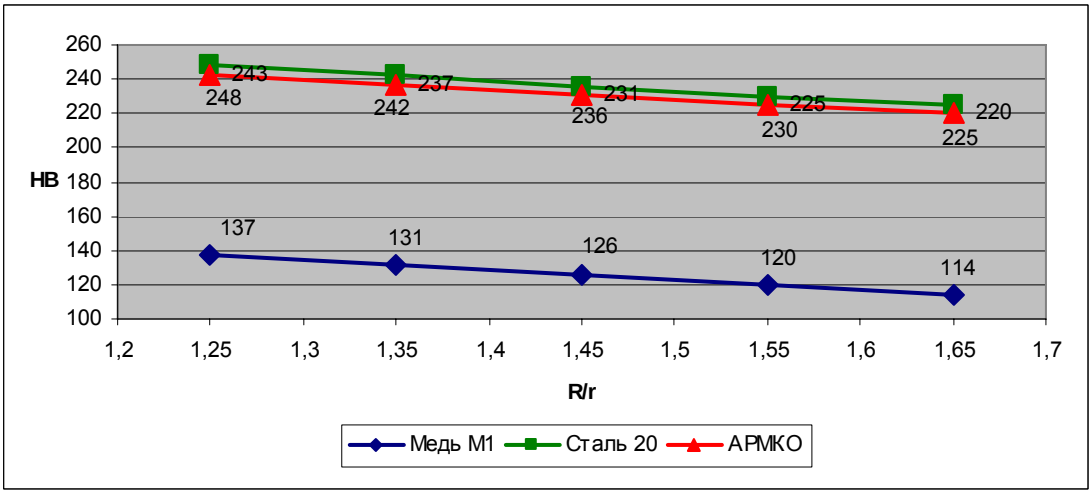


Рис. 5. Зависимость твердости в стенке НВ от относительного радиуса пуансона *R/r*

Исследовано влияние сил трения, толщины стенки и хода деформирования на относительную удельную силу выдавливания детали типа «толстостенный стакан» из алюминия АД1 и стали 10.

Математическая модель имеет вид:

$$q/\sigma_S = 8,41 - 2,79 \cdot R/r - 3,96 \cdot H - 0,82 \cdot M - 0,048 \cdot T + 1,18 \cdot (R/r)^2 + 1,11 \cdot H^2.$$

Полученная математическая модель позволяет сделать следующие выводы:

1. С увеличением относительного радиуса пуансона относительная удельная сила уменьшается.

2. Применение активных сил трения позволяет снизить относительную удельную силу при выдавливании деталей типа «толстостенный стакан» на величину 5%.

3. Ход выдавливания (глубина выдавливаемой полости) незначительно влияет на относительную удельную силу.

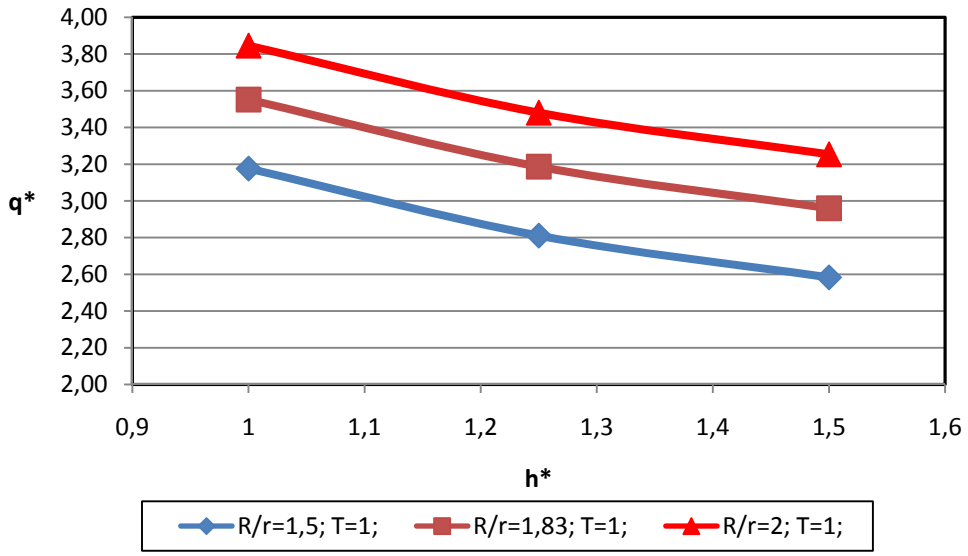


Рис.6. Изменение удельной силы в зависимости от толщины стенки и относительного хода

Расчет коэффициентов математических моделей проводился посредством компьютерных программ «Excel» и «MathCAD 13». По построенным графикам проведен анализ и даны рекомендации по проектированию технологического процесса холодного выдавливания.

Для выдавленных стаканов (рис. 8) проведено исследование изменения твердости материала по толщине стенки согласно схеме, рис. 7.

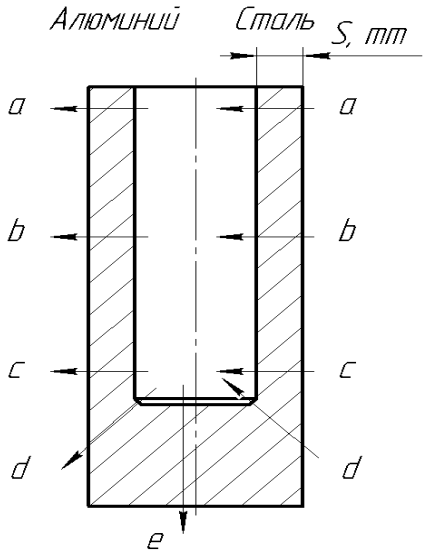
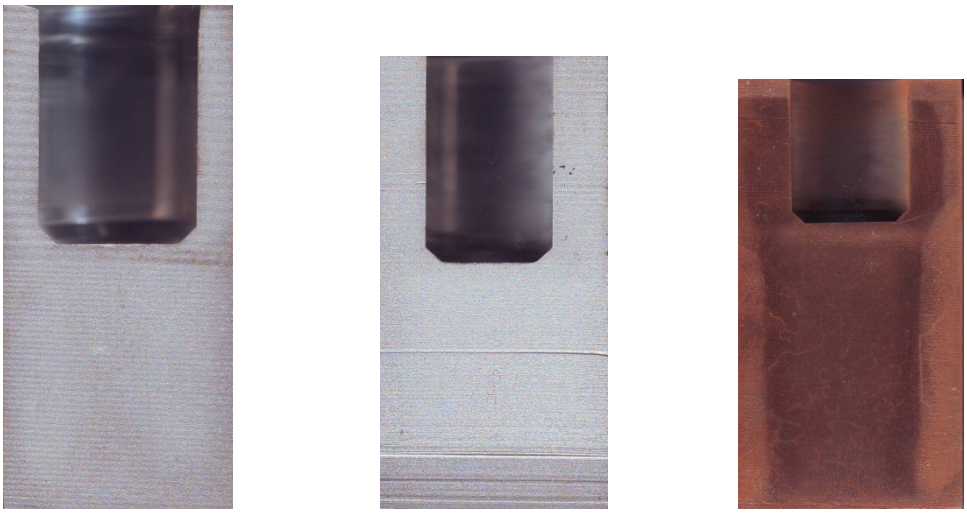
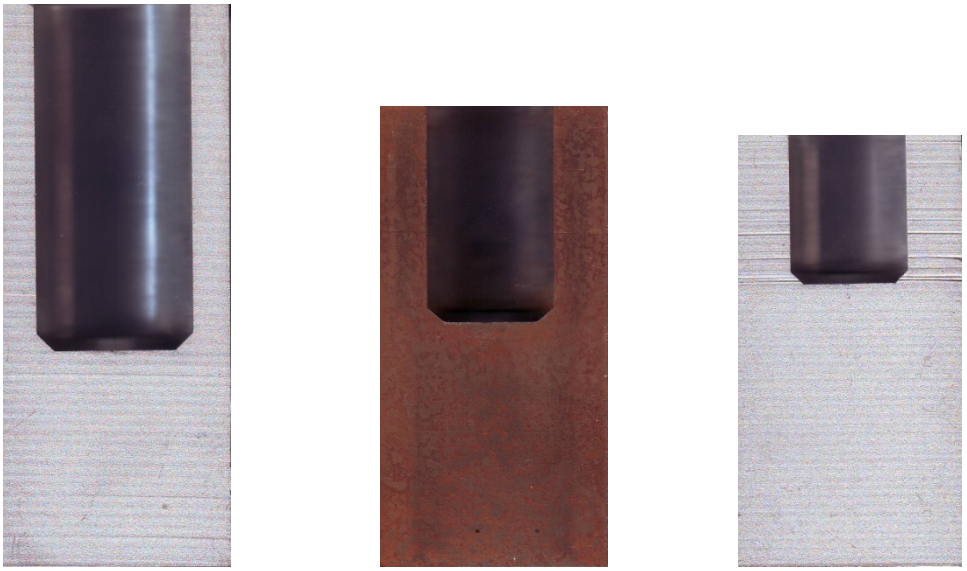


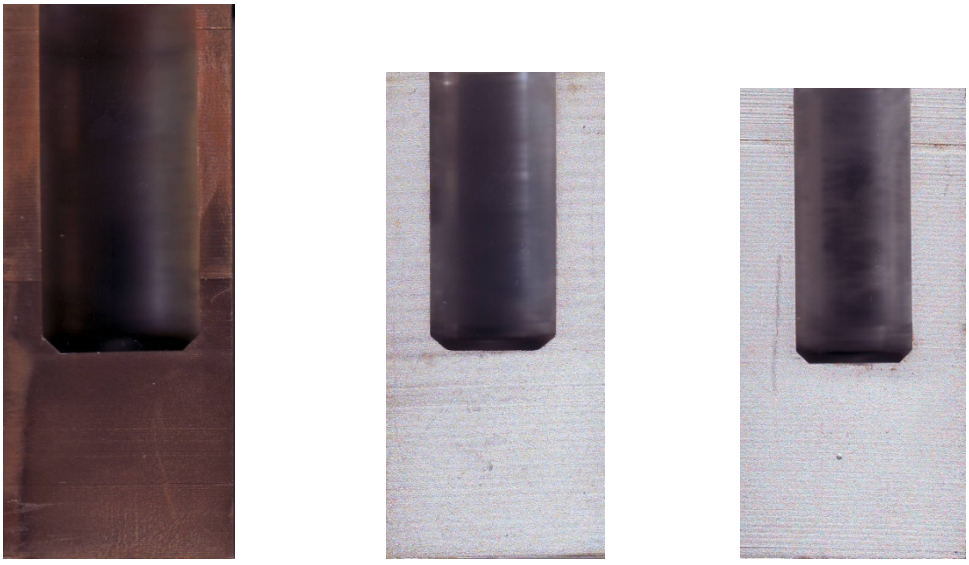
Рис. 7. Схема измерения твердости



№1 №2 №3



№4 №5 №6



№7 №8 №9

Рис. 8. Изготовленные в эксперименте образцы деталей

Анализ графиков изменения твердости по толщине и высоте стенки стакана позволяет сделать следующее заключение: твердость возрастает по мере приближения к внутренней поверхности стакана; изменение твердости стенки стакана по высоте более выражено для стаканов, изготовленных из алюминия АД1, чем для стаканов изготовленных из стали 10; наибольшая твердость металла у внутренней поверхности стенки стакана.

В четвертой главе разработан технологический процесс штамповки поршневого пальца автомобиля «КАМАЗ».

Технологический процесс включает в себя следующие операции:

1. Резка прутка на заготовки.
2. Фосфатирование поверхности заготовок.
3. Выдавливание.
4. Отпуск.
5. Цементация.
6. Финишная обработка.
7. Контроль.

Последовательность расчетов при проектировании иллюстрируется следующим алгоритмом:

Определение размеров заготовки и хода деформирования

⇩

Выбор оптимальной схемы деформирования и угла конусности рабочего торца пуансона по математической модели

$$q/\sigma_S = 2,41 - 2,35(d/h_{\text{В}}) + 1,03(R/r_{\text{П}}) + 0,0061\gamma - 0,2(r_{\text{Т}}/r_{\text{П}}) + 0,78(d/h_{\text{В}})^2 - 0,00028\gamma^2$$

⇩

Определение твердости в стенке стакана по математической модели

$$HB = 14,9HB_{мат} - 57,54R/r - 0,06HB_{мат}^2 - 604,4$$

⇩

Определение прочности в стенке стакана

$$\sigma_{\text{Т}} = 4,1HB - 152$$

Общие выводы.

1. В результате проведенного анализа различных схем выдавливания с точки зрения минимума силы на инструменте установлено, что рациональной схемой является прямое вдавливание с активными силами контактного трения.

2. Определено, что эффективность снижения относительных удельных сил (осевых напряжений), действующих на пуансоны при холодном выдавливании деталей типа «толстостенный стакан» - 5%, что при штамповке труднодеформируемых сплавов позволит значительно увеличить стойкость пуансонов холодного выдавливания.

3. При помощи математической модели установлен оптимальный угол рабочего торца пуансона – 35° - 40°. Применение такого угла конусности торца пуансона позволяет уменьшить удельную силу на пуансоне на 7 – 13 %, в зависимости от твердости материала.

4. Проведенное исследование изменения твердости детали типа «стакан» в зависимости от толщины и высоты стенки показало увеличение твердости материала изделия в 1,6 раза на внутренней поверхности стенки стакана, по сравнению с исходной твердостью заготовки. На основании этого исследования построена математическая модель для прогнозирования твердости в стенке полученного изделия.

5. Разработанный технологический процесс изготовления детали «поршневой палец» для автомобиля «КАМАЗ» позволяет повысить коэффициент использования металла, увеличить производительность и спрогнозировать прочность изделия на стадии проектирования.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Сидоров А.А. Зависимость удельной силы на пуансоне от толщины стенки выдавливаемого толстостенного стакана // Авиакосмические технологии «АКТ-2007»: Труды VIII Всерос. с международным участием науч.-техн. конф. и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. – Воронеж, 2007. С. 193 - 195.

2. Сидоров А.А. Исследование относительной удельной силы прямого выдавливания деталей типа стакан из меди М1 и стали 20 // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – 10. – С. 33 – 35.

3. Сидоров А.А. Исследование влияния толщины стенки и хода выдавливания на механические характеристики детали типа «стакан»

// Будущее машиностроения России: Сборник трудов Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. – М., 2008. С. 100 - 101.

4. Сидоров А.А. Исследование процессов прямого и обратного выдавливания деталей типа «стакан» с использованием программного комплекса DEFORM 2D // Инженерные Системы – 2008: Труды Всероссийской научно-практической конференции. - М., 2008. С. 147 – 153 с.