

ММ8802

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э. Баумана

На правых рукописи

Кузнечиков Сергей Юрьевич

УДК 621.777.4

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕПОЛНОГО ГОРЯЧЕГО
КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОКОВОК ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ
ДЕТАЛЕЙ СТУПЕНЧАТОЙ ФОРМЫ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

05. 03. 05. процессы и машины обработки давлением

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва - 1989

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБ. КОСТ.

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

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Овчинников А.Г.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Артес А.Э.

- кандидат технических наук
Филиппов Ю.К.

Ведущее предприятие - указано в решении специализированного совета

Защита состоится "14" 06 1989 г. в 16 часов на заседании специализированного совета Д.053.15.05 в МВТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

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

Автореферат разослан "12" 05 1989г.

Ваш отзыв в 1-м экземпляре, заверенный печатью, просим направлять по указанному адресу.

Учед

Сов

Овчинников

Под

Тир

И. п. л.

М 488802

Актуальность проблемы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года" отмечается необходимость ускорения развития машиностроения, ставятся задачи по снижению отходов черных и цветных металлов, трудозатрат, повышению производительности труда и качества продукции за счет интенсификации процессов металлообработки. В настоящей работе содержатся результаты исследования по разработке технологических процессов неполного горячего комбинированного выдавливания деталей типа втулок с хвостовиком из высокопрочных сталей.

В машиностроении широкое распространение получили осесимметричные детали типа втулок с хвостовиком с отношением диаметра хвостовика к внутреннему 0,3...0,6 и глубиной полости втулки от 1 до 3 ее внутреннего диаметра из высокопрочных сталей типа ОХ20Н4АГ10. В настоящее время изготовление таких деталей, даже в условиях серийного производства, осуществляется сваркой механически обработанных деталей, что неэкономично из-за низкой производительности, низкого коэффициента использования металла 0,2.

Использование последовательно прямого и обратного выдавливания для штамповки осесимметричных деталей характеризуется необходимостью приложения высоких удельных усилий, что снижает стойкость инструмента. Перспективным является разработка совмещенной схемы выдавливания и условий деформирования, которые обеспечивают большую свободу течения металла и высокую стойкость инструмента. Высокопрочные стали типа ОХ20Н4АГ10 невозможно штамповать в условиях холодной или неполной холодной деформации из-за низкой стойкости инструмента, поэтому процесс выдавливания необходимо рассматривать в условиях неполной горячей деформации, которые обеспечивают удовлетворительную стойкость инструмента при значительном снижении сопротивления деформированию и повышенной пластичности.

Данных по комбинированному выдавливанию осесимметричных деталей ступенчатой формы из высокопрочных сталей в условиях неполной горячей деформации в существующей литературе не имеется, отсутствуют рекомендации по рациональному проектированию технологических процессов. Недостаточно исследованы вопросы формоиз-



менения и распределения контактных давлений в процессе комбинированного выдавливания деталей типа "гильзы".

Таким образом, разработка и исследование процесса неполного горячего комбинированного выдавливания деталей типа "гильзы", с целью установления влияния механических характеристик материала, условий деформирования, размеров инструмента и заготовки на кинематику течения, формоизменения, силовой режим и создание научно обоснованной методики расчета основных параметров процесса является актуальной задачей.

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка научно обоснованной методики проектирования технологических процессов изготовления осесимметричных деталей ступенчатой формы на основе теоретических и экспериментальных исследований неполного горячего комбинированного выдавливания.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать расчетные схемы.
2. Разработать методику расчета кинематического и напряженного состояния заготовки для определения ее формоизменения с учетом перехода обратного в комбинированное и комбинированного в прямое выдавливание, прогнозирования качества изготавливаемых деталей, оптимизации усилия деформирования в любой момент времени.
3. Оценить влияние скоростного и температурного факторов на характер формоизменения и напряженное состояние в процессе деформирования.
4. Установить зависимости влияния механических характеристик материала, формы и размеров инструмента и заготовки на конечную геометрию поковки и силовой режим деформирования.
5. Разработать и опробовать в производственных условиях типовой технологический процесс изготовления деталей типа "гильзы", являющихся составной частью ротора микродвигателей с обеспечением требуемых эксплуатационных характеристик и оценить технико-экономическую эффективность от его внедрения.

Научная новизна. Разработана методика расчета напряженного и кинематического состояния заготовки в процессе деформирования и основных параметров процесса неполного горячего комбинирован-

ного выдавливания осесимметричных деталей ступенчатой формы в любой момент времени, а также установлено и исследовано влияние скорости деформации на характер формоизменения и напряженное состояние. В результате теоретико-экспериментальных исследований установлено влияние соотношений геометрических параметров инструмента и заготовки, механических характеристик выбранных материалов на процесс формоизменения и силовой режим.

Автор защищает:

- способ изготовления деталей типа "гильзы" из высокопрочных сталей в условиях неполного горячего деформирования;
- расчетные схемы, принятые в теоретических исследованиях, и математическую модель кинематического состояния поковки;
- методику расчета кинематического и напряженного состояния заготовки в процессе деформирования для определения ее формоизменения, и прогнозирования качества изготавливаемых деталей и оптимизации усилия деформирования;
- аналитические выражения, полученные для скоростей течения и деформации, нормальных и касательных напряжений, удельного усилия деформирования и формоизменения;
- математические зависимости влияния механических характеристик материала, размеров инструмента и заготовки на конечную геометрию поковки и удельное усилие выдавливания.

Практическая значимость. Разработанный типовой технологический процесс неполного горячего комбинированного выдавливания деталей типа "гильзы" из высокопрочных сталей позволяет снизить в среднем в 1,3 раза трудоемкость их изготовления, увеличить коэффициент использования металла в 2 - 2,5 раза. Предложенная методика проектирования технологических процессов позволяет определить оптимальные параметры процесса неполного горячего комбинированного выдавливания.

Внедрение результатов. По результатам исследований разработана конструкция производственного штампа, отштампована опытная партия поволоков деталей и передана заказчику для использования по назначению. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения составляет 12,7 тысяч рублей.

Достоверность научных результатов работы, полученных с применением современных методов расчета прикладной теории пластич-

ности, современной техники проведения и обработки эксперимента, подтверждается выполнением граничных условий, удовлетворительным согласованием расчетных и экспериментальных значений формоизменения и усилий выдавливания с расхождением в пределах 10-15%.

Апробация работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на двух научных семинарах кафедры МТ-6 МВТУ им. Н.Э. Баумана и на секции НТС ВНИИЭлектромеханики.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и общих выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 181 странице машинописного текста, содержит 51 рисунок, 15 таблиц, списка литературы из 106 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту. Дано краткое содержание глав диссертации.

В первой главе сделан литературный обзор по современному состоянию изучаемого вопроса. Рассмотрены область применения и преимущества неполной горячей деформации. Анализу неполного горячего выдавливания уделено внимание в работах Петрова В.И., Позднеева Б.М., Белоусова В.С., Волчанинова К.К. и др., в которых рассмотрены вопросы: выбора термомеханического режима неполной горячей деформации различных материалов, технологические процессы неполной горячей штамповки и их технико-экономические показатели, механические свойства и структура поковок. Однако, в литературе отсутствуют сведения о неполной горячей деформации высокопрочных нержавеющей сталей типа 0Х20Н4АГ10.

Дан обзор методов обработки металлов давлением, применяемых при решении задач, связанных с вопросами комбинированного выдавливания. Установлено, что применение комбинированного выдавливания позволяет снизить удельное усилие деформирования и расширить номенклатуру штампуемых деталей по сравнению с традиционными схемами прямого и обратного выдавливания. Процесс комбинированного выдавливания осесимметричных деталей рассматривается в работах Оленина Л.Д., Грязнова В.В., Степанского Л.Г., Джонсона В., Кудо Х., Пискарева М.Ю., Исмагилова И.М. и др.

Из обзора работ по изучаемому вопросу можно сделать следующие выводы:

- все работы посвящены комбинированному выдавливанию осесимметричных деталей ступенчатой формы в условиях холодной деформации материалов низкой и средней прочности. Получение поковок типа втулки с хвостовиком из высокопрочных сплавов и сталей в условиях неполной горячей деформации является актуальной задачей;

- исследователи, посвятившие свои работы изучению процесса комбинированного выдавливания, отмечают, что в процессе деформации характер течения может существенным образом меняться, переходя из одностороннего в комбинированное и обратно, однако отсутствуют теоретические решения, позволяющие производить расчет формоизменения заготовки в любой момент времени с учетом перехода обратного в комбинированное выдавливание и комбинированного в прямое;

- недостаточно изучен вопрос выбора расчетных схем, принятые схемы не позволяют в полной мере рассмотреть процесс перехода обратного в комбинированное выдавливание и комбинированного в прямое, так как такая задача не ставилась;

- недостаточно изучен вопрос напряженного и кинематического состояния заготовки: компоненты скоростей деформаций и перемещений взяты независимыми от координаты z , это допущение должно привести к значительной погрешности ϵ_z и следовательно σ_{z1} ; нормальные и касательные напряжения принимаются независимыми от координат;

- не изучено влияние относительных размеров инструмента и заготовки на формоизменение заготовки и силовой режим неполного горячего комбинированного выдавливания;

- необходимо отметить, что инструмент при неполном горячем деформировании работает в особо тяжелых температурных условиях, поэтому перспективным является: выбор и разработка схем выдавливания, обеспечивающих большую степень свободы течения и стойкость инструмента, подбор вида смазки и способа нанесения ее на заготовку и инструмент;

- окончательный выбор температурного интервала неполной горячей деформации должен производиться в зависимости от необходи-

мости достижения той или иной цели - максимального снижения усилия деформирования, повышения размерной точности изделия и стойкости инструмента, получения требуемого комплекса механических свойств в материале после деформирования и др..

Сформулирована цель и постановка задачи исследования.

Во второй главе разработана методика теоретических исследований процесса неполного горячего комбинированного выдавливания осесимметричных деталей ступенчатой формы.

Теоретический анализ напряженного и кинематического состояния деформируемой заготовки выполнен методом приближенного решения дифференциальных уравнений равновесия. Выбраны кинематически возможные поля скоростей течения. Выявлен очаг пластической деформации при неполном горячем комбинированном выдавливании экспериментальным методом координатных сеток, который позволяет непосредственно оценить физическую картину формоизменения для данного процесса с учетом температурного фактора.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований, при решении задачи принят ряд упрощающих допущений:

1. При выдавливании заготовки упругая деформация рабочего инструмента отсутствует, т.е. последний принимается жестким.
2. Материал заготовки не сжимаем, что обуславливает постоянство объема при деформации.
3. Материал заготовки изотропен, т.е. пренебрегаем зависимостью свойств материала (текстурой, величиной зерна, неметаллическими включениями) от направления течения.
4. При выдавливании заготовки ее материал ведет себя как жестко-пластическое тело и подчиняется условию Губера-Мизеса.
5. Схема напряженного состояния заготовки представляется осесимметричной.
6. В каждой области очага пластической деформации определяется среднее значение интенсивности скорости деформации и принимается постоянной в процессе решения. Напряжение текучести выбирается по среднему значению интенсивности деформации.
7. Очаг пластической деформации заготовки представлен в виде отдельных областей так, чтобы в каждой из них можно было применить гипотезу плоских сечений. Размеры очага пластической деформации определяются на основе минимизации мощности внешних сил.

8. На границах областей допускаются разрывы в скоростях не только сдвига, но и линейных при соблюдении условия постоянства расхода (смягченные граничные условия, отсутствие разрыва скоростей в интегральной форме).

9. Касательные напряжения на контактных поверхностях заготовки и инструмента должны согласовываться с экспериментально обоснованными.

10. Дифференциальные уравнения интегрируются с использованием приближенных методов.

На основании выводов из литературного обзора и анализа качественной картины течения металла на разрезных образцах при неполном горячем выдавливании и указанных выше допущениях приняты расчетные схемы очага пластической деформации, рис. 1.

Рассматриваемая задача обработки металлов давлением является статически неопределимой, поэтому, в первую очередь, рассматривались кинематические уравнения. При выборе поля скоростей необходимо удовлетворять граничным условиям. Поскольку граничные условия выбирают с учетом данных эксперимента, то и коэффициенты подходящих функций должны удовлетворять граничным условиям. Поле скоростей течения, удовлетворяющее граничным условиям, неразрывности и несжимаемости, называется кинематически возможным. В рассматриваемой схеме рис. 1а в области I с учетом экспериментальных данных скорость течения частиц металла определена в общем виде $v_z = -a_1 \varphi_1(r)$, в области II - $v_z = a_2 [z - \varphi_2(r)]$, в области III - $v_z = -a_3 [z - \varphi_3(r)]$ и в области IV - $v_z = -a_4 \varphi_4(r)$, где $a_1, a_2, a_3, a_4, \varphi_1(r), \varphi_2(r), \varphi_3(r), \varphi_4(r)$ - соответственно коэффициенты и функции, подлежащие определению в процессе решения.

Методом приближенного решения дифференциальных уравнений равновесия найдены выражения для скоростей деформаций, интенсивности скоростей деформаций, высоты стенки втулки и длины хвостовика, касательных и нормальных напряжений, высоты очага пластической деформации, удельного усилия выдавливания в любой момент деформированного состояния заготовки.

Разработана программа для определения удельного усилия комбинированного выдавливания "гильзы", описанного выражением:

$$q_k = -(1-R_0^2) \left[\frac{R^2(r_0-1)}{2\sqrt{3}} \left(\frac{1}{\sqrt{R^4+3}} + \frac{2}{r_0\sqrt{R^4+3r_0^4}} \right) + \frac{h_1(2\mu_2 R+1)}{2(R^2-1)} \right] \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
& \times G_{52} + \frac{(R^2 + 3\Gamma_1^2)}{\sqrt{3}\sqrt{R^4 + 3\Gamma_1^4}} \times G_{52} + \frac{(R_n + 1)(3 + R_n^2)G_{31}}{\sqrt{3}(2R_n + \sqrt{3 + R_n^4})} + \frac{1 - \sqrt{R_n^2 + 3R_n^4}}{\gamma h_1(1 - R_n^2)^2} G_{31} - \\
& - \frac{4R_n^4 \ell_n R_n}{\gamma h_1(1 - R_n^2)^2} G_{31} + \frac{h_1 G_{31}}{\gamma(1 - R_n^2)} \Big] - G_{31} \Gamma_1 h_2 - 2G_{35} \Gamma_1 \ell_{M_5} - \\
& - (R_n^2 - \Gamma_1^2) \Big[\frac{G_{33}(R_n - \Gamma_1)}{2\sqrt{3}} \Big(\frac{1}{2R_n} + \frac{R_n^2}{\Gamma_1 \sqrt{R_n^4 + 3\Gamma_1^4}} \Big) + \frac{h_2 G_{34}}{\Gamma_1} + 0,81 G_{34} + \\
& + \frac{2\mu_5 \ell_{G_{35}}}{\Gamma_1} \Big] - \frac{(R_n - \Gamma_1) G_{33}}{2\sqrt{3}} \Big[2R_n + \frac{(3\Gamma_1^2 + R_n^2)\Gamma_1}{\sqrt{R_n^4 + 3\Gamma_1^4}} \Big] - \Big[\frac{\alpha}{L_4 \gamma \Gamma_1} (3R_n^2 + \\
& + 10R_n \Gamma_1 + 3\Gamma_1^2) + \frac{B}{12\Gamma_1(R_n + \Gamma_1)} (R_n^2 + 4R_n \Gamma_1 + \Gamma_1^2) \Big] (R_n - \Gamma_1)^2 G_{33},
\end{aligned} \quad (1)$$

где: G_{31}, G_{32}, G_{33} - напряжения текучести в соответствующих областях очага пластической деформации;

R_n - радиус раздела очага пластической деформации прямого и обратного выдавливания;

μ_2, μ_5 - факторы трения;

R - радиус контейнера матрицы;

Γ_1 - радиус очка матрицы;

h_1, h_2 - высота очага обратного и прямого выдавливания;

ℓ - высота колеблющегося пояска матрицы, все перечисленные величины, описывающие геометрию инструмента, отнесены к радиусу пуансона.

И обратного выдавливания, описанного выражением (1) при $R_n = \Gamma_1 = 0$. Напряжение текучести в каждой области очага пластической деформации определяется с учетом температурного фактора и величины интенсивности скоростей деформаций, рассчитываемой по разработанной программе. Для заготовок диаметром 18,6 мм и высотой 16...25 мм установлено, что, если происходит разогрев или охлаждение металла в процессе деформации, то увеличение или уменьшение температуры по всему объему заготовки равномерно, и температура начала деформирования равна 990°С при температуре в печи 1000°С.

Обосновано, что начало комбинированного выдавливания наступает при $R_n = \frac{1 + 2\Gamma_1}{3}$. Расчет напряженного и кинематического состояния заготовки в процессе выдавливания позволил оценить ее промежуточное формоизменение, а также распределение компонентов напряжений и скоростей деформаций в меридиональном сечении. Значения h_{cr} и h_{*6} при условии, что процесс начинается с обратного выдавливания, переходит в комбинированное по схеме, рис. 1а и завершается прямым выдавливанием, рис. 1б, можно определить по формулам:

$$h_{cr} = \frac{1}{R^2 - 1} t_{гср1} \bar{v}_{01} + \sum_{i=1}^n \frac{1 - R_{нсрi}}{R^2 - 1} t_{гср2} \bar{v}_{02} + t_{гср3} \bar{v}_{03}, \quad (2)$$

$$h_{хв} = \sum_{i=1}^n \frac{R_{нсрi}}{r_i^2} t_{гср2} \bar{v}_{02} + \frac{1}{r_1^2} t_{гср3} \bar{v}_{03}, \quad (3)$$

где: $t_{гср1}, t_{гср2}, t_{гср3}$ - время протекания процесса обратного, комбинированного и прямого выдавливания, с,

$\bar{v}_{01}, \bar{v}_{02}, \bar{v}_{03}$ - скорость движения пуансона на соответствующей стадии процесса, мм/с,

n - количество участков разбиения отрезка $(\bar{r}_i + \bar{R}_H)$ по ходу пуансона,

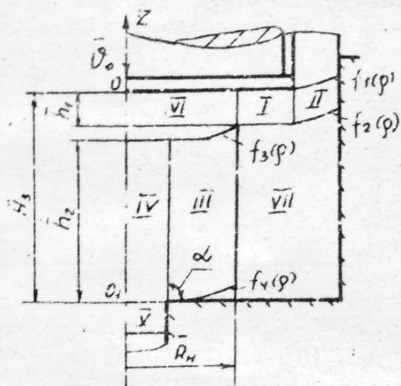
$R_{нсрi} = \frac{R_{нi} + R_{нi+1}}{2}$, где: i - текущий номер R_H по ходу пуансона.

Значения $t_{гср1}, \bar{v}_{01}, t_{гср2}, \bar{v}_{02}, t_{гср3}, \bar{v}_{03}$ и $R_{нсрi}$ определяются с помощью программы для расчета q по формуле (I).

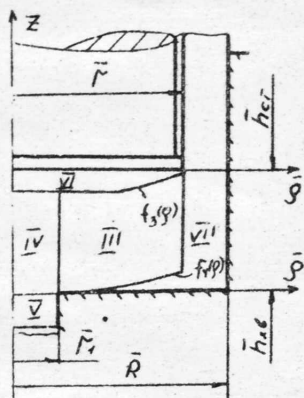
Расчет десяти значений q, h_{cr} и $h_{хв}$ показал, что расхождение расчетных и экспериментальных значений не превышает 15%, что говорит об удовлетворительной сходимости результатов и позволяет рекомендовать выведенные математические формулы с принятыми допущениями для практического использования.

Анализ влияния параметров: $R_H, \mu_2, \mu_5, \epsilon$ и σ_5 ; на удельное усилие и геометрию поковки показал, что все параметры в значительной степени влияют на h_{cr} и $h_{хв}$ и в меньшей на q . В качестве примера на рис.3 показаны зависимости $h_{cr}(\mu_5)$ и $h_{хв}(\mu_5)$, а на рис.2 зависимость $q(R_H)$.

Полученные аналитические выражения позволяют исследовать кинематику пластического течения металла, а также напряженное состояние в очаге пластических деформаций по заданным термомеханическим параметрам при $1 < R \leq 2$, $r_i < 1$, так как для $R > 2$ граничные условия на боковой поверхности могут отличаться от принятых, а при $r_i \geq 1$ III область исчезает, и очаг будет иметь другую форму в отличие от принятой в данных исследованиях.



а)



б)

Рис.1. Расчетные схемы: а) - комбинированное; б) - прямое вы-
давление.

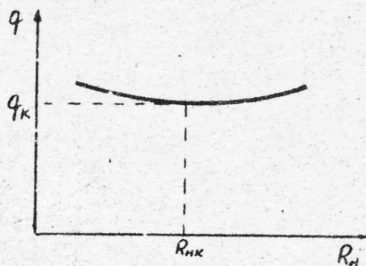
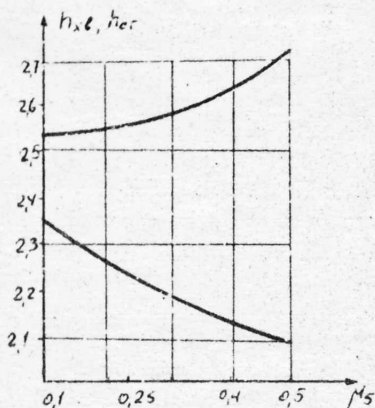


Рис.2. Зависимость $q(R_n)$

Рис.3. Зависимости: $h_{er}(\mu_5)$ и $h_{xe}(\mu_5)$ при $R = 1,25$,
 $\mu_1 = 0,53$, $\mu_2 = \mu_5 = 0,5$, $\ell = 0,33$, $H_3 = 2$.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждена достоверность теоретических исследований, получены регрессионные зависимости формоизменения заготовки удельного усилия деформирования от предела текучести материала, размеров инструмента и заготовки, описана конструкция производственного блока и сменной оснастки.

При проведении эксперимента использована многофакторная схема, имеющая преимущества перед однофакторным экспериментом, т.к. дает более точные результаты. Кроме того, планирование и обработка результатов многофакторного эксперимента в настоящее время формализованы, поэтому адекватность математической модели оценивается на основе критериев многомерной математической статистики.

Для выявления влияния механических характеристик материала, размеров инструмента и заготовки на удельное усилие деформирования и формоизменение заготовки использовали метод математического планирования эксперимента. В качестве исследуемых параметров были приняты: удельное усилие деформирования q , высота стенки стакана $h_{ст}$ и длина хвостовика $h_{хв}$. Предварительными исследованиями установлено, что на формоизменение при комбинированном выдавливании влияют следующие факторы: относительный радиус пуансона $r = \bar{r}/\bar{R}$, угол конусности матрицы α , относительный радиус очка матрицы $r_1 = \bar{r}_1/\bar{R}$, относительная высота заготовки $H_3 = \bar{H}_3/\bar{R}$, а на удельное усилие выдавливания, также материал заготовки. На основании ранее проведенных исследований следовало ожидать, что характер влияния функции отклика будет нелинейным. В связи с этим, все факторы варьировались на трех уровнях и строилась математическая модель вида:

$$y = B_0 + \sum_{i=1}^m B_i x_i + \sum_{i,j} B_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m B_{ii} x_i^2, \quad (4)$$

где: x — варьируемые факторы в кодированном масштабе,

y — параметр формоизменения или удельного усилия.

С целью сокращения числа опытов был использован несимметричный насыщенный план Гехтшафнера.

Экспериментальные исследования проводились на образцах диаметром 18,6 мм и высотой 16, 20, 5, 25 мм из сталей У8А,

ИХ18НЭТ и ОХ20Н4АГ10, в качестве оборудования использовался винтовой дугостаторный пресс усилием 1,6 мн. Для измерения полного усилия деформирования был использован метод электротензометрии. Скорость движения рабочего инструмента измерялась с помощью ходографа. Нагрев заготовок производился в камерной электропечи, требуемая температура задавалась и поддерживалась с помощью автоматического потенциометра. Температура нагрева заготовок $T = 1000^{\circ}\text{C}$ задавалась с учетом потери ее при транспортировке от печи к штампу и охлаждении в штампе до и в процессе деформации. Изменение температуры заготовок с момента выноса из печи и до начала выдавливания записывалось на самописце с помощью вмонтированной в заготовку термопары. Эксперимент показал, что уменьшение температуры практически идентично для стали У8А и ИХ18НЭТ, для центральной термопары и для расположенной с краю и равно $10...15^{\circ}\text{C}$ в первые 5-7 секунд. Выбор температуры нагрева $T = 1000^{\circ}\text{C}$ обоснован для стали ОХ20Н4АГ10.

Экспериментальные исследования по определению формоизменения заготовки и удельного усилия деформирования в неустановившемся процессе выдавливания позволили получить регрессионные уравнения в виде:

$$q = 69,95 - 4,67x_1 + 108x_2 + 0,85x_3 - 2,2x_4 + 6,76x_5 - 135x_1x_2 - 0,57x_1x_3 + 0,97x_1x_4 - 1,68x_1x_5 - 0,83x_2x_4 - 0,86x_3x_5 - 29x_2^2; \quad (5)$$

$$h_{\text{вб}} = 18,18 - 3,65x_1 - 1,18x_2 - 2,07x_4 + 0,18x_1x_2 + 0,88x_1x_3 + 1,52x_1x_4 + 1,43x_2x_3 + 1,57x_2x_4 + 0,86x_3x_4 - 2,13x_1x_2^2 + 1,29x_3^2; \quad (6)$$

$$h_{\text{сг}} = 23,8 - 1,05x_1 + 2,9x_2 + 3,42x_3 - 8,25x_4 - 1,24x_1x_2 - 1,91x_1x_3 + x_1x_4 - 0,53x_2x_3 - 1,21x_2x_4 - 1,1x_3x_4 - 1,53x_1^2 + 2,72x_2^2 - 3,21x_3^2. \quad (7)$$

Все расчеты по определению коэффициентов модели, их дисперсий, критериев Стьюдента и критериев Фишера выполнены на ЭВМ ЕС 1055 по программе PPDERA. Уравнения (5) - (7) позволяют определить формоизменение заготовки и удельное усилие выдавливания при любых сочетаниях входящих в них технологических факторов. Кроме того, получается возможность по известным параметрам готовой детали ($h_{\text{сг}}$, $h_{\text{вб}}$, α , $\tilde{r}$, $\tilde{r}_1$ и $\tilde{R}$) определить исходную высоту заготовки.

Анализ математических моделей показал, что влияние всех факторов на удельное усилие и формоизменение заготовки нелинейно. Существует оптимальная область исходных размеров заготовки и геометрии инструмента, в которой удельное усилие минимально. Положение минимума удельных усилий зависит от значений всех пяти факторов, поскольку в регрессионное уравнение (5) входят почти все парные взаимодействия. Наибольшее влияние на удельное усилие оказывают следующие факторы: предел текучести материала, относительный радиус Γ и относительная высота заготовки H_3 . Оптимальный выбор указанных факторов позволяет снизить удельное усилие деформирования на 10–20%. В качестве примера на рис. 4 показано влияние относительного радиуса Γ на удельное усилие выдавливания. На характер течения металла значительное влияние оказывают следующие факторы: относительные радиусы Γ и Γ_1 , угол конусности матрицы α и относительная высота заготовки H_3 , варьирование которых позволяет получить требуемую геометрию поковки. В качестве примера на рис. 5 показано влияние относительной высоты заготовки на h_{cr} и h_{xk} . Различие экспериментальных и расчетных значений q , h_{cr} и h_{xk} не превышает 10–15%, что говорит об их удовлетворительной сходимости.

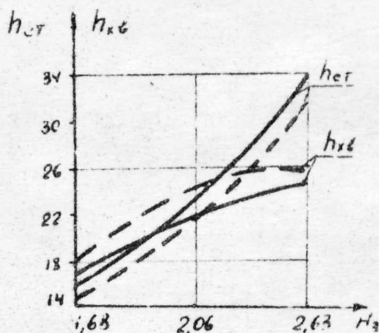
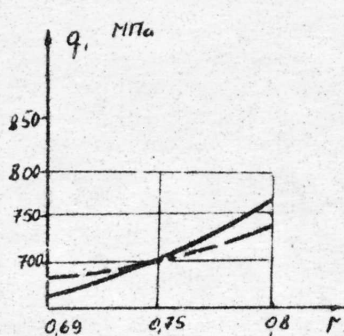


Рис. 4. Зависимость $q(\Gamma)$ при $\Gamma_1 = 0,58$; $\mu_2 = \mu_3 = 0,5$; $H_3 = 1,68$; $\alpha = 90^\circ$; $\ell = 0,26$

Рис. 5. Зависимости: $h_{cr}(H_3)$ и $h_{xk}(H_3)$ при $\Gamma = 0,8$; $\Gamma_1 = 0,58$; $\alpha = 90^\circ$; $\mu_2 = \mu_3 = 0,5$; $\ell = 0,26$
(-) — эксперимент, (—) — теория.

По математическим моделям (5) - (7) были рассчитаны q, h_{cr} и h_{ce} , необходимые для комбинированного выдавливания "гильзы" из стали ОХ20Н4АГ10 со следующими размерами: $2\bar{R} = 19$ мм, $2\bar{r} = 15,2$ мм, $2\bar{r}_1 = 9,5$ мм, $\alpha = 90^\circ$, $h_{cr} = 23$ мм, $h_{ce} = 26$ мм, полученные значения удельного усилия выдавливания и конечной геометрии поковки отличаются от экспериментальных и теоретических не более, чем на 15%, что подтверждает удовлетворительную сходимость сравниваемых результатов.

В главе четвертой предложен способ и спроектирован технологический процесс изготовления деталей типа "гильзы" из высокопрочных нержавеющей сталей: 12Х18Н9Т и ОХ20Н4АГ10 на основе неполного горячего комбинированного выдавливания, позволяющий с высокой производительностью изготавливать поковки деталей необходимого качества.

Разработанный технологический процесс включает следующие основные операции: резка заготовок; нагрев заготовок, комбинированное выдавливание и окончательная механическая обработка. Удельное усилие выдавливания, при заданных термомеханических параметрах не превышает 1000 МПа. Даны рекомендации по выбору инструментальных сталей для пуансонов, работающих в условиях неполного горячего деформирования, и методам повышения износостойкости, жаростойкости и сопротивления термической усталости. Разработаны рекомендации по повышению качества и эксплуатационных характеристик поковок. В частности отмечено, что для снижения шероховатости поверхности поковок из нержавеющей сталей необходимо использовать меднение или латунные прокладки в качестве смазки. По расчетным режимам отштампована опытная партия деталей и передана заказчику для проведения испытаний. Ожидаемый экономический эффект от внедрения технологии составляет 12660 руб. в расчете на 12 тыс. деталей за счет экономии металла и снижения трудоемкости.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

I. Предложен способ интенсивной технологии обработки металлов давлением - неполное горячее комбинированное выдавливание деталей типа втулки с хвостовиком, обеспечивающий снижение трудоемкости изготовления деталей по сравнению с механической обработкой и сваркой в среднем в 1,3 раза, увеличение коэффициен-

14

та использования металла в 2 - 2,5 раза.

2. Разработана методика и приняты расчетные схемы для исследования напряженного и кинематического состояния заготовки при неполном горячем комбинированном выдавливании осесимметричных деталей ступенчатой формы, пользуясь которой можно определить распределение скоростей течения и деформаций, интенсивности скоростей деформаций, касательных и нормальных напряжений в очаге пластической деформации и установить влияние технологических факторов на исследуемые величины.

3. Разработана методика расчета формоизменения и силового режима процесса, что позволяет, не прибегая к эксперименту, определить в первом приближении конечную геометрию поковки и удельное усилие выдавливания при заданных термомеханических условиях, спроектировать инструмент и оценить его стойкость, подобрать прессовое оборудование.

4. Установлено влияние скорости деформирования и деформации на удельное усилие выдавливания и формоизменения заготовки. Разработана методика, позволяющая учитывать влияние скоростей деформаций при расчете исследуемых параметров: q , $h_{ст}$ и $h_{в}$.

5. Определены закономерности изменения удельных усилий деформирования и конечных размеров поковки в зависимости от механических характеристик материала, размеров инструмента и заготовки. Расхождение расчетных и экспериментальных значений:

q , $h_{ст}$ и $h_{в}$ не превышает 10-15%, что позволяет рекомендовать полученные аналитические зависимости для практического использования.

6. Показано, что определяющее влияние на удельное усилие деформирования оказывают геометрические параметры инструмента и заготовки, в первую очередь, отношение радиуса пуансона и отношение высоты заготовки к радиусу контейнера матрицы, а также тип материала. Оптимальный выбор указанных параметров позволяет снизить усилие деформирования на 10-20%. На конечную геометрию поковки оказывают значительное влияние следующие факторы: отношение радиуса пуансона, радиуса очка матрицы, высоты заготовки к радиусу контейнера матрицы и углы конусности матрицы, варьирование которых позволяет получить требуемую геометрию поковки.

7. Расширена номенклатура поковок, геометрию которых мож-

не рассчитать по разработанной методике, так как в отличие от ранее проводимых исследований комбинированного выдавливания в настоящей работе рассматривается общий случай выдавливания поковок деталей типа втулки с хвостовиком, начинающегося с осадки с прошивкой, которые последовательно переходят в обратное, комбинированное, а затем в прямое выдавливание, что подтверждено экспериментально.

8. Разработаны рекомендации по проектированию технологических процессов и по выбору технологических параметров неполного горячего комбинированного выдавливания осесимметричных деталей ступенчатой формы. Технологический процесс выдавливания поковок деталей типа "гильзы" опробован в производственных условиях. По расчетным режимам отштампована производственная партия поковок и передана заказчику. Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработанной типовой технологии составляет 12,7 тысяч рублей.

9. Разработанную методику неполного горячего комбинированного выдавливания поковок деталей типа втулки с хвостовиком из металлов механические свойства, которых позволяют применить холодную объемную штамповку, можно рекомендовать для процессов холодного выдавливания с соответствующим учетом скоростного упрочнения и температурного режима штамповки.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Кузнечиков С. Ю. Кинематика течения и усилие деформирования заготовки при комбинированном выдавливании в условиях неполного горячего деформирования. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 1988. - № 5. - С. 109-114.

2. Кузнечиков С. Ю. Определение формоизменения и усилия неполного горячего выдавливания деталей типа стакана с хвостовиком. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 1988. - № 9. - С. 126-130.

3. Кузнечиков С. Ю., Шальтис Я. А. Технологический процесс комбинированного выдавливания осесимметричных деталей ступенчатой формы. // Информационный листок о научно-техническом достижении. / МосгорЦНТИ. - 1988. - № 249.

