

ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

СЕМЕНЯКА ЛЮДМИЛА ИВАНОВНА

УДК 621.73.043

**РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ОСВОЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИТАМПОВКИ  
ТОЧНЫХ ЗАГОТОВОК КОРПУСОВ ГИДРОЦИЛИНДРОВ**

Специальность 05.03.05 - Процессы и машины  
обработки давлением

**АВТОРЕФЕРАТ**

**ДИССЕРТАЦИИ на соискание учёной степени  
кандидата технических наук**

Луганск - 1996

621.77  
620.22

ДВ 36.749

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00760862 (Т)

Диссертацией является рукопись  
Работа выполнена в университете на кафедре "материаловедение" механического факультета.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Дорошко В.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
действ. член УАН НП, профессор  
Евстратов В.А.;  
кандидат технических наук  
Чердниченко С.П.

Ведущая организация: ЛУГАНСКИИТИМАШ

Защита состоится в 13<sup>00</sup> часов 11 февраля 1997 года на заседании специализированного совета в Восточноукраинском государственном университете по адресу: 348034, г.Луганск, кв.Молодёжный, 20-а.

Справки по телефону: (0642) 46-67-88.

Специализированный совет К 18.02.03

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Восточноукраинского государственного университета.

Автореферат разослан 10 января 1997 г.

Учёный секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук, доцент

Л.А.Рябичева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Современное машиностроение предъявляет высокие требования к качеству изделий, материалоемкости и энергоемкости применяемых технологий, что в значительной мере определяет технический уровень производства и конкурентоспособность продукции. Достаточно остро стоит этот вопрос в производстве гидроцилиндров, потребность в которых постоянно увеличивается в связи с широким применением в машиностроении гидравлики и автоматики.

В настоящее время в нашей стране изготовление корпусов гидроцилиндров базируется на технологиях механической или пластической обработки, основанных на применении неэкономичной трубной заготовки. При этом реализуется сборная конструкция, состоящая из гильзы и двух крышек, одна из которых во многих случаях соединяется с гильзой сваркой. Высокие требования по точности (8...9 качество) и шершавости поверхности отверстия гильзы  $0,32 > R_a > 0,16$  обуславливают потребность применения до 7...9 операций механической обработки. Коэффициент использования металла составляет 0,4...0,6.

Применяемые в ряде зарубежных стран технологии холодной и полугорячей штамповки корпусов гидроцилиндров в определенной степени решают вопросы материалосбережения и качества за счет получения цельноштампованных изделий, однако, из-за высокой трудоемкости операций заготовительного передела, недостаточной стойкости штампового инструмента и необходимости применения доводочных операций для полости эти технологии не отвечают высоким требованиям современного производства.

В этой связи задача поиска новых материалоемких и энергосберегающих технологических процессов штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров остается актуальной.

**Цель работы.** Повышение качества изделий, снижение затрат материальных и энергетических ресурсов на основе применения операции дорнования в технологических процессах штамповки корпусов гидроцилиндров.

**Методы исследования.** Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния, усилий и использования ресурса пластичности металла при дорновании отверстий базируются на законах механики сплошной среды, теории пластичности, теории обработки металлов давлением и математическом моделировании.

УДБ № В. 8/8  
АН Украины

делировании на ЗЕМ. Экспериментальные исследования основаны на математическом планировании, статистических методах обработки экспериментальных данных

**Научная новизна и личный вклад автора.** Разработана уточненная методика теоретического анализа процесса дорнования со сжатием с учетом основных элементов деформационного и силового воздействия на деформируемый материал и упрочнения металла в процессе деформирования. Получены аналитические зависимости для определения напряжений, усилий и степени использования ресурса пластичности материала при дорновании одним или несколькими дорнами последовательно и одновременно, позволяющие вести расчет и построение технологии, обеспечивающей изготовление изделий с заданными эксплуатационными свойствами. Получены аналитические зависимости для определения погрешностей диаметральных размеров полых поковок при полугорячей вытяжке с утонением стенки. Получено уравнение регрессии, устанавливающее зависимость высоты микронеровностей поверхности полости от основных параметров дорнования заготовок, полученных полугорячей вытяжкой с утонением стенки.

**Практическая ценность и реализация результатов работы.** Разработана методика автоматизированного проектирования операции дорнования в технологических процессах штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров. Созданы материал- и энергосберегающие технологические процессы штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров для станкостроения. Технологии приняты ведомственной комиссией Минстанкопрома СССР и рекомендованы к промышленному внедрению. Разработана и передана Людиновскому агрегатному заводу техническая документация, необходимая для организации серийного производства точных заготовок корпусов гидроцилиндров. Разработана и внедрена на Вахрушевском ремонтно-механическом заводе (Луганская область) технология изготовления гильз гидроцилиндров методом дорнования точной заготовки. Новые технологии обеспечивают экономию металла до 15%, повышение КИМ до 0,86, снижение трудоемкости до 60% и повышение качества изделий. Ожидаемый экономический эффект от внедрения технологии штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров серии Г29-1 составляет 0,46 руб. на единицу продукции (в ценах 1991 года).



**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались на Всесоюзной научно-технической конференции "Трубопроводный гидротранспорт твердых материалов" (г.Москва 1981 г.), на конференции "Прогрессивные технологические процессы холодной листовой и объемной штамповки" (г.Пенза, 1983 г.), на республиканских конференциях "Опыт внедрения прогрессивных технологий обработки металлов давлением" (г.Киев, 1984 г.), "Разработка и внедрение малоотходных и безотходных технологий в металлообрабатывающем производстве" (г.Севастополь, 1984 г.), на областной научно-технической конференции "Интенсификация производства и повышение качества изделий поверхностным пластическим деформированием" (г.Тольятти, 1989 г.), на научно-технических конференциях Восточноукраинского государственного университета (1985-1996 г.г.).

В целом работа обсуждена и одобрена на объединенном научном семинаре механического факультета ВУТУ в 1996 г.

Технологический процесс штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров экзотировался на ВДНХ СССР в 1984 г. и ВДНХ СССР в 1986 г. и удостоен диплома третьей степени и бронзовой медали.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 статей, 2 доклада (в тезисах), получен 1 патент СССР.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех разделов, общих выводов, приложения. Текстовый материал изложен на 128 стр., таблиц по тексту - 8, рисунков - 25, литературных источников - 99 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Введение.** Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, ее научная и практическая ценность.

**Глава 1. Состояние вопроса и постановка задач исследования.** Приведен анализ существующих способов изготовления корпусов гидроцилиндров, которые можно разделить по виду применяемой исходной заготовки на две группы: технологические процессы изготовления из трубной заготовки и из сортового проката.

Первая группа технологий предусматривает реализацию сборной конструкции корпуса гидроцилиндра, в которой наибо-

ее трудоемкой деталью является гильза, изготавливаемая из горячекатаных или холоднотянутых труб. Для изготовления гильз применяется многопереходная обработка режущим и абразивным инструментом, а также пластическое деформирование различными способами: ротационное обжатие на ротационных и радиально ковочных машинах, станах холодной ротационнойковки, прессах с пульсирующей нагрузкой, дорнование, осуществляемое на проточных станках и прессах. Общими недостатками этих технологий, кроме весьма высокой трудоемкости при механической обработке и необходимостью применения дорогого специализированного оборудования для ротационнойковки, являются использование дорогостоящей трубной заготовки и реализация сборной, часто сборно-сварной конструкции корпуса гидроцилиндра, в связи с чем существенно снижаются эксплуатационные характеристики изделия и повышается трудоемкость их изготовления.

Лишены этих недостатков технологии изготовления корпусов гидроцилиндров из прутковой заготовки. Они основаны на получении горячей, полугорячей или холодной штамповкой выдавливанием полого толстостенного полуфабриката с дном необходимой конфигурации, а затем различными способами утонения стенки с доведением заготовки до требуемых размеров диаметров и толщины стенки ее полых частей. Для уменьшения толщины стенки применяются холодное и полугорячее прямое выдавливание или вытяжка с утонением стенки в неподвижной или наклонной вращающейся матрице, ротационное выдавливание. Опыт применения названных способов показывает, что для обработки стальных изделий наиболее эффективными являются технологии полугорячей штамповки. Они содержат преимущества холодного деформирования в части достижимой точности и шероховатости поверхности и частично достоинства горячей обработки, связанные со снижением сопротивления деформированию металла.

Материало- и энергосберегающие технологии второй группы обеспечивают получение достаточно точных цельноштампованных заготовок, однако для достижения высоких требований к качеству поверхности полости гидроцилиндров по точности и шероховатости поверхности требуется применять доводочную операцию хонингования. В этой связи перспективной является технология точной штамповки корпусов гидроцилиндров из прутковой заготовки, включающая полугорячее выдавливание, вытяжку

с утонением стенки и, в качестве финишной операции, дорнование, обеспечивающая получение цельно-тампованной конструкции корпуса с дном и полости, не требующей механической обработки. В этой технологии операция дорнование, которая осуществляется нетрадиционно - в упор, является определяющей для получения необходимой точности размеров, шероховатости поверхности полости цилиндров и достижения механических характеристик металла, обеспечивающих их эксплуатационные свойства. Поэтому исследованию ее в работе уделено первостепенное внимание.

Теоретическому анализу дорнования отверстий и сходному с ним процессу раздачи труб посвящены работы Л.Е.Альиеского, В.Авицура, С.И.Борисова и В.И.Стрижака, Н.А.Буниной, Ф.Ф.Валяева, В.Л.Колмогорова, И.Н.Коззкевича, В.П.Монченко, Е.А.Попова, Л.В.Попова, Ю.Г.Проскурякова, О.А.Розенберга, Г.И.Шельвинского и других. В обзоре показано, что полученные разными методами формулы для расчета усилий дают противоречивые результаты. Разница в результатах расчета очень велика, а для больших значений угла конусности дорна может достигать сотен и тысяч процентов, что свидетельствует о недостаточной изученности вопроса.

В работах, посвященных расчету предельного формоизменения даются формулы для вычисления предельной суммарной деформации полой заготовки без учета истории деформирования. При таком подходе могут быть получены значительные погрешности для многооперационного дорнования и отсутствует возможность вести оценку степени использования ресурса пластичности материала, определяющей эксплуатационные свойства изделий.

Важным аспектом технологии изготовления корпусов гидроцилиндров являются получаемые точность размеров и шероховатость поверхности полости, которые в значительной степени зависят от этих же параметров исходной заготовки. Имеющиеся в литературе сведения по этому вопросу относятся к дорнованию горячекатаных и холоднотянутых труб. Данные о достижимой точности и влиянии параметров технологии дорнования на шероховатость поверхности полости при использовании заготовок, полученных полугорячей вытяжкой с утонением стенки отсутствуют. Нет также сведений о достижимой точности заготовок при полугорячей вытяжке с утонением стенки.

На основании результатов проведенного анализа и в соответствии с целью работы поставлены следующие основные задачи исследования:

- выполнить теоретический анализ напряжений, усилий и использования ресурса пластичности при дорновании со сжатием одним и несколькими дорнами последовательно и одновременно;
- определить достижимую точность диаметральных размеров полых изделий при полугорячей вытяжке с утонением стенки;
- исследовать влияние параметров технологии на шероховатость поверхности полости при дорновании заготовок, полученных полугорячей вытяжкой с утонением стенки;
- исследовать точность технологического процесса штамповки корпусов гидроцилиндров;
- разработать методику автоматизированного проектирования операции дорнования;
- осуществить освоение технологического процесса штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров.

**Глава 2. Теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния, усилий и использования ресурса пластичности при дорновании отверстий.** Рассматривается общий случай дорнования отверстия со сжатием, включающий все характерные элементы силового воздействия на заготовку, которая разбивается на четыре участка (рис. 1). На первом участке металл пластически не деформируется, он упруго сжат усилием дорнования. На втором участке происходит основная пластическая деформация увеличения внутреннего и наружного диаметров трубы, а также деформация сдвига на верхней и нижней границах очага деформации в результате изгиба и спрямления стенки на входе и выходе из очага деформации. Третий и четвертый участки пластически не деформируются и представляют прошедшую дорнование трубу, к ней может быть приложено усилие сжатия в результате деформации в расположенном выше дорне, в связи с чем на границе второго и третьего участка может действовать осевое нормальное напряжение  $\sigma'_p$ . Сопротивление трению на пояске дорна (III-й участок) пренебрежимо мало и в расчете не учитывается.

Для определения напряжений в очаге деформации (участок II) используем уравнение равновесия безмоментной теории оболочек, которое для конической контактной поверхности при

поставке закона изменения толщины стенки  $S=S_0\sqrt{R_0/\rho}$  при-

нимает вид:

$$\rho \frac{d\sigma_p}{d\rho} + \frac{\sigma_p}{2} - \sigma_\varphi(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) = 0, \quad (1)$$

Где  $\sigma_p$  и  $\sigma_\varphi$  - нормальные напряжения, действующие в меридиональном и окружном направлениях.

Схема напряжений и смещений при свободном дорновании со сжатием

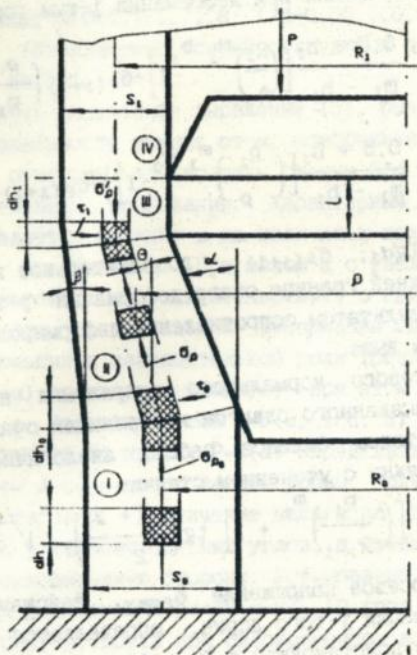


Рис. 1

Упрочнение металла в очаге деформации учитываем, используя закон в виде:

$$\sigma_s = E \left( \frac{\rho}{R_0} \right)^m, \quad (2)$$

где  $E$  и  $m$  - коэффициенты, постоянные по длине очага деформации.

ции, вычисляются с использованием кривых упрочнения для соответствующего перехода дорнования по выражениям:

$$E_j = \epsilon_{0,2} + A \epsilon^{n_j-1}; \quad m_j = \left[ \ln(\epsilon_{0,2} + A \epsilon^{n_j}) - \ln E_j \right] / \ln \frac{R_j}{R_j - 1}$$

Здесь  $\epsilon_{0,2}$ ,  $A$ ,  $n$  - коэффициенты аппроксимации кривой упрочнения;  $\epsilon_{j-1}$  и  $\epsilon_j$  - суммарные степени деформации на этапах обработки.

Решая уравнение равновесия (1) совместно с условием пластичности по постоянству максимальных касательных напряжений  $b_\rho - b_p = b_\Sigma$  с подстановкой закона упрочнения (2) при граничном условии:  $b_p = b_{p(j+1)}$  при  $\rho=R_j$ , получаем выражения для нормальных напряжений при деформации  $j$ -тым дорном:

$$\left. \begin{aligned} b_{\rho j} &= -E_j \left( \frac{\rho}{R_{j-1}} \right)^{m_j} \frac{0,5 + b_j}{m_j - b_j} \left[ \left( \frac{R_j}{\rho} \right)^{m_j - b_j} - 1 \right] + b_{p(j+1)} \left( \frac{\rho}{R_j} \right)^{b_j} \\ b_{\phi j} &= E_j \left( \frac{\rho}{R_{j-1}} \right)^{m_j} \left\{ 1 - \frac{0,5 + b_j}{m_j - b_j} \left[ \left( \frac{R_j}{\rho} \right)^{m_j - b_j} - 1 \right] \right\} + b_{p(j+1)} \left( \frac{\rho}{R_j} \right)^{b_j} \end{aligned} \right\} (3)$$

где  $b_j = 0,5 + \mu \operatorname{ctg} \alpha_j$ ;  $b_{p(j+1)}$  - дополнительное нормальное напряжение на верхней границе очага деформации  $j$ -того дорна, являющееся результатом сопротивления деформированию дорном, расположенном выше.

Приращение осевого нормального напряжения на входе в очаг деформации, вызванного сдвигом на границах очага деформации, находим методом баланса работ, аналогично решению Е.А.Попова для вытяжки с утонением стенки:

$$\Delta b_{\rho j} = -E_j \left[ \left( \frac{R_j}{R_{j-1}} \right)^{m_j} + 1 \right] \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha_j + \beta_j}{2} \right) / \sqrt{3} \quad (4)$$

Максимальное осевое напряжение  $b_{p \max}$ , действующее на входе в очаг деформации  $j$ -того дорна, определяется суммированием  $b_{\rho j}$  по (3) с подстановкой  $\rho=R_j$  и  $\Delta b_{\rho j}$  по (4).

Усилие дорнования одновременно  $j$  дорнами будет равно:

$$P_j = \pi(d_0 + S_0) S_0 |b_{\rho 1 \max(j)}|. \quad (5)$$

где  $b_{\rho 1 \max(j)}$  - осевое нормальное напряжение на входе в очаг деформации первого дорна.

Дифференцируя по  $\alpha$  выражение (5) для дорнования одним дорном, принимая при этом допущение об отсутствии упрочнения и, что  $\alpha \approx \beta$ ; приравнявая производную нулю, находим значение

$\alpha_{\text{опт}}$ , соответствующее минимуму усилия:

$$\alpha_{\text{опт}} = \arctg \sqrt{\mu \ln(d_1 + S_1) / (d_0 + S_0)} \quad (6)$$

Согласно формуле (6) при дорновании отверстий с относительными натягами  $e_d=0,02...0,1$  и коэффициентами трения  $\mu=0,07...0,15$  расчетная величина  $\alpha_{\text{опт}}$  колеблется в пределах  $2,5...7^\circ$ , что подтверждается практикой дорнования.

Проверка выведенной формулы для усилия производилась путем сравнения расчетных значений с экспериментальными данными, полученными Ю.Г.Проскуряковым. В диапазоне практически применяемых при дорновании значений основных параметров ( $\alpha=3...5$  град;  $D/d=1,17...1,8$ ;  $1/d=0,05...0,15$ ), вычисленные по формуле (5) значения усилий отличаются от фактических не более, чем на 15%.

Используя полученное выражение (5), были построены графические зависимости усилия от  $\alpha$ , коэффициента трения  $\mu$ , натяга  $1/d$ , относительной толщины стенки  $D/d$  и числа дорнов  $N$  при одновременном дорновании. Характерным для зависимости  $P=f(\alpha, \mu)$  является влияние  $\mu$  на наличие и положение минимума усилия при изменении  $\alpha$ . При малом  $\mu$  с увеличением  $\alpha$  усилие монотонно растет, что свидетельствует о преобладающем влиянии на усилие сопротивления деформации сдвигу на границах очага деформации и незначительной роли трения. С ростом  $\mu$  на кривых  $P=f(\alpha)$  появляется минимум, при этом  $\alpha_{\text{опт}}$  тем больше, чем больше  $\mu$ . Из зависимости  $P=f(\alpha, 1/d, N)$  следует, что положение минимума на кривых  $P=f(\alpha)$  определяется величиной натяга на дорн и суммарного на все дорны, одновременно деформирующие заготовку. Увеличение натяга на дорн приводит к сдвигу  $P_{\text{мин}}$  в сторону больших углов, а увеличение  $N$  сдвигает  $P_{\text{мин}}$  в противоположную сторону. Установлено, что в диапазоне практически реализуемых углов  $\alpha=3...10$  град. и относительных натягов  $1/d=0,05...0,15$  при одновременном дорновании отсутствуют углы, обеспечивающие ощутимый минимум усилия.

Для определения степени использования ресурса пластичности (ИРП) металла в процессах свободного дорнования отверстий со сжатием использована модель разрушения, предложенная В.Л.Колмогоровским и А.А.Богатовым. В общем случае дорнования  $N$  дорнами степень ИРП определяется суммой:

$$\Psi_{1j} = \sum_{j=1}^N [(\Psi_{1j} + \Psi_{2j}) A_{1,2j} + \Psi_{3j} A_{3j}], \quad (7)$$

где индексы 1,2,3 соответствуют участкам деформации на входе (сдвиг от изгиба), раздачи стенки и на выходе из очага деформации (сдвиг от спрямления стенки);  $A_{1j}=f(\delta/T)$  - показатель, учитывающий снижение ИРП при существенно немонотонном деформировании в результате "залечивания" дефектов.

Выражения для вычисления  $\Psi_{1j}$  найдены с использованием полученных решений для напряженного состояния и решения Г.А.Смирнова-Аляева и Г.Я.Гуна для деформированного состояния при раздаче, которые при аппроксимации диаграммы пластичности экспоненциальной зависимостью имеют вид:

$$\Psi_{1(3)j} = \frac{\operatorname{tg}(\alpha_j + \beta_j)/2}{2} \left\{ \frac{1}{\Lambda_p [(K_1^+(3))_j; (\mu_{s1}^+(3))_j]} + \frac{1}{\Lambda_p [(K_1^-(3))_j; (\mu_{s1}^-(3))_j]} \right\} \quad (8)$$

$$\Psi_{2j} = \int_{D_{j-1}}^{D_j} \frac{2\sqrt{3} \sqrt{1 + 3(D_{j-1}/D)^{2+4b_j}} dD}{D_{j-1} D [1 + 3(D_{j-1}/D)^{1+2b_j}] \Gamma_j \exp\left(C_j x_1 \sqrt{3} \left[1 - 2\left(\frac{0,5+b_j}{m_j-b_j}\right) \left((D_j/D)^{m_j-1} - 1\right) - (\sigma_{p_j+1}/E_j) (D^{b_j-m_j} D_{j-1}^{m_j} / D_j^{b_j})\right]\right)} \quad (9)$$

где  $\Lambda_p$  - пластичность металла при значениях показателей напряженного состояния  $K=\delta/T$  и  $\mu_s = (2\delta_{cr} - \delta_{max} - \delta_{min}) / (\delta_{max} - \delta_{min})$  соответственно выше (+) и ниже (-) линии разрыва;  $\Gamma$  и  $C$  - коэффициенты аппроксимации диаграммы пластичности;  $D, D_{j-1}, D_j$  - диаметры срединной поверхности текущий, на входе и выходе из очага деформации.

На основании расчетов по выражениям (8), (9) построены зависимости ИРП от параметров процесса дорнования. Анализ результатов показывает следующее. С увеличением  $\alpha$  степень ИРП монотонно растет, причем интенсивность роста не зависит от натяга. Увеличение  $\mu$  приводит к снижению ИРП. При этом роль контактного трения возрастает с увеличением натяга. Ювление дробности деформации приводит к снижению ИРП, причем для одновременного дорнования в большей степени, чем для последовательного. Как при последовательном, так и при одновременном дорновании несколькими дорнами равномерное распределение степени деформации по дорнам дает снижение ИРП по сравнению с распределением натягов по логарифмическому закону.

**Глава 3. Исследование геометрических параметров полых изделий, получаемых различными методами ОМД.** Приводится анализ достижимой точности диаметральных размеров полых цилиндров, получаемых полугорячим выдавливанием и вытяжкой с утонением стенки. Поле рассеивания размеров поковки определено в виде суммы погрешностей, вызванных колебанием температуры поковки и штампа, представляющих собой усадку при температурах, отличающихся от расчетных на максимальное отклонение заданного интервала; погрешностей из-за упругой деформации матрицы; погрешностей, связанных с износом инструмента; погрешностей изготовления матрицы и пуансона. Сопоставление максимальных погрешностей наружных и внутренних диаметров, рассчитанных по полученным зависимостям с полями допусков по СТ СЭВ 144-75 и ОСТ установлено, что при полугорячей вытяжке с утонением стенки при колебании температур поковки и штампа в интервале  $\Delta T=100$  град. достижимой точностью внутренних диаметров  $d < 60$  мм является 11 квалитет; для  $120 \text{ мм} > d > 60 \text{ мм}$  - 12 квалитет; при  $\Delta T=50$  град. для  $d < 150 \text{ мм}$  - 11 квалитет. При тех же условиях отклонения наружных диаметров - на квалитет выше.

Экспериментальные исследования влияния основных параметров технологии на шероховатость поверхности полости при дорновании заготовок, полученных полугорячей вытяжкой с утонением выполнено с использованием математического планирования. В качестве варьируемых параметров приняты: число дорнов ( $N$ ), суммарный натяг ( $i_0$ ), относительная толщина стенки ( $D/d$ ) и угол конусности дорна ( $\alpha$ ). Пределы изменения факторов приняты по рекомендациям опубликованных исследований с учетом особенностей дорнования заготовок с глухой полостью, а также исходя из номенклатуры корпусов гидроцилиндров, используемых в станкостроении. Заготовки под дорнование из стали 35 с диаметром полости 38 мм получали полугорячей прошивкой с последующей вытяжкой с утонением стенки, которые подвергались отжигу и дробеструйной очистке полости. Смазкой при дорновании служил сульфорезол. Для измерения высотных размеров микронеровностей полости  $R_a$  применялся профилометр типа П-10 (по ГОСТ 9504-60) с пределом измерения  $3,2 \dots 0,08$  мкм. Эксперимент, включающий 25 опытов, ставился согласно матрице планирования с варьированием факторов на трех уровнях. В результате обработки эксперимента получено

уравнение регрессии, представляющее зависимость шероховатости полости от параметров дорнования в виде квадратичного полинома, адекватно описывающее экспериментальные данные, согласно которому увеличение  $N$ ,  $i_0$ ,  $D/d$ ,  $\alpha$  приводит к уменьшению шероховатости. При этом наибольшее влияние на шероховатость полости оказывает величина натяга, наименьшее - угол конусности дорна.

Исследование точности технологического процесса штамповки корпусов гидроцилиндров производили путем определения соответствия диаметра полости штампованных заготовок установленному отклонению. Использовалась методика, основанная на применении математической статистики, позволяющая оценить достижимую точность контролируемого размера.

Выборка из 50 штук корпусов гидроцилиндров 1-40.022-09, изготовленных по исследуемой технологии с финишной операцией дорнование, подвергалась контрольной проверке геометрии в измерительной лаборатории ВНИИГидропривода (г. Харьков). Контролируемый размер - диаметр полости  $40H9 (+0,062)$  измерялся на трех уровнях нутромером с ценой деления 0,001 мм. Выявление и отсеивание в выборке резко отклоняющихся значений диаметров производили с помощью критерия Грэмбса. Используя критерий согласия Колмогорова, установлено соответствие эмпирического распределения измеренных значений диаметров нормальному закону. Коэффициент точности технологического процесса, равный отношению поля рассеивания диаметра  $\Delta p = \delta / \delta_{\text{доп}}$ , где  $\delta$  - среднеквадратическое отклонение, к полю его допуска  $\delta_{\text{доп}}$  составил  $K_T = 0,982 < 1$ . Фактический коэффициент точности настройки  $e_{\Phi}$ , определенный как отношение значения смещения вершины кривой распределения случайной величины к полю допуска  $\delta_{\text{доп}}$ , получен меньше допустимого  $e_{\text{доп}} = (\delta_{\text{п}} - \delta) / 2\delta_{\text{п}}$ . Таким образом, поскольку  $K_T < 1$  и  $e_{\Phi} < e_{\text{доп}}$ , технологический процесс полностью удовлетворяет требованиям точности. При этом технологический допуск на диаметр, который можно обеспечить технологическим процессом составил 0,0614 мм.

**Глава 4. Проектирование операции дорнования и освоение технологических процессов штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров.** На основе результатов исследования разработана методика автоматизированного проектирования операции дорнования. Алгоритм проектирования построен таким образом, что в автоматическом режиме определяются параметры тех-

нологии дорнования минимально возможным числом дорнов, обеспечивающие получение изделий без промежуточных отжигов с требуемой шероховатостью поверхности, точностью диаметра полости и с остаточной пластичностью металла, не превышающей заданного значения. Исходными данными для проектирования являются: информация о геометрии поковки, данные о свойствах материала, предельное допустимое значение степени ИРП, признаки способа дорнования (последовательное или одновременное) и метода распределения натяга по дорнам (логарифмический закон или равномерное распределение степени деформации), коэффициент контактного трения. Поиск параметров технологии, отвечающих требованиям заданным шероховатости поверхности полости и остаточной пластичности материала, ведется в цикле по числу дорнов, начиная с одного, с выходом из цикла по достижению вычисленного значения накопленной степени ИРП меньшего, чем допустимое. Затем рассчитывается деформирующие усилия и диаметр калибрующего дорна. Разработанная программа проектирования на ЭЕМ предусматривает вывод результатов в виде таблицы и подготовку информации для вычерчивания эскизов заготовки под дорнование и поковки.

Результаты, полученные в работе, положены в основу разработанных и освоенных процессов штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров для станкостроения и угольного машиностроения, не требующие механической обработки полости. За счет применения полугорячей вытяжки с утонением стенки и последующего холодного дорнования отверстия достигается точность диаметра полости по 8...9 квалитетам и шероховатость поверхности 0,2...0,32 мкм. Техничко-экономические показатели нового техпроцесса: экономия металла до 15%; повышение КИМ до 0,86; снижение трудоемкости до 60% и увеличение работоспособности гидроцилиндров в связи с применением цельноштампованного корпуса с поверхностью полости, сформированной холодным пластическим деформированием.

Технология штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров принята ведомственной комиссией Минстанкопрома СССР и рекомендована к промышленному внедрению. Разработана и передана Лениновскому агрегатному заводу техническая документация, необходимая для организации серийного производства точных заготовок корпусов гидроцилиндров для станкостроения.

Опытно-промышленная партия точных штампованных загото-

вок гидроцилиндров использована для изготовления гидроцилиндров привода задвижек ЗГО-150, которые прошли эксплуатационные испытания на углеобогачительных фабриках ПО "Антрацитугобогащение" и продолжают использоваться как сменные малоизнашиваемые детали задвижек.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Выполнен теоретический анализ напряженного состояния при дорновании отверстий со сжатием с учетом основных характерных элементов деформационного и силового воздействия на деформируемый материал и упрочнения материала в процессе деформирования. Получены формулы для расчета напряжений и деформирующего усилия при дорновании одним и несколькими дорнами одновременно, в которых параметры напряженного состояния и усилия связаны с размерами заготовки, изделия и дорна, характеристиками кривой упрочнения и коэффициентом контактного трения. Формулы дают удовлетворительное совпадение результатов расчета и эксперимента.

2. Выполнен анализ влияния технологических параметров на деформирующее усилие при дорновании со сжатием. Показано, что при малом трении с увеличением угла конусности дорна усилие монотонно растет; с увеличением контактного трения на кривых  $P=f(\alpha)$  появляется минимум, при этом угол, которому соответствует минимум тем больше, чем больше значение коэффициента трения. Увеличение натяга на дорн приводит к сдвигу  $P_{\min}$  в сторону больших углов, а увеличение числа дорнов при одновременном дорновании сдвигает  $P_{\min}$  в противоположную сторону. Установлено, что в диапазоне практически реализуемых углов конусности дорнов  $\alpha=3..10$  град. и относительных натягов  $1/d=0,05..0,15$  при одновременном дорновании отсутствуют оптимальные углы, обеспечивающие минимум усилия.

3. Разработана методика расчета степени использования ресурса пластичности при дорновании со сжатием одним или несколькими дорнами последовательно и одновременно, которая может быть использована для прогнозирования предельного формоизменения и назначения режимов деформации, обеспечивающих получение пластических свойств изделий, удовлетворяющих условиям их эксплуатации.

4. Выполнен анализ влияния технологических факторов на

использование ресурса пластичности при дорновании. Показано, что увеличение коэффициента трения приводит к снижению степени ИРП. При этом роль контактного трения возрастает с повышением обжатия. С увеличением угла конусности дорна степень ИРП монотонно растет, интенсивность роста не зависит от обжатия. Повышение дробности деформации дает существенное снижение степени ИРП. Установлено, что равномерное распределение степени деформации по дорнам как при последовательном, так и при одновременном дорновании дает снижение степени ИРП по сравнению с распределением натяга по логарифмическому закону.

5. Получены зависимости погрешностей диаметральных размеров полых поковок при полугорячей штамповке от параметров процесса. Показано, что при изготовлении поковок с применением операции вытяжки с утонением стенки обеспечение колебаний температуры поковки и штампа в пределах  $50^{\circ}\text{C}$  позволяет получать поковки с диаметральными размерами до 150 мм в пределах квалитетов Н11 и h11...Н12 и h12.

6. Получено уравнение регрессии, устанавливающее зависимость высоты микронеровностей поверхности полости от числа дорнов, суммарного натяга, относительной толщины стенки и угла конусности дорна при дорновании заготовок, полученных полугорячей вытяжкой с утонением стенки.

7. Выполнено исследование точности технологического процесса штамповки корпусов гидроцилиндров, включающего операции калибровку прутковой заготовки с наметкой отверстия, прошивку, вытяжку с утонением стенки, выполненные в режимах полугорячей штамповки, и финишную операцию, дорнование, при комнатной температуре. Показано, что технология обеспечивает получение точности отверстия полости по 9-му квалитету.

8. Разработана методика автоматизированного проектирования операции дорнования, позволяющая в автоматизированном режиме рассчитывать процесс дорнования минимально возможным числом дорнов, обеспечивающий получение изделий с требуемыми шероховатостью поверхности, точностью диаметра полости и со степенью использования ресурса пластичности, не превышающей заданного значения.

9. Разработаны и освоены материало- и энергосберегающие технологические процессы штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров. Новые технологии приняты к промышленному

внедрению. Они обеспечивают экономию металла до 15%, повышение КИМ до 0,86, снижение трудоемкости до 60% и увеличение работоспособности гидроцилиндров в связи с применением цельноштампованного корпуса с поверхностью полости, сформированной холодным пластическим деформированием.

Технологические процессы штамповки точных заготовок корпусов гидроцилиндров могут быть использованы в автомобилестроении, тракторостроении, сельхозмашиностроении, авиационном и других отраслях для изготовления корпусов гидро- и пневмоцилиндров, амортизаторов, шахтных гидростоек и других полых деталей, у которых к полости предъявляются высокие требования по точности диаметра и шероховатости поверхности.

#### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В РАБОТАХ

1. Металлосберегающая технология точной штамповки корпусов гидроцилиндров / В.И.Дорошко, А.А.Андрющук, Л.И.Семеняка, М.Я.Зелькин // Кузнечно-штамповочное производство. - 1987. - № 8. С. 4.
2. Изготовление гильз гидроцилиндров методом дорнования / В.И.Дорошко, Л.И.Семеняка, В.В.Салагаев // Технология и организация производства. - 1988. - № 3. С. 28-29.
3. Дорошко В.И., Семеняка Л.И. Оптимизация параметров дорнования корпусов гидроцилиндров // Совершенствование технологических процессов обработки металлов давлением: Межвузовский сб-к / РИСХМ. - Ростов-на-Дону. - 1991. С. 113-116.
4. Точность диаметральных размеров штампованных корпусов гидроцилиндров / В.И.Дорошко, В.П.Бакров, Л.И.Семеняка // Конструирование и производство транспортных машин: Темат. сб-к научн. трудов. Вып. 24. - К.: ИСЮ, 1994. - С. 78-86.
5. Размерная точность изделий типа стаканов при полугорячей штамповке / Дорошко В.И., Данчеев А.С., Арон В.С., Бакров В.П., Семеняка Л.И. // Передовой производственный опыт. - 1988. № 8. С. 7-9.
6. Дорошко В.И., Каравельский А.П., Семеняка Л.И. К вопросу изготовления гидроцилиндра для запорной и регулирующей арматуры гидротранспортных систем // Трубопроводный гидротранспорт твердых материалов / Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. "Гидротранспорт-81", 11-15 августа 1981 г. - Москва. - 1981. - С. 102-103.

7. Дорошко В.И., Семеняка Л.И. Штамповка корпусов гідроциліндрів с использованием ПЩ // Интенсификация производства и повышение качества изделий поверхностным пластическим деформированием / Теор. докл. науч.-техн. конф. "Интенсификация производства и повышение качества изделий поверхностным пластическим деформированием", 30 мая-1 июня 1989 г. - Тольятти. - 1989. - С. 67.

8. Дорошко В.И., Семеняка Л.И. Напряжения и усилие при свободном дорновании отверстий / Луганский машиностр. ин-т. - Луганск, 1993. - 19 с. - Деп. в ГНТБ Украины 02.07.93, N 1339 - Ук. 93.

9. Патент СССР N 1807914, B21K21/04. Способ изготовления полых изделий / В.И.Дорошко, В.М.Гришин, Л.И.Семеняка, М.Г.Кабакон, А.А.Окунь, В.В.Курич, В.В.Салагаев. - Заявка N 5023688; Приоритет 22.01.93; Оpubл. 07.04.93. Бюл. N 13.

#### А Н О Т А Ц І Я

Семеняка Л.І. Розробка, дослідження та освоєння технологічного процесу штампування точних заготовок корпусів гідроциліндрів.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.03.06 - процеси та машини обробки тиском, Східноукраїнський державний університет, Луганськ, 1996. Рукопис.

Захищаються 8 наукових праць та 1 патент, які містять в собі теоретичні дослідження силових та деформаційних режимів операції дорновання; експериментальних досліджень геометричних параметрів в операціях напівгарячого витягнення в стоншення стінки та дорновання; точності технологічного процесу штампування заготовок корпусів гідроциліндрів; методу автоматизованого проектування операції дорновання. На підставі результатів дослідження розроблені та освоєні технології штампування точних заготовок корпусів гідроциліндрів. Нові технології прийняті до промислового впровадження, приводяться дані про їх ефективність.

Ключові слова: штампування, напівгаряче витягнення в стоншення стінки, дорновання, зусилля, деформованість, точність, шорсткість поверхні, ресурсозберігання.

44/311

## ABSTRACT

Semenyaka L.I. Development, research and mastering of technological process stamping of precision blanks of the hydraulic cylinder bodes.

Dissertation for the scientific degree of the candidate of technical sciences on a speciality 05.03.05 - processes and machines for pressure treatment, East Ukrainian State University, Lugansk, 1996. The manuscript.

8 scientific papers and 1 patents being defended which contain the theoretical research of force and deformation regimes of mendrelling; experimental researches of geometrical parameters in operations warm drawing with ironing of a wall and mendrelling; accuracy of technological process stamping of blanks of the hydraulic cylinder bodes; a technique of automated designing of operation mendrelling. On the basis of results of researches technologies stamping of precision of blanks of the hydraulic cylinder bodes are developed and mastered. The new technologies are accepted to industrial introduction. Data on their efficiency are caused.

Key words: stamp, warm drawing with ironing, mendrelling, force, deformability, accuracy, surface roughness, saving-resource.

*Deels-*

Подписано к печати 4.01.97. Формат 60x84.1/16, п.л. 1.0.  
Заказ 2. Тираж 100 экз.