

05.16.05
П 371

Контрольный
экземпляр

На правах рукописи



ПЛАКСИН Антон Викторович

**СОЗДАНИЕ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ
ШТАМПОВКИ ПОКОВОК ФЛАНЦЕВ ВОРОТНИКОВЫХ
НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ СХЕМЫ ДЕФОРМАЦИИ**

Специальность 05.16.05 – «Обработка металлов давлением»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск
2009

Работа выполнена на кафедре «Машины и технологии обработки материалов давлением» Южно-Уральского государственного университета

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор **Б.Г. Каплунов**.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор **А. В. Коновалов**
(Российская академия наук
Уральское отделение, институт
машиноведения, г. Екатеринбург),

кандидат технических наук
А. А. Довбня
(Уральский государственный технический
университет – УПИ, г. Екатеринбург).

Ведущая организация – Институт машиноведения и металлургии ДВО РАН.

Защита состоится **23 декабря 2009 г.**, в 14:00, на заседании специализированного диссертационного совета Д 212.298.01 при ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 1001.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».

Текст автореферата размещен на сайте университета:

<http://www.susu.ac.ru/>

Отзывы на реферат (один экземпляр, заверенный печатью) просим направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ, ученый совет. тел., факс (351) 267-91-23.

Автореферат разослан «__» ноября 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.298.01
профессор, д. ф.-м. н.



Д.А. Мирзаев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Значительную долю продукции отечественного и зарубежного рынка трубопроводной арматуры составляют стандартные фланцы приварные встык по ГОСТ 12815-80/ГОСТ 12821-80. Для обеспечения конкурентоспособности этого вида изделия производителям необходимо постоянно снижать производственные затраты. Одним из основных направлений обеспечения рентабельности изготовления фланцев является применение ресурсосберегающих технологий, как на заготовительном переделе, так и при механообработке. Создание технологии штамповки поковок фланцев, обеспечивающей устранение наиболее трудоемкой операции обработки – расточки проходного отверстия, сокращает издержки производства, что и определяет актуальность данной работы.

Цель работы: разработка способа изготовления поковок фланцев воротниковых с чистовым проходным отверстием, научное обоснование комбинированной схемы деформации и принципов проектирования переходов формоизменения, освоение ресурсосберегающей технологии штамповки в производстве.

Задачи работы:

1. Создать способ штамповки фланцев воротниковых без припуска и напусков на проходное отверстие поковки, реализуемый на универсальном кузнечно-прессовом оборудовании.

2. Разработать принципы проектирования переходов и инструмента деформации для нового процесса штамповки.

3. Исследовать в программной среде РАПИД-2D влияние основных конструктивно-технологических и температурно-деформационных факторов на качество формообразования и энергосиловой режим штамповки поковок фланцев с чистовым проходным отверстием.

4. Выполнить экспериментальную проверку результатов компьютерного моделирования и качества реализации нового процесса деформации в лабораторных и производственных условиях, уточнить подходы к проектированию переходов штамповки.

5. На основе установленных закономерностей формоизменения и условий получения бездефектных фланцев сформировать научные основы осуществления способа и принципы управления качеством поковок, обобщить результаты исследования в виде методики проектирования новой технологии штамповки.

6. Разработать электронную модель новой технологии штамповки, обеспечивающую автоматизированное проектирование переходов и инструмента деформации.

7. Использовать результаты исследования для подготовки и освоения промышленной технологии штамповки поковок фланцев воротниковых с чистовым проходным отверстием.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– предложена и описана в параметрическом виде комбинированная схема деформации: прошивка-раздача-вытяжка/выдавливание-калибровка (ПРВК), реализующая новый способ штамповки фланцев воротниковых;



– создана в среде САЕ-системы RAГИД-2D и верифицирована расчетная модель процесса ПРВК, учитывающая фактические температурно-деформационные условия осуществления способа и точно отображающая геометрию инструмента деформации;

– установлено влияние геометрии типоразмеров стандартных фланцев воротниковых и конструктивно-технологических параметров ПРВК на закономерности предварительной и окончательной деформации;

– определены параметры управления качеством окончательного формообразования фланцев и установлена их взаимосвязь с классификационными группами предварительных поковок.

Практическая значимость:

– определена область применения нового способа штамповки и даны рекомендации по выбору кузнечно-прессового оборудования для технологии ПРВК;

– разработана методика технологического проектирования процесса ПРВК для поковок мелких и средних фланцев воротниковых;

– создан в среде САD-системы Pro/ENGINEER электронный проект-модель для интерактивной автоматизированной конструкторско-технологической подготовки технологии ПРВК;

– предложена и применена виртуальная модель жизненного цикла фланцев воротниковых с чистовым проходным отверстием, способствующая управлению качеством поковок в технологии ПРВК;

– разработаны конструкции штампового инструмента для реализации технологии ПРВК, обобщен опыт ее освоения и внедрения в кузнечно-штамповочное производство.

Реализация работы. Создание, исследование и освоение ресурсоэкономной технологии штамповки поковок фланцев воротниковых выполнялась в соответствии с тематикой договорных научно-исследовательских работ Южно-Уральского государственного университета: № 2002 332 «Разработка и оптимизация ресурсоэкономных технологий штамповки поковок фланцев трубопроводной арматуры и деталей новых изделий» и № 2003 032 «Разработка новых технологий горячей штамповки прогрессивных поковок фланцев трубопроводов и ступиц транспортных машин» с ОАО «Курганский машиностроительный завод»; № 2008 138 «Научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы» с ООО «Кузнечно-прессовый завод «Русич». С использованием результатов исследования в условиях Кузнечного завода ОАО «Курганский машиностроительный завод» осуществлено освоение и внедрение технологии штамповки фланцев воротниковых с чистовым проходным отверстием одиннадцати наименований, обеспечившее сокращение расхода металла на 6...10 % и трудоемкости последующей обработки резанием на 20...38%;

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на XXXIII Уральском семинаре по механике и процессам управления (г. Миасс, 2003 г.), на I-й Российской конференции по кузнечно-штамповочному производству «Кузнецы Урала-2005» (г. Верхняя Салда, 2005 г.), на конференции «Новей-

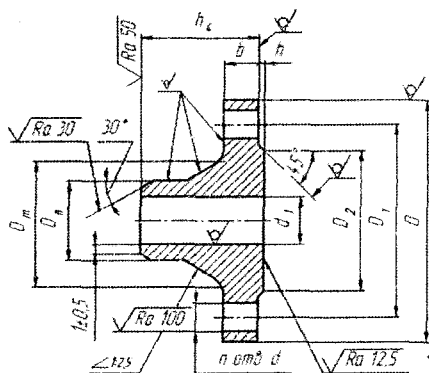
шие технологии компании РТС для автоматизации разработок и технической подготовки производства» (г. Челябинск 2005 г.), на 65 научно-технической конференции, посвященной 75-летию Магнитогорского металлургического комбината (г. Магнитогорск, 2007 г.), на VIII Конгрессе «Кузнец-2008» (г. Рязань, 2008 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 3 публикации в изданиях, включенных в список ВАК и получен патент на способ штамповки.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по работе и списка литературы, включающего 77 наименований и приложений. Работа изложена на 200 страницах без учета приложений и содержит 110 рисунков и 27 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе в результате анализа номенклатуры фланцев приварных встык (воротниковых) по ГОСТ 12821-80 (рис. 1) и технических требований, существующих технологий изготовления заготовок фланцев процессами ОМД, методов и приемов снятия штамповочных уклонов, определено направление повышения эффективности производства – создание способа штамповки фланцев воротниковых с чистовым проходным отверстием на основе комбинированной схемы деформации. Выявленная особенность номенклатуры – немонотонность изменения соотношений основных геометрических параметров фланцев, а также



D_v	ГОСТ 12821-80						ГОСТ 12821-80					
	D	D_f	D_2	d	h	h_1	d_f	b	h_2	D_m	D_n	
$P_v\ 1.6\ \text{МПа}\ (16\ \text{кгс/см}^2)$												
40	145	110	88	18	4	3	38	13	42	64	46	
50	160	125	102	18	4	3	49	13	45	76	58	
65	180	145	122	18	4	3	66	15	47	94	77	
80	195	160	133	18	8	3	78	17	50	110	90	
100	215	180	158	18	8	3	96	17	50	130	110	
125	245	210	184	18	8	3	121	19	57	156	135	
150	280	240	212	22	8	3	146	19	57	180	161	
...	
$P_v\ 2.5\ \text{МПа}\ (25\ \text{кгс/см}^2)$												
40	145	110	88	18	4	3	38	16	45	64	46	
50	160	125	102	18	4	3	49	17	45	76	58	
65	180	145	122	18	8	3	66	19	50	94	77	
80	195	160	133	18	8	3	78	19	52	110	90	
...	

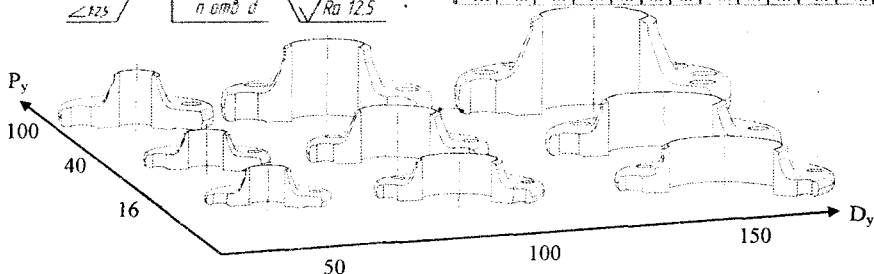


Рис. 1. Типоразмеры стандартных фланцев воротниковых

сложность схемы деформации, потребовала в качестве основного метода исследования нового способа принять компьютерное моделирование формоизменения. Проведенный аналитический обзор современных методов и программ расчета процессов деформаций, позволил выбрать для моделирования систему научного и инженерного анализа РАПИД-2D. Определены цели и задачи работы.

Во второй главе предложен и комплексно исследован новый способ штамповки фланцев воротниковых, что обеспечило разработку научно обоснованной методики проектирования переходов деформации, позволило определить параметры и принципы управления качеством поковок фланцев.

Изготавливаемые по традиционной технологии (рис. 2, а) на универсальном кузнечно-прессовом оборудовании поковки фланцев имеют штамповочные уклоны в проходном отверстии. По новому способу (рис. 2, б) первоначально на ПВШМ или КГШП в открытом ручье формируют предварительную поковку с окончательно оформленным фланцем. Воротниковой части поковки придают предварительную форму: меньшую высоту и больший угол наружной конусности, выполняют наметку отверстия с перемычкой, смещенной к торцу воротника. На обрезающем прессе в последовательном штампе, после обрезки облоя, поковку окончательно деформируют в доделочной матрице комбинированным пуансоном, содержащим прошивной и калибрующий пояс. Здесь формообразование происходит путем частичного снятия (среза) уклона наметки с последующей прошивкой перемычки, сопровождаемое удлинением воротниковой части при одновременной раздаче и калибровке проходного отверстия. В процессе комбинированной деформации часть металла уклона перераспределяется в тело поковки,

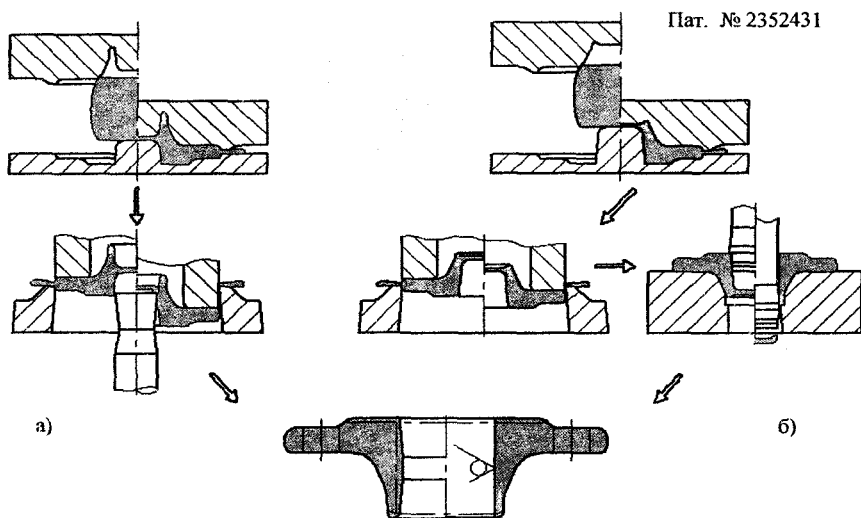


Рис. 2. Технологические схемы штамповки фланцев воротниковых: традиционная (а), новая (б)

что наряду с получением чистового отверстия снижает расход металла. В соответствии со схемой окончательной деформации: прошивка–раздача–вытяжка/ выдавливание–калибровка способ получил название ПРВК.

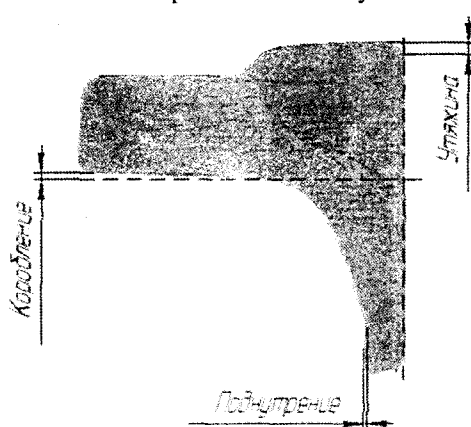


Рис. 3. Темплет опытной поковки фланца

Первые опробования способа подтвердили возможность получения поковок фланцев с проходным отверстием, не требующим последующей обработки резанием, при благоприятной макроструктуре (рис. 3). Одновременно было выявлено, что окончательное формоизменение может сопровождаться утяжиной присоединительного торца, короблением фланцевой части, образованием кольцевого поднутрения на горловине воротника. Кроме того возможно образование тянутого заусенца в проходном отверстии. В случае превышения допустимых значений указанные дефекты ведут к браку фланцев.

С целью обеспечения качественного формоизменения разработана методика проектирования процесса ПРВК. В основу методики положена схема построения переходов штамповки, включающая конструкции окончательной и предварительной поковки (рис. 4, а, б), принцип согласования их геометрии (рис. 4, в). Схема содержит четыре управляющих параметра: α_p , n , α_n , c (рис. 3, б, в), определяющих конструкцию предварительной поковки. Изменение этих параметров относительно «базового варианта» проектирования процесса позволяет достичь требуемого качества окончательного формоизменения для конкретного типоразмера фланца.

Согласно схеме проектирование переходов начинается с конструирования окончательной поковки (рис. 4, а), которая разрабатывается по чертежу стандартного фланца в соответствии с требованиями ГОСТ 7505-89. Припуски назначаются только на торцовые поверхности поковки. Проходное отверстие выполняется без припуска и штамповочных уклонов с диаметром чистового размера d_1 , допуск на который устанавливается соответственно требуемому классу точности (Т4) штампованной поковки. Радиусы скругления наружных и внутренних углов поковки принимаются исходя из плавности сопряжения поверхностей.

Поковка предварительная (рис. 4, б) проектируется на основе геометрии окончательной поковки. Она отличается от нее формой и размерами только воротникового участка. Поверхность разреза открытого штампа назначается по середине толщины фланца поковки. Наружный контур воротника образуется двумя плавно сопрягаемыми коническими поверхностями. Первая – основная – выполняется под углом $22^\circ + \alpha_p$, где α_p – угол раздачи, необходимый для смягчения силового режима окончательной деформации. Вторая – внешняя поверхность горловины выполняется под углом 7° . В предварительной поковке назначается двусторон-

няя наметка под прошивку отверстия с перемычкой, смещенной к торцу воротника. Диаметры оснований наметок равны размеру проходного отверстия d_1 . Глубина малой наметки h_m определяет положение перемычки и задается в долях толщины s параметром n . Величина s назначается по известным рекомендациям. Штамповочный уклон основной наметки — α_n .

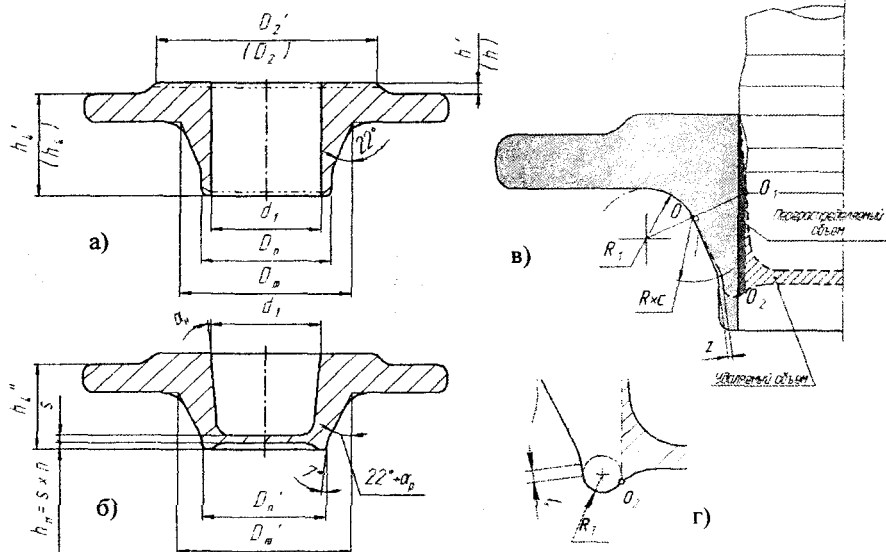


Рис. 4. Схема к построению переходов ПРВК: окончательная (а) и предварительная (б) поковки; схема согласования переходов (в); параметры горловины предварительной поковки (г)

Построение наружного контура воротника предварительной поковки выполняется при допущении о пластическом повороте части сечения, ограниченной линией OO_1O_2 (рис. 4, в) и подвергается раздате в начальной стадии ПРВК. Центр поворота сечения O принимается в точке сопряжения образующей конуса предварительной поковки с радиусом R_1 . Точка O_1 — место внедрения прошивного пояса комбинированного пуансона, лежит на пересечении перпендикуляра, восстановленного из O , с уклоном основной наметки отверстия. Для определения точки сопряжения конической образующей и горловины воротника из точки O проводится дуга радиусом $R \times c$. Величина R определяется точкой пересечения конической (22°) и цилиндрической, образующих воротника окончательной поковки. Место пересечения указанной дуги с основной конической образующей воротника предварительной поковки дает точку сопряжения с горловиной. Введенный в схему параметр сопряжения c позволяет при проектировании управлять высотой основного конического участка воротника. Наименьшее возможное значение c определяется для конкретного типоразмера фланца по условию обеспечения ми-

нимального зазора z на укладку предварительной поковки в доделочную матрицу (рис. 4, в).

Высота предварительной поковки h_4 вычисляется из условия постоянства объема на предварительном и окончательном переходе при учете снимаемого с уклона металла, удаляемой перемычки (рис. 4, в). Принято, что объем металла, удаляемый в отход прошивкой, ограничивается поверхностью среза, определяемой по вертикальной линии O_1O_2 . Оставшаяся часть уклона должна быть перераспределена в воротник фланца при окончательной деформации. В базовом варианте проектирования переходов ПРВК принято: $\alpha_p=4^\circ$, $n=0$, $\alpha_n=5^\circ$, $c=1$.

Обоснование предложенной схемы построения переходов и выбора управляющих параметров выполнено на основе результатов математического моделирования процесса ПРВК. Для этого в известной системе расчета горячих пластических деформаций РАПИД-2D сформирована модель технологии ПРВК, включающая геометрию инструмента и заготовки, а также условия и порядок выполнения расчетов. При исследовании ПРВК моделировались все переходы деформации: осадка исходной заготовки, предварительная и окончательная штамповка. Пошаговые расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) и конечного формоизменения выполнялись методом конечных элементов совместно с решением температурной задачи. Учитывалось остывание заготовки до деформации, между переходами и при деформации. Основные расчеты выполнены с использованием реологических свойств стали 20, наиболее широко применяемой для изготовления фланцев. Трение на контактных поверхностях принималось максимальным, что соответствует условиям горячей деформации. Скоростные условия деформации отвечали штамповке на молотовом и прессовом оборудовании.

Тестовые расчеты нового процесса показали выявляемость дефектов формы ПРВК, а также соответствие получаемых результатов имеющимся представлениям о НДС и силовом режиме горячей штамповки. Количественная оценка величин рассматриваемых дефектов выполнялась путем замера в САД-системе отклонений формы расчетного контура поковки (рис. 5).

Компьютерным моделированием исследовалось влияние четырех групп конструктивно-технологических факторов на характер предварительного, окончательного формоизменения и силовой режим. Для этого в расчетах варьировались

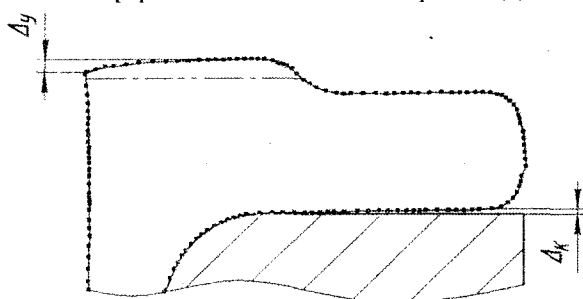


Рис. 5. Расчетный контур поковки фланца

параметры схемы построения переходов и условия моделирования относительно базового варианта процесса.

Соотношения геометрических параметров фланца. Данная группа факторов определяется типоразмером стандартного фланца. Моделированием процесса для ряда наибо-

лее распространенных (P_Y16 D_Y50, P_Y16 D_Y80, P_Y16 D_Y100, P_Y16 D_Y125, P_Y16 D_Y150) и ряда дополнительных типоразмеров мелких и средних фланцев установлено определяющее геометрическое соотношение – относительная высота стандартного фланца h/d_1 . С ее уменьшением происходит интенсификация утяжинообразования и коробления. Для поковок фланцев с $h/d_1 < 0,39$ утяжина превышает допустимую величину поверхностных дефектов. По данному соотношению фланцы разделены на относительно «низкие» $h/d_1 < 0,39$, «высокие» $h/d_1 > 0,39$ и «средние» $h/d_1 \approx 0,39$. Для «высоких» фланцев исследуемый процесс обеспечивает получение качественных поковок. Наиболее благоприятной для реализации ПРВК является номенклатура фланцев с $h/d_1 > 0,6$. Для «средних» фланцев с отношением $h/d_1 = 0,39$ и близким к нему возможность осуществления процесса не исключена, но требуется корректировка параметров проектирования предварительнойковки относительно базового варианта. Штамповка «низких» фланцев по технологии ПРВК практически исключена из-за возникновения зажимов на предварительном переходе и больших искажений формы поковки на окончательном. Исходя из этого область применения способа ПРВК (рис. 6) по относительным размерам ограничена номенклатурой фланцев с $h/d_1 \geq 0,39$.

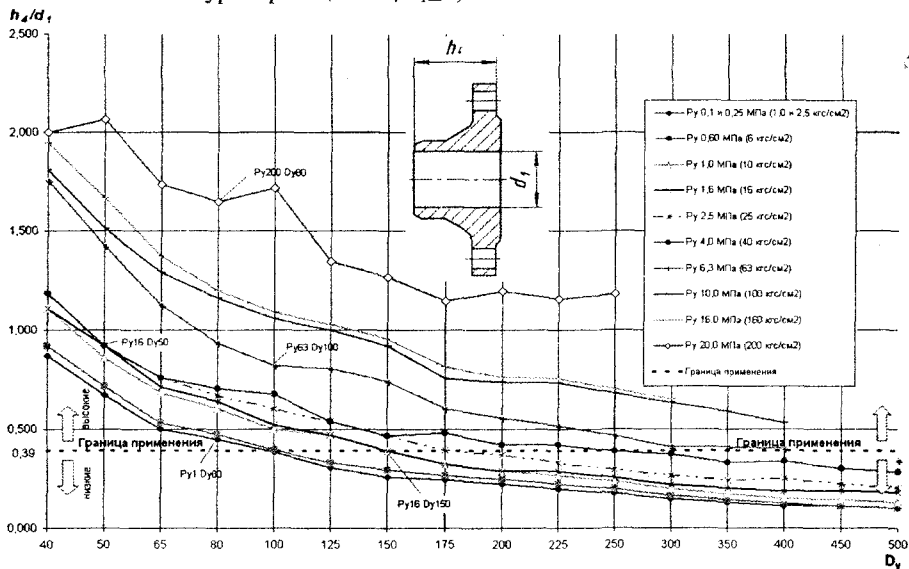


Рис. 6. Область применения способа ПРВК для штамповки поковок фланцев воротниковых

Параметры проектирования предварительнойковки. Для исследования влияния этой группы факторов и последующих выбраны поковки-представители «высоких» P_Y16 D_Y50 и «средних» P_Y16 D_Y150 фланцев. Установлено, что определяющее значение на качество окончательного формообразования при ПРВК оказывают угол наметки α_n и раздачи α_p , параметр глубины малой наметки l и со-

пряжения конических образующих s . С увеличением каждого из параметров: α_n , α_p и s проявляется тенденция к росту утяжины и коробления. Параметр n влияет на образование поднутрения, которое минимизируется при $n=0$, т.е. при отсутствии малой наметки.

Параметры инструмента окончательной деформации. Проверена и подтверждена необходимость совмещения калибрующего и прошивного элементов в одном инструменте – комбинированном пуансоне. Конструкция пуансона должна обеспечивать одновременное внедрение прошивного и калибрующего поясков в наметку отверстия. Определены правила построения этих элементов. Обоснована конструкция доделочной матрицы без рабочей кромки.

Технологические параметры. Установлено влияние контактного трения, скорости деформирования, реологических свойств обрабатываемого материала и температурного режима штамповки на характер окончательного формоизменения. Использование кривошипных обрезных прессов для ПРВК обеспечивает приемлемый по качеству оформления поковок скоростной режим деформирования. Снижение контактного трения и температуры полуфабриката на доделочной операции ПРВК может служить дополнительным средством минимизации утяжинообразования. Расчетным путем показано, что закономерности формообразования на переходах ПРВК, установленные для стали 20, справедливы и для других углеродистых сталей, применяемых для изготовления фланцев воротниковых.

Для проверки основных результатов математического моделирования ПРВК и уточнения характера окончательного формоизменения выполнены экспериментальные исследования. В лабораторных условиях на сплошных и составных с координатной сеткой свинцовых образцах моделировались в масштабе 1:1 переходы ПРВК для типоразмера фланца $P_{y16} D_{y50}$. Проведено три серии опытов. В первой опробовалась схема ПРВК с двусторонней наметкой в предварительной поковке при использовании доделочной матрицы с рабочей кромкой. Сопоставление конечного вида деформированной экспериментальной и расчетной сетки (рис. 7) подтвердило положенный в схему построения переходов ПРВК принцип перераспределения объемов и допущение о положении линии среза. Во второй серии опытов осуществлялась проверка результатов расчетов, указывающих на минимизацию поднутрения при использовании предварительной поковки с односторонней наметкой. Окончательное формообразование из полуфабриката такой конструкции показало отсутствие поднутрения на горловине, что подтвердило достоверность данных моделирования. В третьей серии опытов в лабораторных, а затем в производственных условиях проведено опробование окончательной деформации в доделочной матрице без рабочей кромки. Подтверждена возможность качественного отделения перемычки при обеспечении полноты оформления горловины воротника. Образцы, полученные в данных экспериментах, имели наилучшее, по сравнению с другими сериями опытов, качество оформления. В целом экспериментальные исследования показали, что результаты компьютерных расчетов отражают характер формоизменения с достаточной для практики точностью и могут быть использованы для прогнозирования качества поковок в процессе ПРВК.

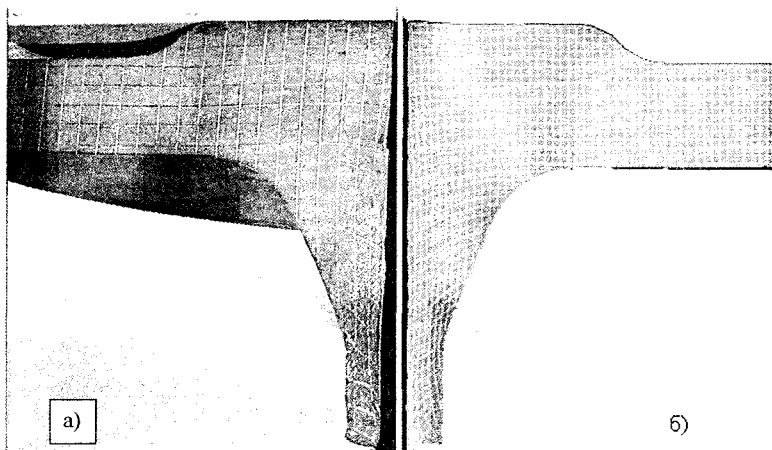


Рис. 7. Деформированная экспериментальная (а) и расчетная (б) координатная сетка

Проведенное комплексное исследование позволило выявить стадии окончательного формоизменения, основные закономерности и силовой режим процесса ПРВК. Установлено, что образование утяжины и коробление происходит на первой и второй стадиях (рис. 8, а, б) с момента одновременного внедрения прошивного и калибрующего пояска в наметку отверстия (рис. 8, а) и до окончания раздачи – полного контакта воротника со стенкой матрицы. Режущая кромка пуансона при этом достигает основания перемычки (рис. 8, б). Завершение второй стадии характеризуется максимальным значением силы деформации. Наличие этапа раздачи позволяет снизить ее на 10...15% и тем самым создать благоприятные условия для выполнения ПРВК на механических обрезных прессах.

Третья стадия (рис. 8, б, в) определяет характер отделения перемычки и формирует условия для возможного образования поднутрения на горловине при дальнейшей деформации. На этой стадии имеет место внедрение режущей кромки в основание перемычки, сопровождаемое вытяжкой и утонением стенки горловины, снижением силы ПРВК. Одновременно с вытяжкой происходит выдавливание металла из полости конусного участка матрицы калибрующим элементом пуансона. Выдавливаемый металл «подпитывает» формируемую горловину и тем самым компенсирует возникающее утонение стенки. В зависимости от геометрии воротника предварительной поковки на данной стадии возможно преобладание деформации вытяжкой горловины или выдавливанием. Стадия заканчивается контактом формируемого торца воротника с рабочей кромкой матрицы при минимальной силе штамповки.

На четвертой и пятой стадиях (рис. 8, б, г) происходит срез перемычки и окончательное оформление горловины воротника. К моменту разделения металла сила вновь возрастает, а затем плавно снижается. В экспериментах для типоразмера поковки Р_у16 D_у50 показано, что качественное отделение перемычки воз-

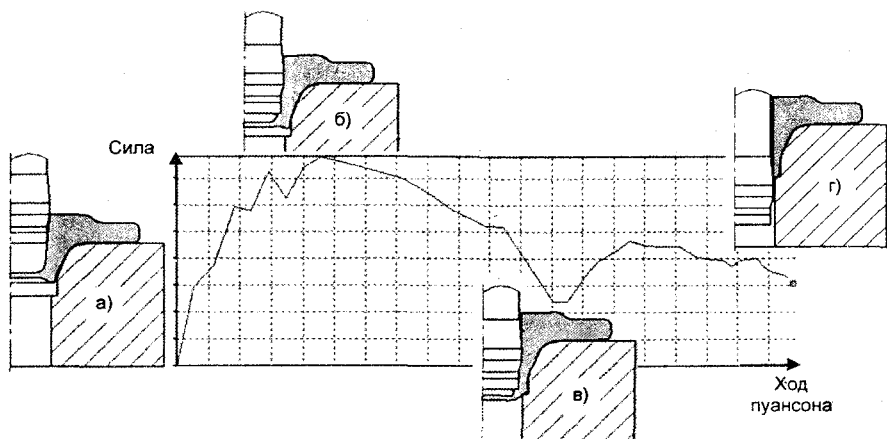


Рис. 8. Стадии и сила процесса ПРВК

можно и без участия рабочей кромки доделочной матрицы. Этот факт позволил предложить осуществлять ПРВК в доделочной матрице без рабочей кромки. В отличие от первоначальной – «закрытой» такая схема ПРВК получила название «открытой». Данная схема позволяет за счет свободного оформления высоты воротника компенсировать возможный избыток металла в стенке предварительной поковки и тем самым избежать образования тянутого заусенца. Применение «открытой» схемы для других типоразмеров фланцев потребовало проверки возможности бездефектного отделения перемычки.

Анализ расчетных характеристик НДС, определяющих ресурс пластичности металла, позволил в качестве критерия, прогнозирующего характер отделения, принять интенсивность скоростей деформаций сдвига (H). На стадии разделения расчетное поле H имеет максимум вблизи режущей кромки пуансона (рис. 9, светлая область). От нее вдоль возможных направлений разделения (по ходу пуансона и в стенку горловины) формируются две зоны, которые характеризуются высоким уровнем значений H (рис. 9, а, б). Установлено, что при прочих равных условиях разделение будет происходить по зоне с наибольшими значениями H (рис. 9, в). Это позволяет по качественной картине поля интенсивности скоростей деформаций сдвига прогнозировать направление отделения перемычки. Выявлено, что для «открытой» схемы ПРВК фактором, влияющим на характер отделения перемычки, является степень развитости горловины предварительной поковки. Развитость определяется показателем l_k/R_T (см. рис. 4, г), где l_k – длина образующей горловины предварительной поковки, R_T – радиус скругления торца. При вырожденности горловины ($l_k/R_T < 1$) окончательное ее формирование происходит преимущественно выдавливанием и характеризуется распределением H с наиболее высоким уровнем значений в направлении хода пуансона (рис. 9, а), что прогнозирует качественное отделение перемычки в матрице без рабочей кромки.

Таким образом, предварительные поковки фланцев можно условно разделить на поковки с развитой и вырожденной горловиной. В первом случае это поковки с $l_n/R_T > 1,5 \dots 2,0$. Во втором случае $l_n/R_T < 1$. Для поволок с вырожденной горловиной следует использовать «открытую» схему ПРВК. Если горловина спроектированной предварительной поковки получается развитой, то необходимо использовать только «закрытую» схему (рис. 9, в).

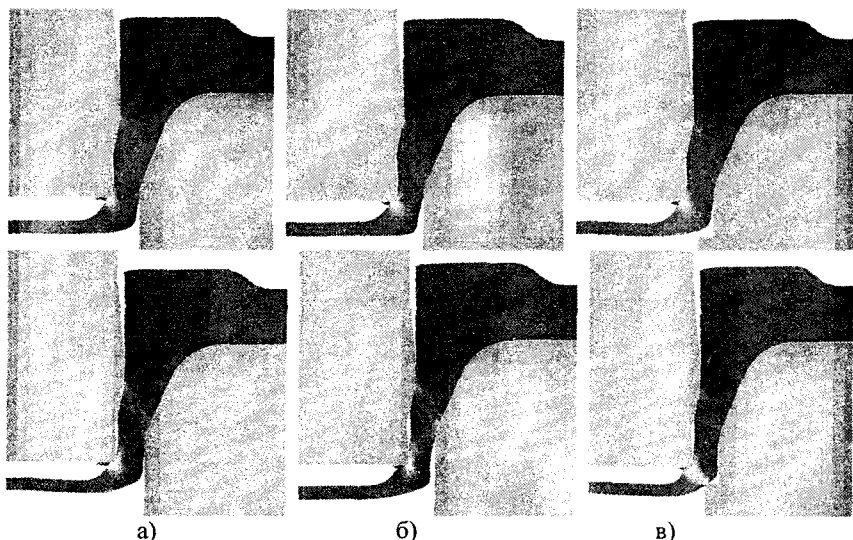


Рис. 9. Картина поля интенсивности скоростей деформаций сдвига на стадии отделения перемычки при «открытой» схеме ПРВК для предварительной поковки с вырожденной (а) и развитой (б) горловиной воротника и «закрытой» схеме (в)

На основании установленных закономерностей формоизменения при ПРВК предложена классификация предварительных поволок по двум параметрам. Первый из них – относительная высота фланца (h_f/d_f). Второй параметр классификации – степень развитости горловины предварительной поковки – определяется показателем l_n/R_T (см. рис. 4, г). В соответствии с данными критериями определены четыре группы предварительных поволок: «средние» с развитой (рис. 10, а) и вырожденной горловиной (рис. 10, б); «высокие» с развитой (рис. 10, в) и вырожденной горловиной (рис. 10, г). Анализ влияния управляющих параметров на характер окончательного формоизменения позволил для каждой группы предварительных поволок определить рациональные варианты их конструкций (табл. 1), повышающие качество процесса.

Результаты исследования систематизированы в виде методики проектирования процесса ПРВК, включающей ряд этапов (рис. 11). На первом этапе осуществляется проектирование окончательной поковки. Далее по принятой схеме построения и согласования переходов разрабатывается конструкция базового вари-

анта предварительной поковки с односторонней наметкой. Затем на основе созданной классификации определяется ее группа. По классификационной группе, используя приведенные в таблице 1 рекомендации по минимизации дефектов формы, осуществляется выбор вариантов конструкции предварительной поковки, обеспечивающих повышение качества окончательного формоизменения. С целью

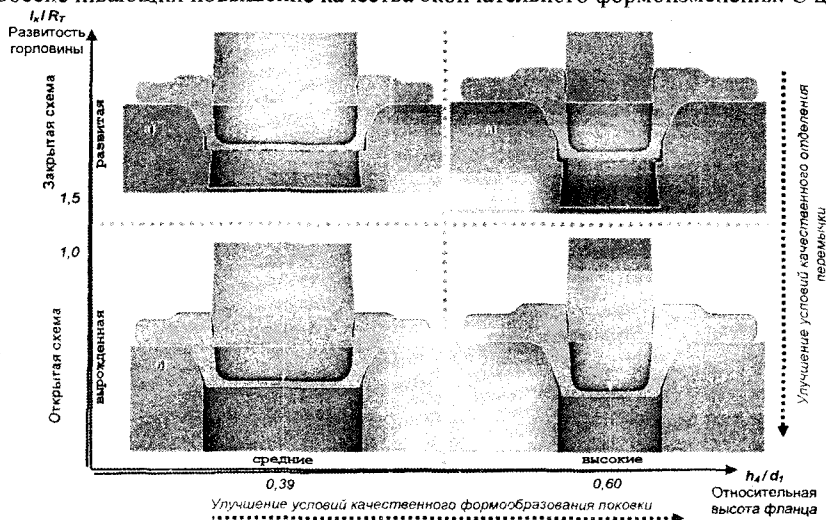


Рис. 10. Классификация конструкций предварительных поковок и схем ПРВК

Таблица 1

Рациональные варианты конструкции предварительной поковки

№	Управляющие параметры	Характеристика варианта
1.	$\alpha_p=4^\circ; \alpha_n=5^\circ; n=0; c=1$	Базовый (группа «а», «б», «в», «г»)
2.	$c=c_{\min}$	Минимизирующий поднутрение, утяжину и коробление («а», «б», «в», «г»)
3.	$\alpha_p=2^\circ; c=c_{\min}$	Реализующий «открывающую» схему ПРВК («б», «г») при: – минимизации поднутрения, утяжины и коробления; – уменьшения развитости горловины (I_n/R_T).
4.	$\alpha_n=3..4^\circ; c=c_{\min}$	Реализующий «закрывающую» схему ПРВК («а», «в») при: – минимизации поднутрения, утяжины и коробления; – увеличения развитости горловины (I_n/R_T).
5.	$\alpha_n=6^\circ; c=c_{\min}$	Для «высоких» фланцев, реализующий «открывающую» схему ПРВК («г») при: – минимизации поднутрения; – уменьшения развитости горловины (I_n/R_T).

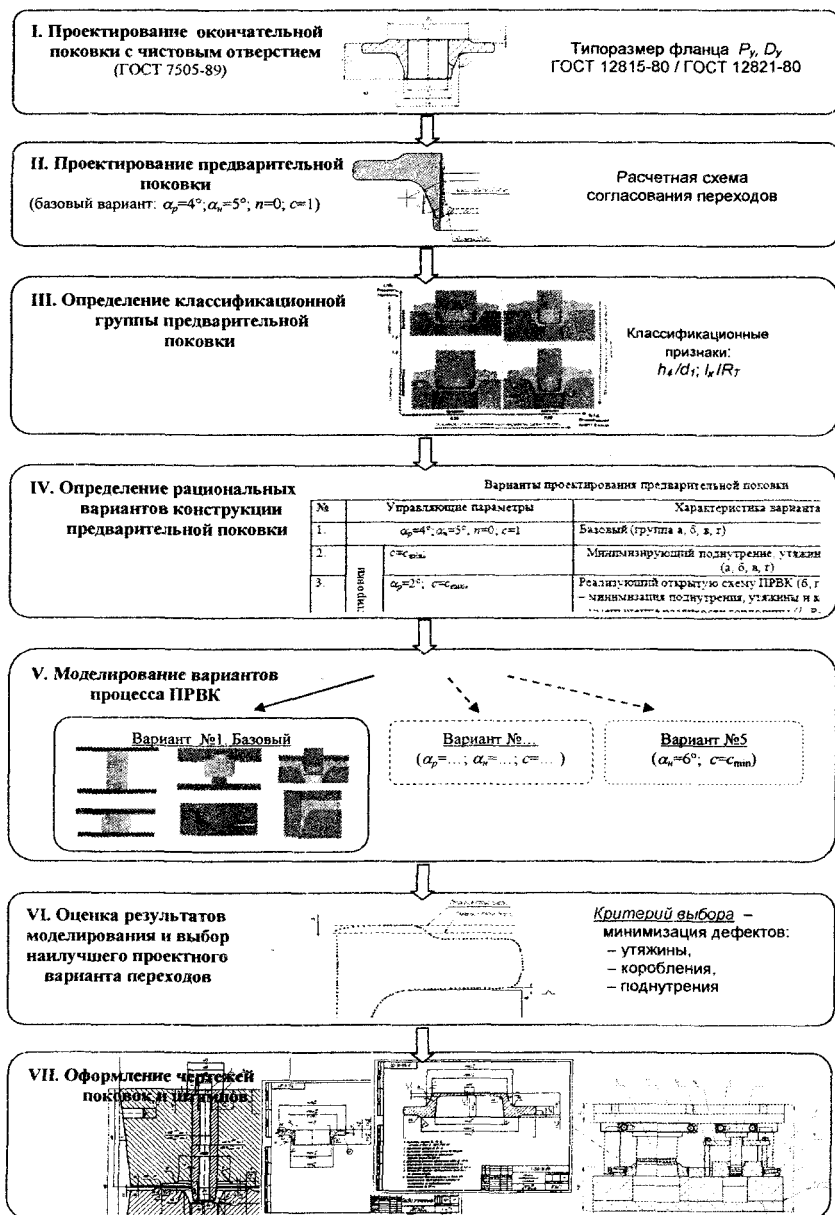


Рис. 11. Этапы проектирования процесса ПРВК

достижения наилучшего проектного решения необходимо выполнить в САЕ-системе моделирование процесса ПРВК для рассматриваемых вариантов (включая базовый) и выбрать из них, сопоставляя расчетные контуры, наиболее качественный. На заключительном этапе разработки для принятого варианта ПРВК оформляется необходимая конструкторско-технологическая документация.

Третья глава посвящена созданию электронного проекта-модели процесса ПРВК, потребность в котором вызвана необходимостью проектирования нескольких вариантов предварительной поковки и соответствующих гравюр ковочного штампа, а также рабочих частей доделочного инструмента. Для снижения трудоемкости проектирования и обеспечения его качества требуется иметь инструмент автоматизированной подготовки новой технологии – электронную модель.

Модель процесса ПРВК выполнена в виде проекта в системе Pro/ENGINEER. Структурно проект состоит (рис. 12) из ассоциативно связанных между собой математических моделей: фланца воротникового, предварительной (ПП) и окончательной (ОП) поковки, исходной заготовки, пуансона комбинированного (ПК), матрицы доделочной (МД), верхней (ГВ) и нижней (ГН) гравюр предварительного штампа. Указанные объекты созданы в соответствии со схемой построения переходов и установленными правилами конструирования инструмента ПРВК. Они построены на базе твердотельной геометрии. Модели инструмента деформации отражают геометрию рабочих частей. Разработка проекта выполнена с использованием только стандартных средств и функций данной системы. Внешние приложения не используются.

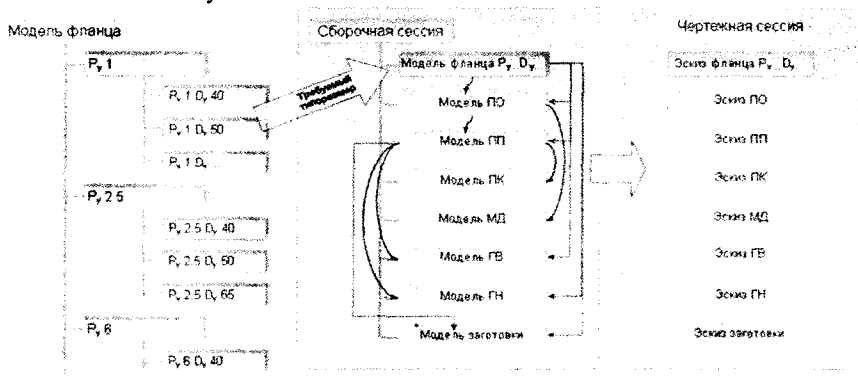


Рис. 12. Структурно-функциональная схема электронного проекта технологии ПРВК в среде Pro/ENGINEER: \dashrightarrow – передача параметров; \longrightarrow – передача геометрии

Исходной моделью проекта является «родовая» (обобщенная) геометрическая модель фланца, все размеры которой заданы параметрически. Значения размеров, определяющих типоразмер фланца, занесены в созданную «таблицу семейств» (исполнений). При выборе строки таблицы происходит генерация «инстанций» – варианта исполнения родовой модели. Таким образом, формируется модель конкретного типоразмера фланца.

В сборочной сессии проекта установлена ассоциативная связь между геометрией и параметрами моделей. Сюда помещены все создаваемые в проекте объекты (рис. 13): инстанция модели фланца, предварительная и окончательная поковки, заготовка, верхняя и нижняя гравюра ручки предварительного штампа, пуансон комбинированный, матрица доделочная, Первым компонентом «дерева построения» сборки является инстанция модели фланца. Замена инстанции на другую осуществляется интерактивно через контекстное меню и приводит к автоматическому перестроению остальных компонентов сборки под выбранный типоразмер. На поле графического окна системы вынесены основные параметры процесса ПРВК, где они доступны пользователю для ввода значений в интерактивном режиме.

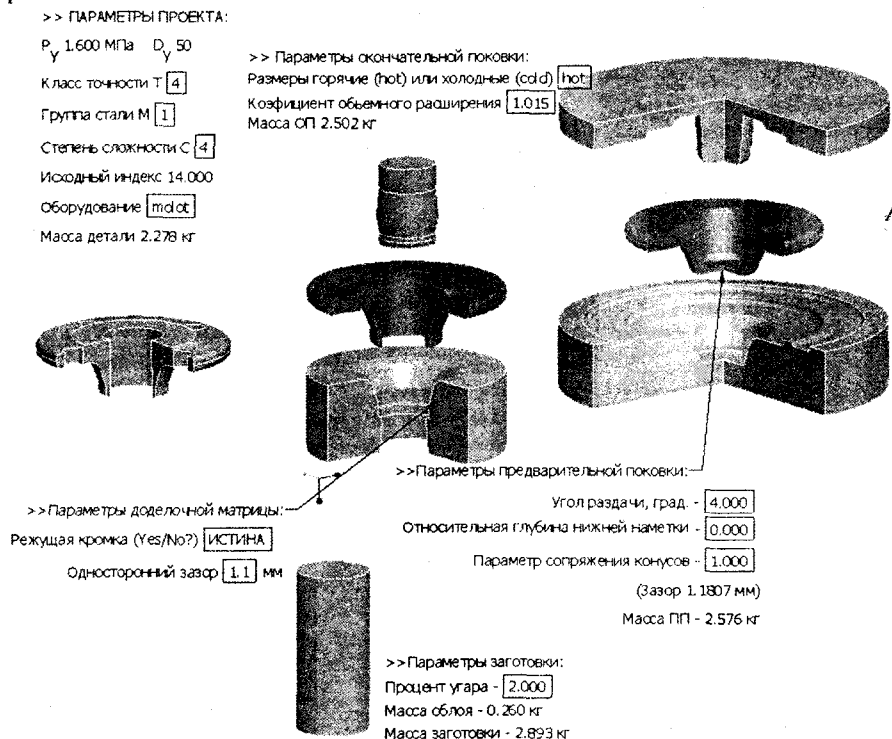


Рис. 13. Модели проекта процесса ПРВК

Чертежная сессия проекта предназначена для создания фрагментов чертежей фланца, поковок и инструмента деформации. Фрагменты представляют собой эскизы, содержащие все необходимые для контроля поковок и изготовления штампового инструмента размеры, ассоциативно связанные с 3D-моделями.

Окончательное оформление чертежей поковок и штампов на основе их эскизов осуществляется пользователем проекта посредством соответствующего инструментария Pro/ENGINEER или в любой другой CAD 2D-системе. Для этого необходимо сохранить полученные эскизы поковок и рабочих частей инструмента в файлах соответствующих форматов.

Генерируемые в проекте эскизы рабочих частей инструмента использовались для создания расчетной модели процесса ПРВК. Для этого они экспортировались в систему РАПИД-2D, что позволило существенно снизить трудоемкость формирования вариантов расчета переходов.

Четвертая глава посвящена промышленному внедрению технологии ПРВК на Кузнечном заводе ОАО «Курганмашзавод». На основе результатов исследования и условий производства для освоения технологии выбран ряд типоразмеров мелких и средних фланцев воротниковых: $P_{y16} D_{y40}$, $P_{y16} D_{y50}$, $P_{y16} D_{y80}$, $P_{y16} D_{y100}$, $P_{y16} D_{y125}$, $P_{y16} D_{y150}$, $P_{y40} D_{y50}$, $P_{y40} D_{y80}$, $P_{y40} D_{y100}$, $P_{y40} D_{y150}$, $P_{y63} D_{y80}$.

Конструкторско-технологическая подготовка опытных и серийных технологий проведена с использованием электронного проекта ПРВК, обеспечившего получения чертежей поковок и штамповой оснастки, сведений о расчетных заготовках. Проектные решения проверялись на качество формоизменения моделированием процесса в системе РАПИД-2D.

Реализация технологии ПРВК произведена на агрегатах: КГШП 25 МН – пресс обрезной 4 МН (К9536); ПВШМ 3 т и 5 т – обрезные пресса 4 (К9536) и 6,3 МН (К9538) соответственно. Для данного оборудования изготовлены промышленные молотовые, прессовые и доделочные штампы (рис. 14, а, б). Конструкция последних представляет собой специальные 2-х позиционные блоки со сменными рабочими деталями на фиксированный диапазон размеров фланцев.

Энергосиловой режим ПРВК полностью обеспечивался мощностью используемого обрезного оборудования. Наличие двух переходов доделочной операции не снижало темпа штамповки и производительности агрегата по сравнению с традиционной технологией.

Освоение новой технологии сопровождалось моделью жизненного цикла – эталоном процесса ПРВК, сформированной на основе объектов электронного проекта и созданной расчетной модели. Такой подход позволил оперативно выявлять отклонения технологических факторов и приводить их в соответствие с проектными параметрами для достижения необходимого качества серийных поковок фланцев с чистовым проходным отверстием (рис. 14, в, г).

Анализ информации, полученной при освоении технологии, позволил разработать дополнительные технические мероприятия, направленные на устранение производственных причин, снижающих качество поковок фланцев. С учетом опыта внедрения составлена диаграмма для выбора рационального состава штамповочного агрегата по требуемой мощности основного и габаритам штамповочного пространства доделочного оборудования, учитывающая область применения процесса ПРВК по качеству поковок.

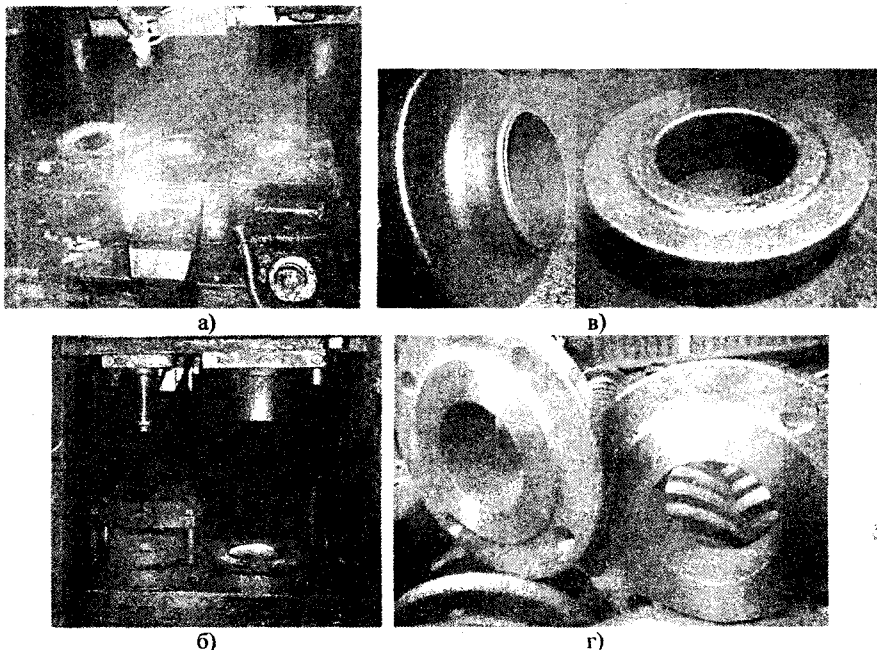


Рис. 14. Промышленные штампы для технологии ПРВК (а, б), поковки фланцев с чистовым отверстием (в), обработанные фланцы воротниковые (г)

В результате серийного освоения технологии ПРВК для указанной номенклатуры фланцев получены следующие технико-экономические показатели. Сокращение времени обработки поволоков фланцев с чистовым отверстием на универсальных металлорежущих станках для отдельных типоразмеров достигало 38%. При обработке поволоков на многошпиндельных горизонтальных и вертикальных полуавтоматах снижение трудоемкости составило 20...37,8%.

Устранение припуска на расточку проходного отверстия, а также использование части металла уклона на оформление поволока фланца, обеспечило сокращение расхода металла в штамповочном производстве. Сравнение затрат металла на изготовление поволоков фланцев по традиционной технологии и ПРВК показало снижение нормы расхода на 6...10%.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Решение актуальной задачи совершенствования технологии изготовления заготовок трубопроводной арматуры обеспечено созданием нового способа и ресурсосберегающей технологии горячей штамповки поволоков фланцев воротниковых на универсальном кузнечно-прессовом оборудовании.

2. Выполненные в работе теоретические и экспериментальные исследования НДС и формоизменения позволили разработать научные и технологические осно-

вы проектирования процесса ПРВК: параметрическую схему построения переходов и инструмента деформации, классификацию предварительных поковок, установить управляющие параметры и рациональные варианты процесса. Сформированная методика проектирования переходов ПРВК обеспечивает возможность управления качеством поковок.

3. На основе результатов исследования и опыта освоения определена область применения технологии ПРВК для изготовления поковок мелких и средних фланцев воротниковых и даны рекомендации по выбору состава оборудования штамповочного агрегата.

4. Созданный электронный проект-модель технологии ПРВК обеспечивает качественное автоматизированное проектирование переходов и инструмента согласно принятой схеме их построения и общим правилам конструирования горячештампованных поковок. Модель содержит управляющие параметры для генерации требуемых вариантов процесса в интерактивном режиме проектирования.

5. Достоверность результатов исследования подтверждена проведенными экспериментами, а также освоением технологии ПРВК для производства ряда типоразмеров поковок фланцев воротниковых с чистовым отверстием.

6. Сопровождение подготовки и освоения новой технологии моделью жизненного цикла, сформированной на основе объектов электронного проекта и расчетной модели процесса ПРВК, повысило ее надежность, способствовало выявлению и устранению причин дефектообразования поковок.

7. Применение технологии ПРВК в производстве на ОАО «Курганмашзавод» обеспечило снижение трудоемкости механообработки поковок фланцев на 20...38 % при сокращении расхода металла на штамповку 6...10%.

8. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением» на кафедре «Технология производства машин» Южно-Уральского государственного университета.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах

1. Разработка и применение программного обеспечения для автоматизированного проектирования и моделирования процессовковки и горячей штамповки / В.С. Чесноков, Б.Г. Каплунов, Н.Е. Возмищев, А.В. Плаксин и др. // Кузнечно-штамповочное производство. – 2008. – № 9. – С. 36–44.

2. Ресурсосберегающие технологии мелкосерийного производства горячештампованных поковок / Б.Г. Каплунов, В.М. Тяжелников, И.Я. Пыжов, А.В. Плаксин и др. // Состояние, проблемы и перспективы развития кузнечно-прессового машиностроения, кузнечно-штамповочного производства и обработки материалов давлением – основы машиностроительного комплекса и национальной безопасности России. Сборник докладов и материалов VIII Конгресса «Кузнец-2008». – Рязань: ООО «Политех», 2008. – С. 240 – 256.

3. Плаксин, А.В. Ресурсосберегающая технология штамповки фланцев / А.В. Плаксин, Б.Г. Каплунов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2007. – № 12. – С. 36–40.

4. Ресурсоэкономные технологии производства горячештампованных поковок / Б.Г. Каплунов, В.М. Тяжелников, А.В. Плаксин, К.В. Анненков // Современные технологии обработки металлов с применением инструментов из сверхтвердых материалов – новые технологии и направления. Труды 5-го международного семинара: Сб. науч. тр. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – Вып. 1. – С. 44–52.

5. Плаксин, А.В. Повышение качества поковок фланцев на основе совершенствования схемы деформации / А.В. Плаксин, Б.Г. Каплунов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2006. – Вып. 8. – № 11 [66]. – С. 148–154.

6. Разработка и применение программного обеспечения для автоматизированного проектирования и моделирования процессовковки и горячей штамповки / Чесноков В.С., Каплунов Б.Г., Возмищев Н.Е., Плаксин А.В. и др. // Кузнечно-штамповочное производство: перспективы и развитие (сб. научных трудов). Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ», 2005. – С. 109–235.

7. Ресурсоэкономные технологии серийного производства горячештампованных поковок / Каплунов Б.Г., Тяжелников В.М., Зуев С.П., Плаксин А.В. и др. // Кузнечно-штамповочное производство: перспективы и развитие (сб. научных трудов). Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ», 2005. – С. 228–235.

8. Плаксин, А.В. Электронная модель новой технологии штамповки поковок фланцев воротниковых / А.В. Плаксин, Б.Г. Каплунов // Наука и технологии. Избранные труды Российской школы. Серия Технологии и машины обработки давлением. – М.: РАН, 2005. – С. 189–193.

9. Каплунов, Б.Г. Ресурсоэкономная технология штамповки поковок фланцев воротниковых / Б.Г. Каплунов, А.В. Плаксин, В.М. Тяжелников // XXIV Российская школа по проблемам науки и технологий, посвященная 80-летию со дня рождения академика В.П.Макеева. Тезисы докладов. – Миасс, Челябин. обл.: РАН, 2004. – С. 97.

10. Плаксин, А.В. Повышение эффективности ресурсоэкономной технологии горячей штамповки на основе моделирования жизненного цикла изделия / А.В. Плаксин, Б.Г. Каплунов, Б.И. Проскураков // Механика и процессы управления. Серия «Проблемы машиностроения». – Екатеринбург: РАН, 2003. – С. 263–267.

11. Плаксин, А.В. Ассоциативное параметрическое проектирование новых переходов штамповки поковок фланцев / А.В. Плаксин, Б.Г. Каплунов // Механика и процессы управления. Серия «Технологии и машины обработки давлением». Труды XXXIII Уральского семинара. – Екатеринбург: РАН, 2003. – С. 38–41.

12. Каплунов, Б.Г. Новая технология штамповки поковок фланцев трубопроводных / Б.Г. Каплунов, А.В. Плаксин, С.В. Зуев // Механика и процессы управления. Серия «Технологии и машины обработки давлением». Труды XXXIII Уральского семинара. – Екатеринбург: РАН, 2003. – С. 30–37.

13. Патент № 2352431 РФ, МПК В21К 1/16, В21J 5/10. Способ штамповки фланцев воротниковых / Б.Г. Каплунов, В.М. Тяжелников, С.П. Зуев, А.В. Плаксин, И.Н. Гиляжев, И.Я. Пыжов. – № 2007111832/02; заявл. 30.03.2007; опубл. 20.04.2009, Бюл. № 11.