

УДК 621.7.043

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОКОВОК С ФЛАНЦЕМ

Бильчук Мария Викторовна

*Студентка 6 курса, магистр 2го года обучения,
Кафедра «Системы пластического деформирования»
ГОУ ВПО Московский Государственный Технологический Университет
«СТАНКИН»*

*Научный руководитель: Е.Н. Сосенушкин,
доктор технических наук, профессор кафедры «Системы пластического
деформирования»*

Актуальность работы

В отечественной промышленности распространены детали типа фланцев. Такие детали широко применяются в различных отраслях промышленности, в частности - в арматуростроении. Отрасль арматуростроения на сегодняшний день вполне продвинута и конкурентноспособна. Однако актуален вопрос повышения эффективности производства и снижения себестоимости изделий арматуростроения.

Номенклатура деталей типа фланцев весьма обширна. Существует ряд технологий штамповки этого вида поковок. Традиционным методом их изготовления является облойная штамповка (штамповка в открытых штампах). Главными преимуществами этого метода являются высокая производительность и возможность получения относительно точных поковок простой формы. Однако у рассмотренного метода есть ряд недостатков:

- увеличенный расход металла, из-за наличия облоя и больших припусков и напусков (низкий коэффициент использования металла). Облой является технологической необходимостью, т.к. он обеспечивает заполнение полости штампа, но потери металла при штамповке могут достигать 25% и более. Наличие облоя увеличивает силу деформирования и требует дополнительного оборудования для проведения операции обрезки;

- потребность в сравнительно больших технологических силах, из-за воздействия инструмента на всю площадь поковки с облоем (завышенные мощности нагревательного и штамповочного оборудования);

- производство деталей сложной формы (типа крестовин зубчатых колес, сплошных и полых ступиц с периферийными элементами в виде ребер, отростков, выступов и др.) средствами облойной штамповки становится особенно затратным из-за высокой трудоемкости последующей механической обработки.

Повысить эффективность изготовления деталей типа фланцев и устранить вышеуказанные недостатки позволяет технология безоблойной штамповки, основанная на методе комбинированного выдавливания в разъемных матрицах. Предложенная технология позволяет повысить коэффициент использования металла с 0,25-0,70 до 0,5-0,85, или на 20-100%, т.е. перевод на штамповку в разъемных матрицах одной тонны деталей дает экономию металла от 0,25 до 2 т.

При переходе на штамповку в разъемных матрицах производительность труда в среднем увеличивается на 25% за счет сокращения числа переходов штамповки с двух-четырех до одного-двух. Процесс безоблойной штамповки, в отличие от облойной, может быть легко автоматизирован, так как выполняется за минимальное число переходов и обеспечивает хорошую фиксацию (центрирование) заготовок в ручье. При штамповке в разъемных матрицах создаются условия для получения детали с плотной структурой. Расположение волокон в теле детали, в силу близости форм поковки и готовой детали, благоприятное. Важным преимуществом процесса является возможность предотвращения пористости деталей (за счет исключения выхода внутренних, загрязненных примесями, слоев заготовки на поверхность детали).

Однако, несмотря на большую эффективность, способ безоблойной штамповки долгое время не мог быть внедрен в широкое промышленное применение. Это объяснялось недостаточным техническим уровнем штамповочного производства, отсутствием специализированного оборудования, отсутствием как эмпирических, так и теоретически обоснованных формул для расчета температурных и силовых режимов безоблойной штамповки по переходам и т.п.

Деталью – представителем, имеющим фланец, для которой разрабатывается технологический процесс в настоящей работе, является золотник.

Цель и задачи исследования

Целью работы является повышение эффективности технологии штамповки фланцевых поковок за счет снижения материальных затрат, уменьшения энергетических затрат и увеличение производительности технологического процесса штамповки деталей типа фланцев. Для достижения указанной цели в работе ставились следующие задачи:

- оценить современное состояние исследований по штамповке поковок деталей типа фланцев на основе анализа промышленных и литературных данных;
- разработать ресурсосберегающую технологию штамповки деталей типа фланцев с развитой втулочной частью, осуществляемую на универсальных прессах с применением специального штампа с устройством противодавления;

- проанализировать разработанную технологию по критериям экономической эффективности;
- разработать расчетные зависимости для оценки силовых параметров технологического процесса.

Научная новизна работы заключается:

- в разработанных технологических процессах, повышающих эффективность производства деталей, имеющих фланец за счет увеличения коэффициента использования металла, снижения энергозатрат, в связи с уменьшением технологических сил, увеличения производительности, связанное с уменьшением числа переходов штамповки и снижения затрат на изготовление штамповой оснастки, уменьшением трудоемкости последующей металлообработки;
- в математических моделях энергетического метода, позволяющих получить аналитические зависимости для определения технологических сил;
- в выявлении закономерностей течения металла при сложном комбинированном выдавливании с разделением очагов деформации, позволяющих прогнозировать возникновение дефектов в виде зажимов и недоштамповки;
- в установлении адекватности математических и компьютерных моделей на основе проведенных экспериментальных исследований, что подтверждает корректность постановки задач исследования и достоверность полученных результатов.

Практическая ценность работы заключается:

- в рекомендациях по конструированию специального устройства противодавления, встраиваемого в штамп с разъемными матрицами, позволяющего универсальным прессам работать в режиме прессов двойного действия;
- в рекомендациях по конструированию специального штампа с разъемными матрицами, позволяющего изготавливать поковки близких типоразмеров, схожей номенклатуры.

Схема предлагаемой технологии представлена на рис.1.

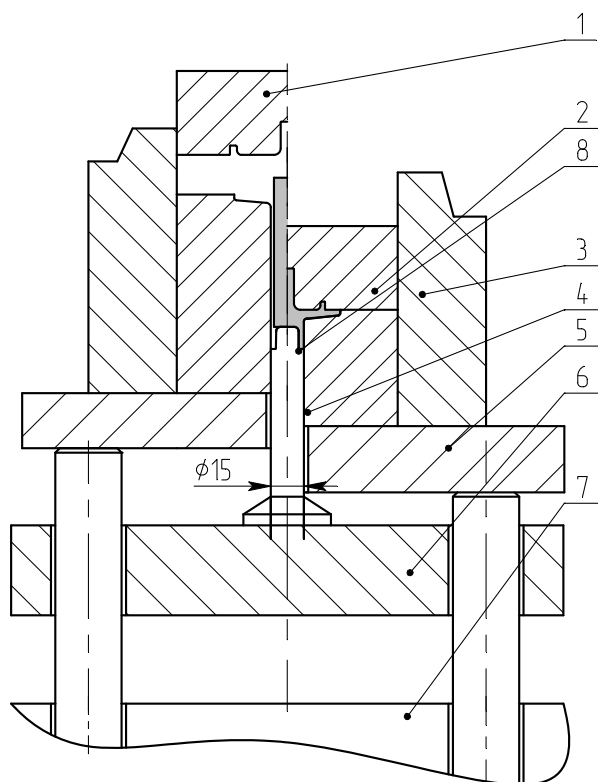


Рис. 1. Схема экспериментального штампа
 1 – верхняя полуматрица; 2 – нижняя полуматрица; 3 – бандаж;
 4 – пуансон; 5 – плита; 6 – стол прессы; 7 – нижний привод; 8 – заготовка.

При движении верхней полуматрицы *1* до смыкания с нижней *2* происходит формообразование фланцевой части (поперечное выдавливание). После плотного смыкания полуматриц начинается их дальнейшее движение как единого инструмента. В результате этого движения окончательно формируется втулочная часть с осевым отверстием в торце и фланцевая часть поковки (поперечное и обратное выдавливание).

Для определения технологических сил, необходимых для штамповки поковки золотника был применен энергетический метод верхней оценки [2]. Приняты следующие допущения: деформируемый материал является жесткопластичным, однородным, неупрочняемым и несжимаемым. Наибольшие силы деформирования и раскрытия инструмента возникают на заключительной стадии процесса при вытеснении избытка металла в компенсационную полость. Поэтому наиболее интересна и рассматривается именно эта стадия процесса. Модель жесткопластичного тела упрощает решение большинства задач обработки металлов давлением. Она предполагает [3,4] несжимаемость материала; его мгновенный переход из абсолютно недеформированного (жесткого) состояния в пластическое, когда нагрузки превышают предельную величину, и подобный обратный переход; отсутствие упругих деформаций [2].

Пластическая деформация развивается в очагах высотой *H*, заключенных в объеме между плоскостью торца пуансона и гравюрой верхней полуматрицы, а также в объеме между плоскостью нижней и верхней полуматрицами. Между очагами деформации в полости верхней

полуматрицы L и в полости нижней полуматрицы под очагом располагаются жесткие зоны, неподверженные пластической деформации.

Очаг деформации состоит из двух плоскоцилиндрических областей $1, 2$, в каждой из которых осевая v_z и радиальная v_r скорости течения зависят соответственно лишь от осевой и радиальной координат, а сдвиги локализованы на границах этих областей, области $3, 4$ и 5 являются жесткими.

Плоскости нижней полуматрицы сообщена малая виртуальная скорость v_i , направленная в сторону верхней полуматрицы.

Используя граничные условия и частное решение условия несжимаемости [2]:

$$\begin{aligned} v_z &= c_1 z + c_2; \\ v_r &= -0,5c_1 r + c_3/r, \quad v_\varphi = 0; \end{aligned}$$

где c_1, c_2 и c_3 – произвольные постоянные, и условие непрерывности нормальных составляющих скоростей на поверхностях разрыва скоростей, получим кинематически возможные поля скоростей для областей 1 и 2 .

Используемый метод расчета основан на условии, что процесс деформации должен осуществляться при минимально возможных энергетических затратах. Поэтому активные и реактивные силы P и P_i могут быть получены после группировки рассчитанных членов равенств мощностей всех внутренних и внешних сил (1), (2), действующих на деформируемый металл, содержащих скорость пуансона v и виртуальную скорость v_i , и обращения в нуль соответствующих множителей при них.

$$P = f(\sigma_s, d, D, H, d_n, \mu); \quad (1)$$

$$P_i = f(\sigma_s, d, D, H, L, d_n, \mu); \quad (2)$$

где σ_s – напряжение текучести материала; D – диаметр фланца поковок; H – высота фланцевой части поковок; L, d_n – геометрические параметры поковок; μ – коэффициент трения (табл. 1).

Для оценки величины активной и реактивной силы были построены линейные зависимости по выражениям (1) и (2). В табл. 2 приведены линейные зависимости для оценки сил при деформировании поковки вентильная головка. В результате расчетов, учитывая, что сопротивление деформированию латуни ЛС59-1 при 800°C составляет $\sigma_s = 60 \text{ МПа}$, значения сил будут равны: активная -500 кН ; реактивная -430 кН .

Таблица 1. Силовые параметры

Модель	
параметрическая	расчетная
Сила	
технологическая	противодавления
$P = \frac{\sigma_s d^2 \pi}{4} + 2\pi\sigma_s + \frac{D^2}{8} \ln \frac{D}{d}$ $- \frac{2\sigma_s d \pi}{\sqrt{3}} + \frac{\sigma_s (d - d_3) \pi}{2H\sqrt{3}} + \frac{\sigma_s \pi D^2 (d - d_3)}{8H\sqrt{3}} -$ $\frac{\sigma_s \pi l^2 (d - d_3)}{4H\sqrt{3}} + \frac{\sigma_s \pi l_1}{2\sqrt{3}H} - \frac{\sigma_s \pi D^2 d_1}{8\sqrt{3}H} -$ $\frac{\sigma_s \pi l^2 d_1}{4\sqrt{3}H} - \frac{\sigma_s \pi (D^3 - d_2^3)}{8\sqrt{3}H} +$ $\frac{\sigma_s \pi D^2 (D - d_2)}{8\sqrt{3}H} + \frac{\mu \sigma_s \pi D^2 (d - d_1)}{8H} -$ $\frac{\mu \sigma_s \pi l^2 (d - d_1)}{4H} - \frac{\mu \sigma_s \pi l^2 d}{2H} + \frac{\mu \sigma_s \pi D H}{2}$ $- \frac{\mu \sigma_s \pi (d_2^3 - d^3)}{8H} + \frac{\mu \sigma_s \pi D^2 (d_2 - d)}{8H} -$ $\frac{\mu \sigma_s \pi (D^3 - d^3)}{8H} + \frac{\mu \sigma_s \pi D^2 (D - d)}{8H} + \frac{\mu \pi \alpha_3^2}{4H} -$ $\frac{\mu \pi \alpha_3^2 d_3}{4H} + \frac{\mu \pi \alpha_3^2 D^2 d_3}{8H}$	$P_i = -2\pi\sigma_s - \frac{D^2}{8} \ln \frac{D}{d} + \frac{\sigma_s d \pi}{2\sqrt{3}} -$ $\frac{\sigma_s \pi D^2 d_1}{8\sqrt{3}H} + \frac{\sigma_s \pi l^2 d_1}{8\sqrt{3}H}$ $+ \frac{\sigma_s \pi (D^3 - d_2^3)}{8\sqrt{3}H} - \frac{\sigma_s \pi (D^3 - D d_2)}{8\sqrt{3}H}$ $- \frac{\mu \sigma_s \pi D (d - d_1)}{8H} + \frac{\mu \sigma_s \pi l^2 (d - d_1)}{8H} -$ $\frac{\mu \sigma_s \pi D H}{2} + \frac{\mu \sigma_s \pi (d_2^3 - d^3)}{8H} -$ $\mu \sigma_s \pi (D^3 - d^3)$ $\frac{\mu \sigma_s \pi D^2 (d_2 - d)}{8H} + \frac{\mu \sigma_s \pi D^2 (D - d)}{8H} -$ $\frac{\mu \sigma_s \pi D^2 (D - d)}{8H} + \frac{\mu \sigma_s \pi l^2 d_3}{8H}$ $- \frac{\mu \pi \sigma_s D^2 d_3}{8H}$

Рассмотренная математическая модель процесса течения металла позволяет определить силовые параметры, необходимые для дальнейшего поверочного расчета при проектировании штампового инструмента, а так же существенно сократить время на разработку технологии и уменьшить возможность ошибки при расчете.

Таблица 2. Лinéйные зависимости

Графики зависимостей	
сил от напряжения текучести	технологической силы от коэффициента трения
<p>1 – технологическая (активная) сила, кН; 2 – сила противодействия (реактивная), кН.</p>	<p>1 – при $\mu=0,15$; 2 – при $\mu=0,20$; 3 – при $\mu=0,30$.</p>

Современные CAD/CAM/CAE-системы предоставляют пользователю широкий набор средств для моделирования, инженерного анализа, черчения и разработки технологий механической обработки [5]. Одной из таких систем является программа QForm, которая основана на методе конечных элементов (ядро системы). Конечно-элементные алгоритмы специальным образом адаптированы для расчета процессов формоизменения. Сам конечно-элементный расчет скрыт от пользователя. QForm обеспечивает автоматическое формирование расчетных моделей (разбиение на конечные элементы), что позволяет обеспечить высокую точность расчета, не зависящую от квалификации пользователей, а так же позволяет проанализировать всю технологическую цепочку получения поковки, включая нагрев, охлаждение и пластическое деформирование на всех переходах, а также изменение свойств поковки. База данных материалов содержит более 450 марок сталей, десятки сплавов цветных и тугоплавких металлов, что обеспечивает потребности подавляющего большинства пользователей [6].

Задача компьютерного моделирования заключалась в определении геометрии рабочих поверхностей штампа и качества заполнения металлом полостей штампа (рис. 2).

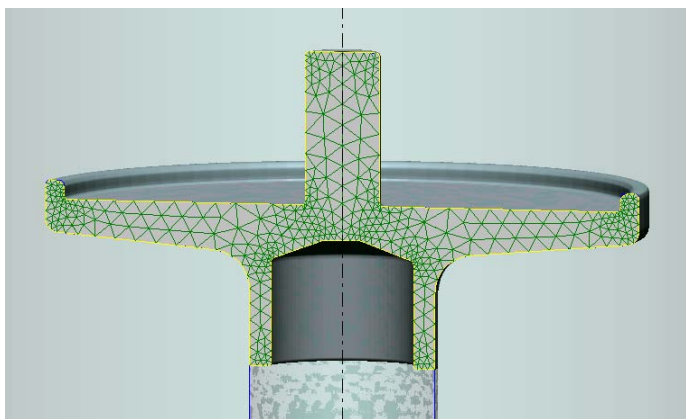


Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования

Исходные данные при моделировании:

- материал – m1 (так как в базе данных Q-Form нет латуни, для моделирования использован наиболее близкий материал - медь);
- температура нагрева заготовки до 850°C ;
- температура предварительного нагрева инструмента 300°C .

Для определения формы поверхности разъема матриц так же проводим компьютерное моделирование кинематики течения металла при рабочем ходе до смыкания верхней и нижней полуматриц. Моделирование показало, что до смыкания полуматриц металл во время деформации не попадает в плоскость разъема полуматриц, следовательно, ее форму оставляем без изменений.

В результате проведения компьютерного моделирования удалось

- выявить закономерности течения металла при комбинировании операций обработки давлением с определением возможной потери устойчивости в виде зажимов и недоштамповки;
- определить напряженно – деформированное состояние заготовки и ее температурные поля;
- спроектировать штамп с исправленной геометрией поверхностей полуматриц для бездефектной штамповки;
- существенно сократить время разработки новой технологии штамповки.

На основе проведенных исследований и расчетов был спроектирован штамп для штамповки рассмотренной поковки. Отличительной особенностью конструкции штампа является его универсальность, т.е. он может быть использован для штамповки однотипных поковок, имеющих схожую форму и размеры, в пределах габаритов рассмотренных поковок, при этом его конструкция не изменяется, а замене подлежат только полуматрицы.

В результате предпроектных исследований была установлена целесообразность использования тарельчатых пружин в качестве механического устройства противодействия, исходя из соответствия предъявляемых требований технологического процесса и минимальных капиталовложений для конструирования и изготовления штампа. В штампе установлен пакет из 6 тарельчатых пружин класса I типа 2 по ГОСТ3057-90

для обеспечения заданного хода нижней полуматрицы, составляющего 30 мм. Была выбрана последовательная схема сборки пакета пружин, так как при циклическом нагружении влияние контактной и фрикционной коррозии при параллельной сборке снижают циклическую выносливость пружин. В предложенном штампе пружины установлены с предварительной деформацией 2,5 мм, для обеспечения которой применяем прижимную плиту и болты, фиксирующие определенную высоту пакета. Параметры спроектированного штампа:

- закрытая высота штампа – 450 мм;
- ход пуансона – 150 мм;
- ход нижней полуматрицы – 30 мм.

Результаты моделирования проверены в лабораторных условиях экспериментально. В рамках исследовательских работ, проводимых в лаборатории кафедры СПД, на прессе К0032 номинальной силой 1600 кН с использованием экспериментального штампа (рис. 1) были отштампованы поковки золотника из 7-и различных материалов (табл. 3). Полученные в результате экспериментов данные занесены в табл. 4, где: H - величина хода ползуна прессы во время выдавливания, P - сила выдавливания, σ_x – среднее квадратичное отклонение, D - дисперсия. Заготовка имеет диаметр: $\varnothing 28$ мм, Высота заготовки: $H=85\pm 0,1$ мм, коэффициент трения $\mu=0,3$.

Таблица 3. Материалы поковок в проведенных экспериментах

	<i>Материал</i>	σ_v , МПа	$t_{нагр.}$ °С
1	<i>ЛС59-1</i>	650	950
2	Алюминиевый сплав, <i>АД31</i>	200	400
3	Алюминиевый сплав, <i>Д16</i>	520	400
4	Алюминиевый сплав, <i>В95</i>	580	500
5	Сталь 20	420	1200
6	Сталь 45	640	1200
7	<i>ШХ15</i>	730	1200

Таблица 4. Результаты проведенных экспериментов

№	H , мм	P_1 , кН	P_2 , кН	P_3 , кН	P_4 , кН	P_5 , кН	P_6 , кН	P_7 , кН	P_{sr} , кН	D	σ_x
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,000	0,000
2	5	8	5	18	10	95	15	10	23,00	880,000	29,665
3	15	40	37	98	75	50	65	55	60,00	392,571	19,813
4	25	67	38	99	70	90	100	100	80,57	470,245	21,685
5	35	80	42	108	78	110	135	130	97,57	927,959	30,462
6	45	120	66	160	118	170	210	195	148,43	2155,388	46,426
7	50	125	70	167	119	180	220	200	154,43	2348,245	48,459

По полученным экспериментальным данным с использованием программы *Excel* автоматически был построен график зависимости среднего значения силы выдавливания от величины хода ползуна прессы во время выдавливания (рис.3). На графике проведена аппроксимирующая кривая, описывающая уравнение регрессии (3). На основании величины адекватности аппроксимации кривой можно сделать вывод об удовлетворительной сходимости теоретических и экспериментальных данных.

$$y = 0,5385 + 2,7389x + 0,4517x^2 - 0,0366x^3 + 0,001x^4 - 8 \cdot 10^{-6}x^5; \quad (3)$$

$R^2 = 0,9987$ - величина адекватности аппроксимации.

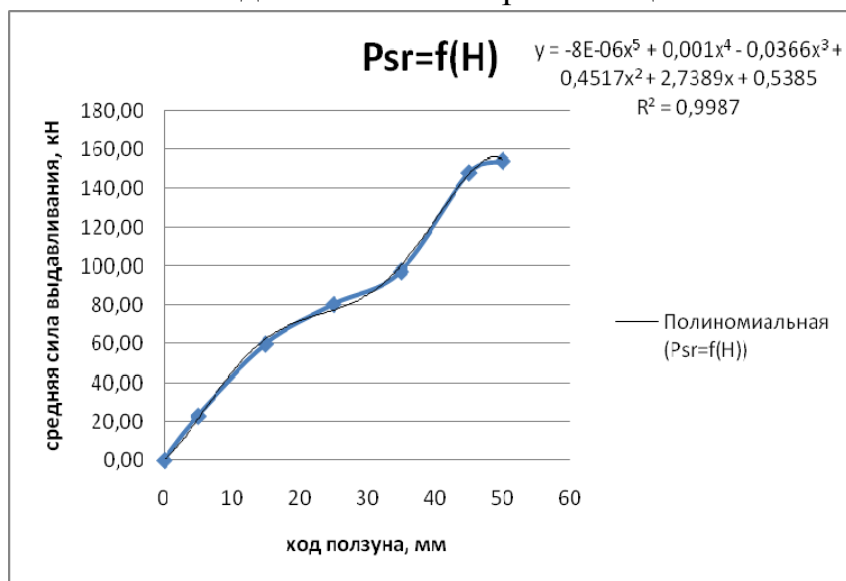


Рис. 3. График зависимости среднего значения силы выдавливания от величины хода ползуна прессы во время выдавливания

В результате проведенного эксперимента получена удовлетворительная сходимость результатов моделирования с экспериментом в плане качества заполнения сложной полости штампа без образования дефектов, а так же рассчитанных технологических сил в процессе разработки технологического процесса и полученных в проведенном эксперименте.

Выводы

1. На основе анализа характеристик, полученных при проектировании технологического процесса, разработана конструкция специального устройства противодействия, встраиваемого в штамп, для обеспечения возможности работы универсальных прессов в режиме прессов двойного действия, что значительно расширяет их технологические возможности.

2. Проведенное математическое моделирование в рамках энергетического метода позволило получить аналитические зависимости для определения технологических сил на наиболее нагруженной стадии деформирования;

3. Анализ результатов компьютерного моделирования позволил оценить напряженно – деформированное состояние заготовки при сложном течении металла, установить возможные дефекты формообразования и внести в конструкцию рабочего инструмента коррективы для их устранения.

Литература

1. Горячее прессование поковок в штампах с разъемными матрицами. - Воронеж: ЭНИКМАШ, 1967. - 90с.
2. *Степанский Л.Г.* Расчеты процессов обработки металлов давлением. - М.: Машиностроение, 1979. - 213с.
3. *Качанов Л.М.* Основы теории пластичности. - М. – Л.: Наука, 1969. - 420с.
4. *Сторожев М.В., Попов Е.А.* Теория обработки металлов давлением. - М.: Машиностроение, 1977. - 423с.
5. *Чесноков В.С., Каплунов Б.Г.* Разработка и применение программного обеспечения для автоматизированного проектирования и моделирования процессовковки и горячей штамповки//Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2008. - №9. - С. 36 – 44.
6. *Биба Н.В., Стебунов С.А.* Новости моделирования объемной штамповки — программа QForm.// САПР и графика. -2004. - №9. - с.45-50.