

**МАШИНОСТРОЕНИЕ, МЕХАНИКА**

УДК 621.777.01

В. В. КЛУБОВИЧ, В. А. ТОМИЛО, В. А. КЛУШИН, А. С. ЛИПНИЦКИЙ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАТНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ  
 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИЛ АКТИВНОГО ТРЕНИЯ**

*Белорусский национальный технический университет*

*(Поступила в редакцию 18.04.2014)*

**Введение.** Проведение предварительного планомерного исследования любого технологического процесса в современном мире машиностроения – важный этап, позволяющий изучить недоработки в технологическом процессе и заранее провести предупредительные мероприятия. Для операций обработки металлов давлением возможность исследования процесса штамповки детали заключается в создании экспериментальной оснастки, а затем ее доведения для полного заполнения гравюры штампа без образования зажимов. Материальные затраты в таком случае составляют немалую часть общих вложений. В настоящее время в области машиностроения актуальны требования максимального ускорения процесса оптимизации технологий с наименьшими затратами, что стало возможным благодаря высокому потенциалу современных вычислительных комплексов. Создаваемая компьютерная модель стремится наиболее качественно описать реальный технологический процесс в зависимости от заданных начальных параметров: температура начала штамповки, применяемая смазка, ее влияние на коэффициент трения и теплопроводные свойства, геометрия инструмента. Для оценки всей совокупности перечисленных факторов требуется провести множество экспериментов в случае выполнения их «в железе». Для использования вычислительных мощностей современной техники необходимы знание технологического процесса, программное обеспечение и вычислительные мощности, что по экономическим соображениям значительно дешевле проведения производственных исследований.

Исследуемый технологический процесс формирования детали «толкателя клапана» (рис. 1) с применением сил активного трения является актуальным для современного машиностроения. Детали типа «стакан», к которым и относится толкатель клапана, широко применяются во многих механизмах, поэтому улучшение технологического процесса формирования данной детали позволит получить существенный экономический эффект для машиностроительной области.

**Постановка задачи.** Исследования сводилась к изучению следующих факторов, влияющих на процесс штамповки: геометрия инструмента

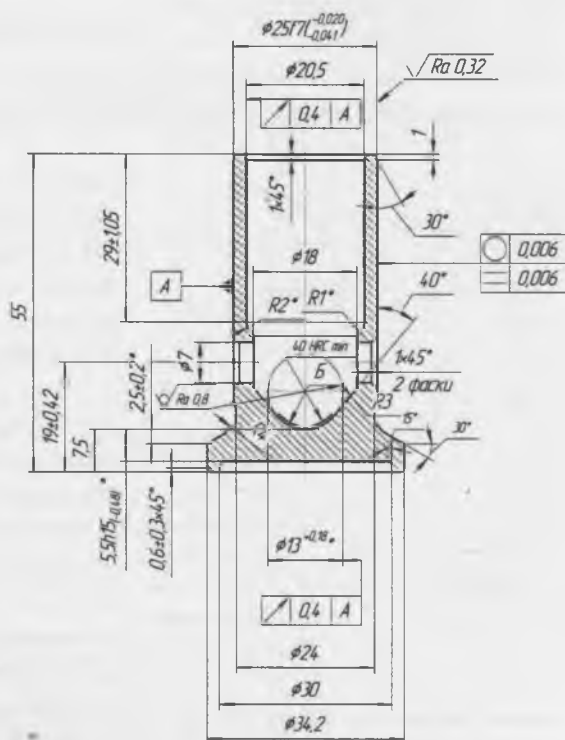


Рис. 1. Эскиз толкателя клапана

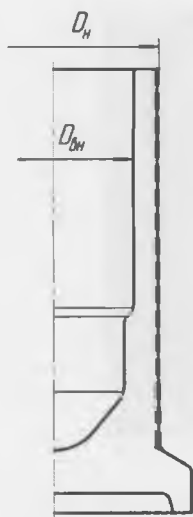


Рис. 2. Поковка с различными вариантами наружного диаметра

и коэффициент трения в зависимости от выбранной смазки. Процесс полугорячей штамповки имеет ряд преимуществ по сравнению с холодной и горячей штамповкой: качество поверхности и точность геометрии, как после холодной объемной штамповки; напряжения на оснастке ниже, чем при холодной объемной штамповке; отсутствие окалины; сопротивление деформирования металла близко к интервалам горячей объемной штамповки; тепловой эффект на оснастку ниже, чем при горячей объемной штамповке. Данные преимущества, позволяют утверждать, что для небольших по массе деталей до 0,5 кг технология полугорячей штамповки является перспективной.

Принимаемый коэффициент трения процесса находится в интервале от 0,2 до 0,5; наружный диаметр поковки стакана толкателя клапана (рис. 2) изменяется от 25,5 до 27 мм с приращением 0,5 мм. Запланированные исследования представлены в виде таблицы.

Наружный диаметр принимается исходя из требуемых допусков и напусков на поковку [1–3] при диаметральном размере заготовки 25 мм и высоте в соответствии с таблицей. Для соответствующих диаметральным размерам требуется заданный объем металла заготовки ( $V_p$ ), данные внесены в таблицу для каждого экспериментального ряда.

Учитывая принцип подобия процессов обработки металлов давлением, считаем коэффициент отношения диаметров:  $k_d = D_n / D_{вн}$ , где  $D_n$  – наружный диаметр стакана, мм;  $D_{вн}$  – внутренний диаметр стакана, равный 20,5 мм.

Данные, полученные в результате эксперимента, представлены на рис. 3. Из графиков видно, что для области отношения диаметров  $k_d = 1,29$  наблюдается общее снижение значений усилий для всех экспериментов. Такая динамика возможна в случае образования оптимальной схемы сложного напряженного состояния, приводящего к наилучшему пластическому течению. Как известно из [4], при сложном напряженном состоянии количество возможных комбинаций напряжений, при которых происходит переход в пластическое состояние, является бесчисленным.

Зависимости максимального главного напряжения в объеме поковки от величины коэффициента трения представлены на рис. 4. Рост напряжений прямо пропорционален коэффициенту

#### Планирование эксперимента

$D_n$	Коэффициент трения				$V_p, \text{мм}^3$	$h_p, \text{мм}$	$k_d$
	0,2	0,3	0,4	0,5			
25,5	+	+	+	+	16843,5	34,5	1,244
26	+	+	+	+	17815,3	36,5	1,268
26,5	+	+	+	+	19808,9	38,5	1,293
27	+	+	+	+	19824,5	40,5	1,317

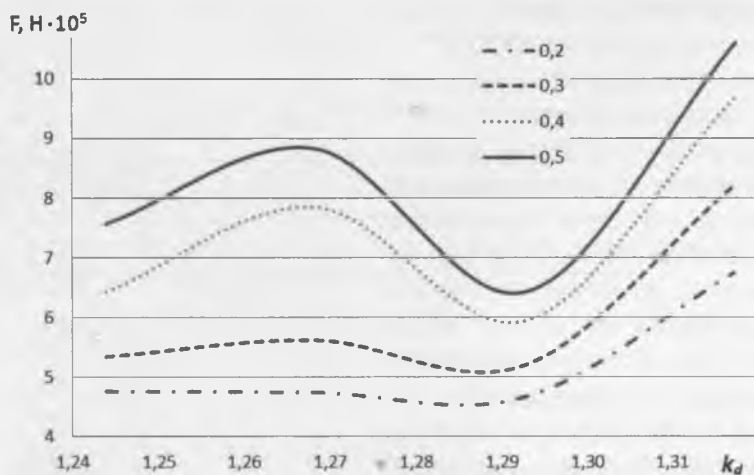


Рис. 3. Усилие на инструменте в зависимости от отношения диаметров для различных коэффициентов трения

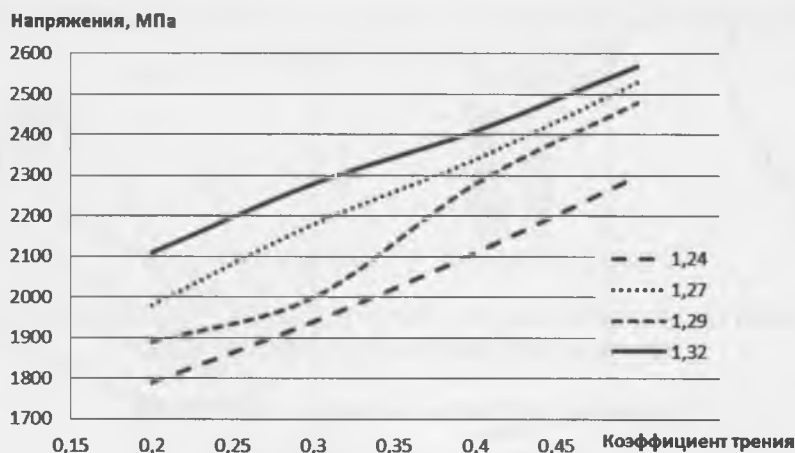


Рис. 4. Главное максимальное напряжение для различных отношений диаметров в зависимости от коэффициента трения

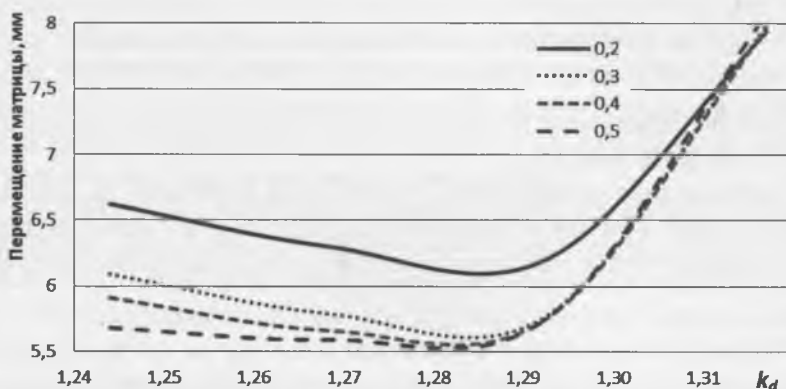


Рис. 5. Вертикальное перемещение матрицы в зависимости от отношения диаметров при различных коэффициентах трения

трения, что не противоречит теории обработки металлов давлением. Графики рисунка дают представление о действующих максимальных напряжениях на гравюре инструмента, что позволяет сделать выводы об износе инструмента и его стойкости. Необходимо отметить, что максимальные напряжения имеют точечную область распространения, для верхнего пуансона – это сферическая поверхность.

На рис. 5 представлены графики перемещения матрицы в зависимости от отношения диаметров для различных коэффициентов трения. Можно сделать вывод, что перемещения величины  $k_d$  менее 1,3 различаются несущественно и лежат в области 5,5–6,5 мм, так как слои металла, контактирующие с пуансоном и матрицей, находятся в непосредственной близости.

Для оценки течения металла в полости штампа на заготовке были отмечены 10 точек (рис. 6, а), их окончательное распределение представлено на рис. 6, б. Точки распределены равномерно по всей высоте поковки, что свидетельствует о беспрепятственном течении металла без образования мертвых зон.

На рис. 7 изображены вертикальная (а) и радиальная (б) составляющие скорости точек заготовки. Как видно из рис. 7, а, металл не образует крупной мертвой зоны (участок области под верхним пуансоном). Скорости течения металла распространяются на значительную глубину в его объеме, плавно

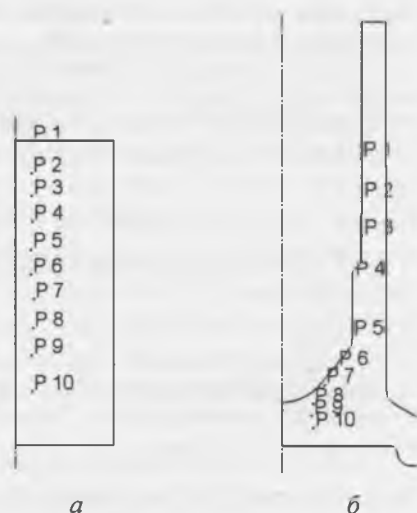


Рис. 6. Динамика точек в объеме поковки: а, б – начало и окончание процесса штамповки

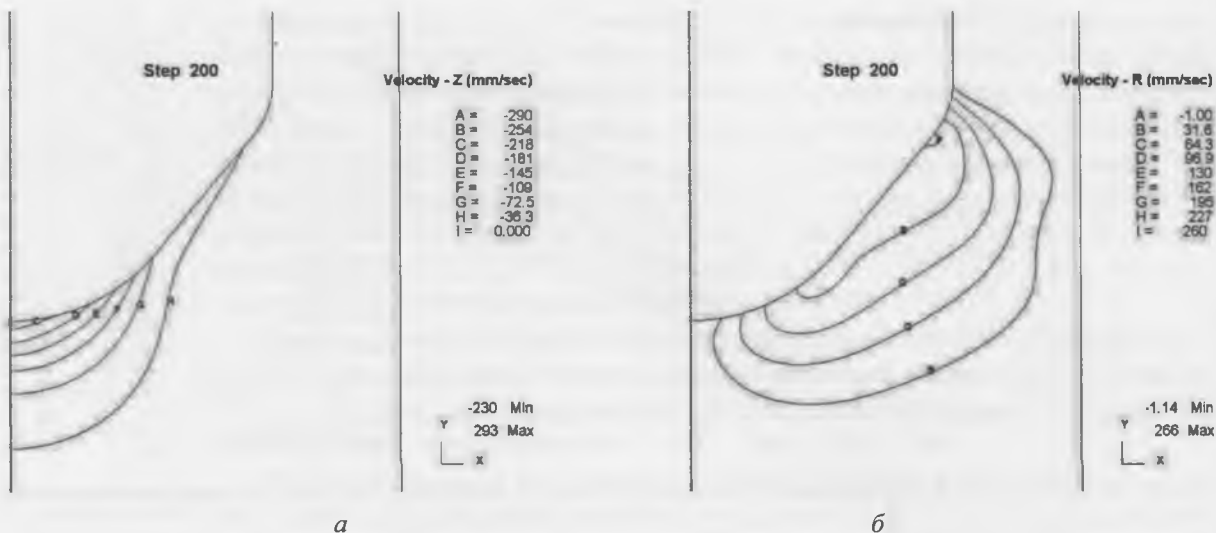


Рис. 7. Распределение скоростей течения металла в поковке:  
а, б – вертикальные и радиальные составляющие соответственно

огИБая контур пуансона. Радиальные скорости течения металла (рис. 7, б) равномерно распределены вдоль конической части пуансона.

Проведенные исследования раскрывают суть процесса обратного выдавливания с применением сил активного трения при формировании поковки толкателя клапана двигателя внутреннего сгорания и позволяют более качественно оценить все аспекты процесса обратного выдавливания.

### Выводы

1. Установлены закономерности изменения усилия деформации от отношения диаметров для различных коэффициентов трения.
2. Максимальные главные напряжения для интервала коэффициента трения 0,2–0,5 изменяются от 1800 до 2600 МПа.
3. Течение металла в полости штампа происходит без образования мертвых зон, что позволяет получать качественную структуру поковки.

### Литература

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4 т. / Ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. М., 1986. Т. 2. Горячая штамповка / Под ред. Е. И. Семенова. М., 1986.
2. Ковка и штамповка: Справочник. В 4 т. / Ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. М., 1987. Т. 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г. А. Навроцкого. М., 1987.
3. Сосенушкин Е. Н. Прогрессивные процессы объемной штамповки. М., 2011.
4. Томленов А. Д. Механика процессов обработки металлов давлением. М. 1963.

V. V. KLUBOVICH, V. A. TAMILA, V. A. KLUSHIN, A. S. LIPNITSKIY

### INVESTIGATION OF REVERSE EXTRUSION WITH USE OF ACTIVE FRICTION FORCES

### Summary

The results of studies of the effect of friction coefficient and thickness of a pipe wall on energy-force parameters of reverse extrusion process are shown. The evaluation of the stress-strain state and amounts of displacement matrix from the active forces of friction is made.