

## Разработка технологии изготовления поковок с отростками на основе принципа поэлементной штамповки

Маликов С.А., д.т.н. проф. Володин И.М.  
ЛГТУ

8 (4742) 32-82-39, [kaf-md@stu.lipetsk.ru](mailto:kaf-md@stu.lipetsk.ru)

**Аннотация.** В статье рассматривается новая технология штамповки поковок с отростками на универсальном кривошипном горячештамповочном прессе.

**Ключевые слова:** штамповка, поковка, отросток, моделирование.

Поковки с продольными отростками, как известно, получают при помощи выдавливания в открытых или закрытых штампах [1]. При штамповке в закрытых штампах из заготовок обычной точности избыточный объем металла течет в заусенец, что приводит к значительному росту усилия штамповки и интенсивному износу штампов. Получение поковок с отростками в открытых штампах требует значительного подпора со стороны облой и характеризуется низким коэффициентом использования металла. Таким образом, задача разработки экономичного способа изготовления поковок с отростками из заготовок обычной точности весьма актуальна.

В основу решения поставленной задачи положена идея поэлементной штамповки [3], заключающаяся в формировании заданной поковки за несколько переходов, на каждом из которых практически окончательно формируется один из элементов поковки. В отличие от классического подхода к проектированию технологий штамповки, согласно которому осуществляется последовательное приближение конфигурации полуфабриката к форме окончательно отштампованной поковки и весь объем заготовки на каждом переходе подвергается пластической деформации, принцип поэлементной штамповки предполагает что сформированный элемент на следующем переходе перемещается как «жесткое» тело. Наибольший эффект от реализации поэлементной штамповки получается при формировании вначале наиболее труднозаполняемых элементов поковки.

Разработка технологии поэлементной штамповки поковок с отростками осуществлялась на примере поковки поршня двигателя внутреннего сгорания. Штамповку осуществляют в 4 перехода. Вначале исходную заготовку обычной точности нагревают до температуры горячей деформации. Затем на первом переходе формируют полуфабрикат для удобного базирования в штампе следующего перехода. На втором переходе в открытом штампе формируют часть отростков и дозируют объем, при этом избыток металла вытесняется в облой. Затем обрезают облой и в закрытом штампе окончательно формируют полуфабрикат с отростками. Окончательную штамповку головной части поковки проводят с вытеснением металла в облой под углом 5-85 градусов к вертикальной оси поковки [4] (рисунок 1).

Для нахождения оптимального варианта технологического процесса была проведена серия численных экспериментов в программе QForm.

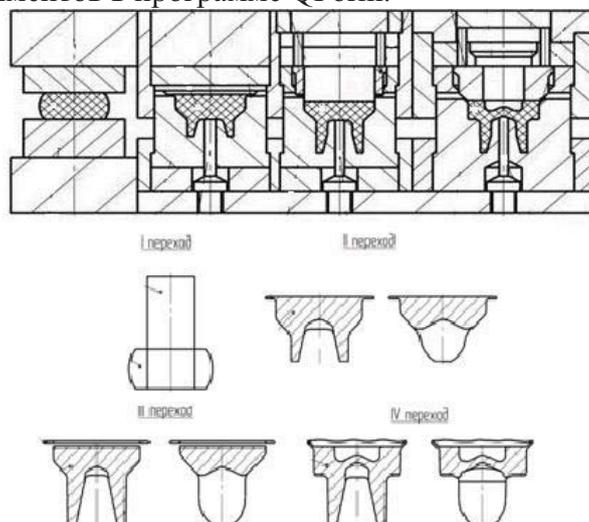
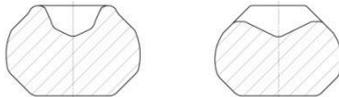


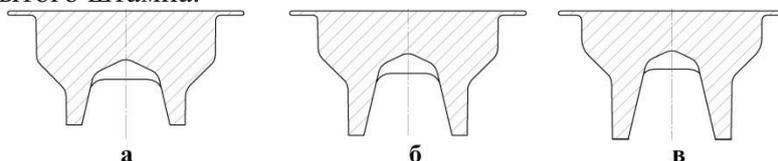
Рисунок 1. Схема штампа и технологических переходов

При проектировании технологии рассматривали два варианта первого перехода: в первом варианте исходную заготовку осаживают в торец до диаметра бочки не более диаметра контейнерной части матрицы второго перехода; во втором варианте на первом переходе осуществляют формовку, в результате которой происходит перераспределение металла для облегчения формирования концевой части отростков (рисунок 2). После формовки заготовку кантуют на  $180^\circ$  для укладки в следующий штамп. При таком варианте возможно более точное базирование полуфабриката в штампе следующего перехода.



**Рисунок 2. Полуфабрикат после формовки**

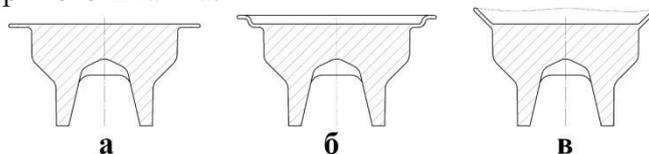
На втором переходе необходимо сформировать наиболее труднозаполняемую часть поковки – концевые участки отростков. При этом важно определить оптимальную длину отростка, формируемую на этом переходе. Рассматривали варианты с длиной отростка от 33 до 60% от длины окончательно сформированного отростка (рисунок 3). Необходимым условием успешности каждого из экспериментов являлось полное заполнение гравюры штампа, т.к. объем полуфабриката после этого перехода и обрезки облоя должен быть равен объему полуфабриката закрытого штампа.



**Рисунок 3. Варианты выполнения отростков на втором переходе:**  
а – 33% от окончательной длины отростка; б – 50 %; в – 60%

Также на этом переходе была исследована зависимость заполнения конфигурации штампа и усилия штамповки от формы облойного мостика. Здесь рассматривались три варианта: плоская облойная канавка, ступенчатая облойная канавка и облойная канавка, расположенная под углом  $45^\circ$  к вертикальной оси поковки (рисунок 4). В каждом из вариантов облой выводится на верхний торец заготовки, так как деформацию следует осуществлять преимущественно в одной половине штампа, чтобы исключить влияние смещения по поверхности разъемов штампа на точность размеров поковки.

На третьем переходе совмещают обрезку облоя и закрытую штамповку, при этом необходимо окончательно сформировать отростки. Посредством обрезки облоя реализуется принцип отложенной корректировки [3] (в данном случае объема), в результате чего становится возможным осуществить закрытую штамповку при использовании заготовок обычной точности без риска заклинивания прессы вследствие возрастания усилия штамповки при заполнении гравюры закрытого штампа.

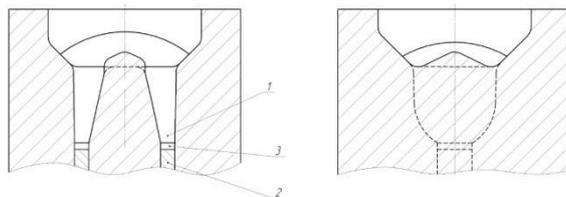


**Рисунок 4. Сечения поковок с вариантами облоя:**

а – плоским; б – ступенчатым; в – под углом  $45^\circ$  к вертикальной оси поковки

Идеальной точности объема заготовки для закрытой штамповки, даже при корректировке объема промежуточной обрезкой облоя, достичь практически не возможно, при этом даже небольшой избыток металла при закрытой штамповке приводит к значительному росту усилия на стадии доштамповки и интенсивному износу штампов. Чтобы окончательно исключить возможный рост усилия на стадии доштамповки, рассматривали еще один вариант третьего перехода (рисунок 5): с использованием принципа свободных поверхностей [3], так как концевая часть отростка сформирована на предыдущем переходе, появляется возможность сделать нижнюю часть отростков «свободной» (не контактирующей с поверхностью

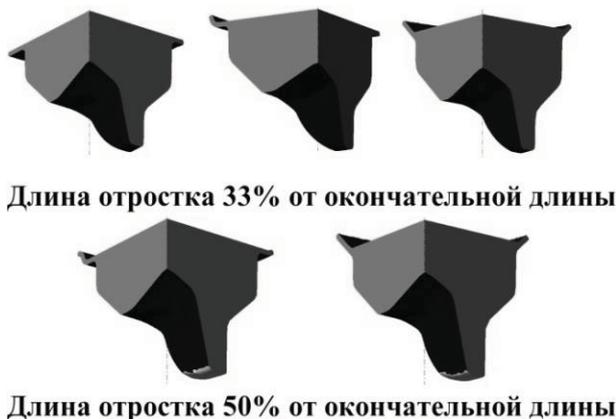
штампа). При этом незначительные погрешности объема, способные вызвать резкое повышение усилия при закрытой штамповке, на длину отрезка значительного влияния не оказывают.



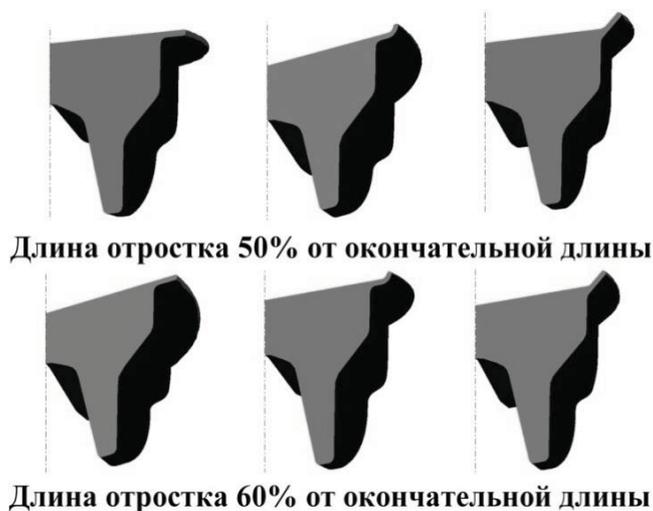
**Рисунок 5. Схема нижнего штампа с увеличенной длиной полости под отрезок:  
1- заполняемая полость штампа; 2- выталкиватель;  
3- свободная зона, не контактирующая с инструментом**

На окончательном штамповочном переходе посредством открытой штамповки формируют головную часть поковки. Облой следует располагать на верхнем торце заготовки и выводить под углом  $5-85^\circ$  к вертикальной оси поковки. Вывод облойа под углом  $>85^\circ$  может привести к заштамповке заусенца в тело поковки, а под углом  $<5^\circ$  затрудняется последующая обрезка облойа [4].

Результаты компьютерного моделирования в программе QForm показали, что при первом переходе – осадке - на втором переходе возможно получить отрезки длиной не более 33% от длины окончательно сформированных отрезков (Рисунок 6), применение формовки (Рисунок 2) позволяет оформить отрезки длиной до 60% от окончательной длины (Рисунок 7). На рисунках 6 и 7 синим цветом показаны зоны контакта инструмента с заготовкой в конце хода ползуна прессы.



**Рисунок 6. Сечения поковок и после 2-го перехода с различными вариантами облойных канавок (первый переход – осадка)**



**Рисунок 7. Сечения поковок и после 2-го перехода с различными вариантами облойных канавок (первый переход – формовка)**

В таблице 1 представлены усилия штамповки в вариантах с полным заполнением гравюры штампа 2-го перехода.

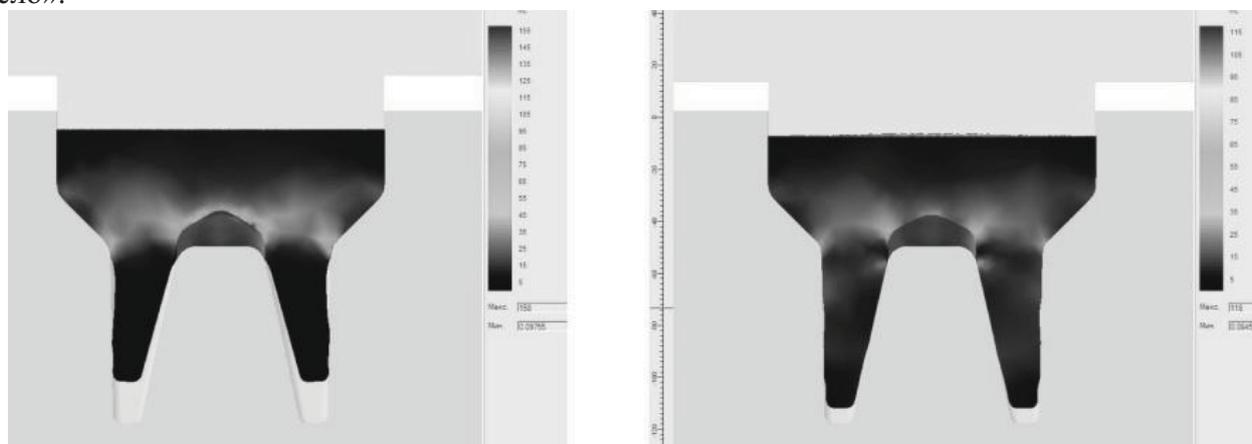
Таблица 1

**Усилия штамповки при различных вариантах выполнения 2-го перехода штамповки.**

Вариант выполнения 2-го перехода штамповки	Усилие штамповки, МН	
длина отростка 33% от окончательной длины	плоская облойная канавка	10,1
	ступенчатая облойная канавка	10,1
	облойная канавка под углом 45°	9,0
длина отростка 50% от окончательной длины	плоская облойная канавка	11,9
	ступенчатая облойная канавка	12,0
	облойная канавка под углом 45°	10,6
длина отростка 60% от окончательной длины	плоская облойная канавка	12,0
	ступенчатая облойная канавка	12,1
	облойная канавка под углом 45°	10,7

Как видно из таблицы 1, наименьшее усилие штамповки необходимо в варианте с облойным мостиком, выведенным под углом 45° к вертикальной оси поковки. От длины отростка, формируемого на данном переходе, усилие штамповки зависит в меньшей степени, так как значительный рост усилия наблюдается не при заполнении отролков, а на стадии доштамповки, когда конфигурация штампа уже заполнена.

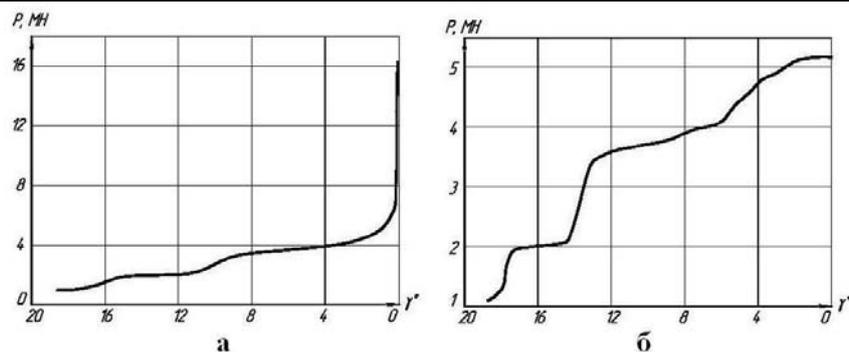
На рисунке 8 показана интенсивность скоростей деформации на 3-м переходе. Как видно из рисунка, концевая часть отростка не деформируется, т.е. перемещается как «жесткое тело».



**Рисунок 8. Интенсивность скоростей деформации на 3-м переходе**

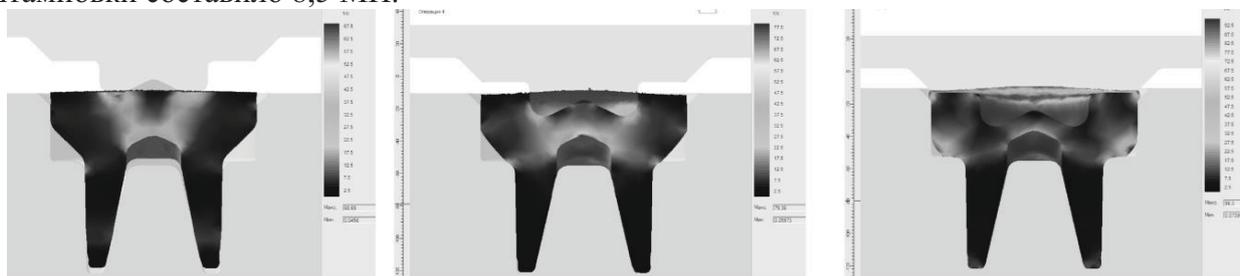
Результаты моделирования показали, что заполнение гравюры штампа 3-перехода из полуфабриката с длиной отролков 1/3 от окончательной длины требует значительно большего усилия, чем остальные рассматриваемые варианты вследствие того, что деформируется больший объем металла. В вариантах с длиной отростка 50 и 60% от окончательной длины усилия на 3-м переходе различаются незначительно, т.е. предварительное формирование отростка на 2-м переходе длиной более 60% от окончательной не целесообразно.

Моделирование закрытой штамповки показало, что после заполнения гравюры штампа образуется заусенец и усилие штамповки резко возрастает (рисунок 9а). При избыточном объеме не более 0,5% на стадии доштамповки усилия возросло более чем в 3 раза. Вариант со свободной поверхностью в нижней части штампа позволил снизить усилие штамповки до 5,3 МН (рисунок 9б), форма отростка при этом не меняется, так как его концевая часть сформирована на предыдущем переходе, а погрешность объема полуфабриката незначительна вследствие корректировки объема промежуточной обрезкой облоя.



**Рисунок 9. Графики зависимости усилия штамповки от угла поворота кривошипа: а – закрытый штамп; б – штамп со свободной поверхностью**

Моделирование 4-го перехода штамповки показало полное заполнение формы при обоих вариантах исполнения штампа 3-го перехода, очаг деформации сосредоточен в головной части поковки (рисунок 10), отросток при этом не деформируется. Максимальное усилие штамповки составило 8,5 МН.



**Рисунок 10. Интенсивность скоростей деформации на окончательном штамповочном переходе**

### Выводы

Проведено исследование различных вариантов штамповки поковок с отростками на основе принципа поэлементной штамповки. В результате исследования определена оптимальная схема штамповки: 1 переход – формовка; 2 переход – открытая штамповка с формированием концевой части отростка длиной 50-60% от окончательной длины и выводом облоя на верхний торец под углом  $45^\circ$  к вертикальной оси поковки; 3 переход – обрезка облоя и закрытая штамповка с окончательным формированием отростка, при этом нижнюю часть отростка следует оставить не контактирующей с инструментом; 4 переход – открытая штамповка с выводом облоя на верхний торец под углом  $45^\circ$  к вертикальной оси поковки. При проектировании технологии применение принципов поэлементной штамповки, отложенной корректировки и принципа свободных поверхностей позволяет добиться не только экономии металла, но и значительного снижения усилий штамповки и суммарной работы деформации.

### Литература

1. Горячая штамповка выдавливанием стальных деталей / Н.Л. Соколов. – М.: Машиностроение, 1967. - 192 с.
2. Гуляев Н.Ю., Володин И.М., Золотухин П.И. Анализ технологических схем штамповки поковки с центральным отростком // Актуальные проблемы технических наук: материалы областной научно-практической конференции. – Липецк: Издательство ЛГТУ, 2009 – с. 64 – 66.
3. Володин И.М. Система основных принципов проектирования процессов горячей объемной штамповки// Проблемы механики сплошных сред и смежные вопросы технологии машиностроения: Сборник докладов третьей конференции. Владивосток- Комсомольск-на-Амуре, сентябрь 2004 г. Комсомольск-на-Амуре: ИМиМ ДВО РАН, 2004. с. 270-277.
4. Пат. Российской Федерации. № 2212974. Способ изготовления поковок с отростками. / А.А. Ромашов, И.М. Володин, А.В. Перевертов, Ю.П. Клочков, В.С. Мартюгин, Н.В. Березюк. Заявка 2001128693; заявлено 25,10,2001; опубл. 27,09,2003.