

УДК 621.73

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ОТКРЫТОЙ ШТАМПОВКИ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ПОКОВКИ ПО СТАДИЯМ В ПРОГРАММЕ QFORM**

**Завражнова Анастасия Николаевна**

5 курс, очная форма

*Российская Федерация, г. Москва*

*Московский Государственный Университет Приборостроения и Информатики,  
кафедра «Информационные технологии обработки давлением»*

**Научный руководитель: В.Б. Леняшин**

к.т.н, доцент кафедры «Информационные технологии обработки давлением»

## **ВВЕДЕНИЕ**

Процесс объемной штамповки в зависимости от степени заполнения полости штампа можно разделить на 4 стадии [1] (Рис. 1.1). В первой стадии происходит осадка исходной заготовки. Она заканчивается в момент соприкосновения боковой поверхности заготовки со стенками полости штампа.

Во второй стадии процесса штамповки происходит частичное заполнение углов и других труднозаполняемых частей полости штампа. Сила штамповки при этом в сравнении с первой стадией возрастает в результате подпирающего действия боковых стенок штампа.

В третьей стадии часть избыточного металла вытекает в облойную канавку, располагающуюся вокруг полости штампа. В это время облой (заусенец) начинает выполнять свою главную технологическую функцию – закрывает полость штампа и препятствует течению металла из нее. При уменьшении высоты заусенца на мостике сопротивление выходу металла в канавку возрастает, и к концу третьей стадии штамповки вся полость штампа оказывается заполненной. Суммарная сила штамповки (в полости штампа и на мостике облойной канавки) при этом значительно выше, чем в предыдущих стадиях.

Теоретически этот момент должен совпадать с концом всего процесса штамповки. Однако, на практике, вследствие колебаний размеров заготовки, ее объем задают, как правило, несколько больше требуемого. Поэтому в последний момент штамповки (четвертая стадия) происходит доштамповка поковки, обеспечивая получение требуемой высоты поковки, характеризующаяся вытеканием избытка металла в облой. Сила штамповки на четвертой стадии резко возрастает.

Если объем заготовки будет меньше оптимального, то полость штампа будет незаполненной. При избыточном объеме заготовки наблюдается перерасход металла в облой и резкий рост силы штамповки.

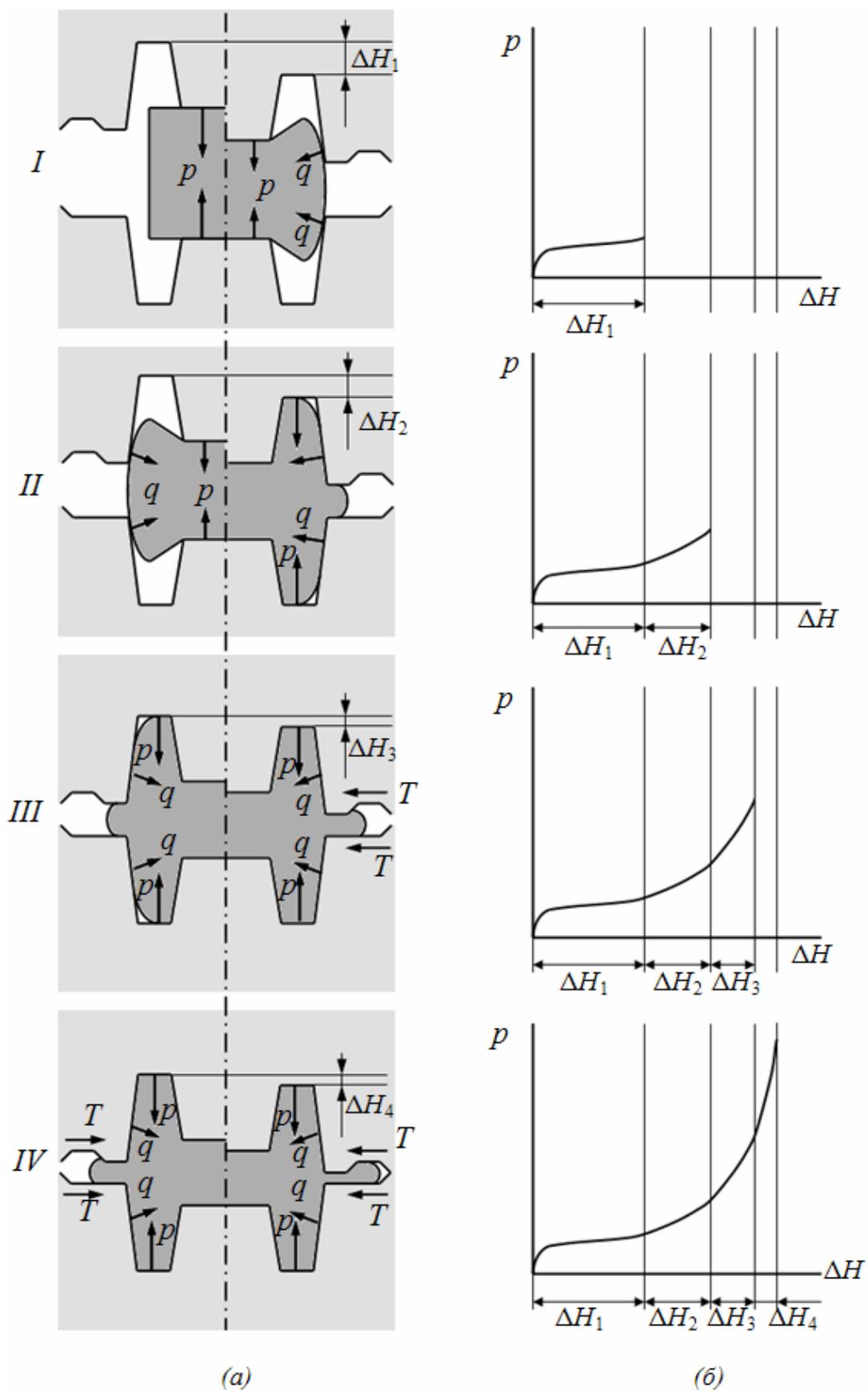


Рис. 1.1. Стадии процесса штамповки (а) и соответствующие им усилия (б)

## 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОКОВКИ

В работе рассматривается процесс открытой штамповки осесимметричной поковки (Рис. 1.2) из цилиндрической заготовки с соотношением размеров  $H/D = 1$ .

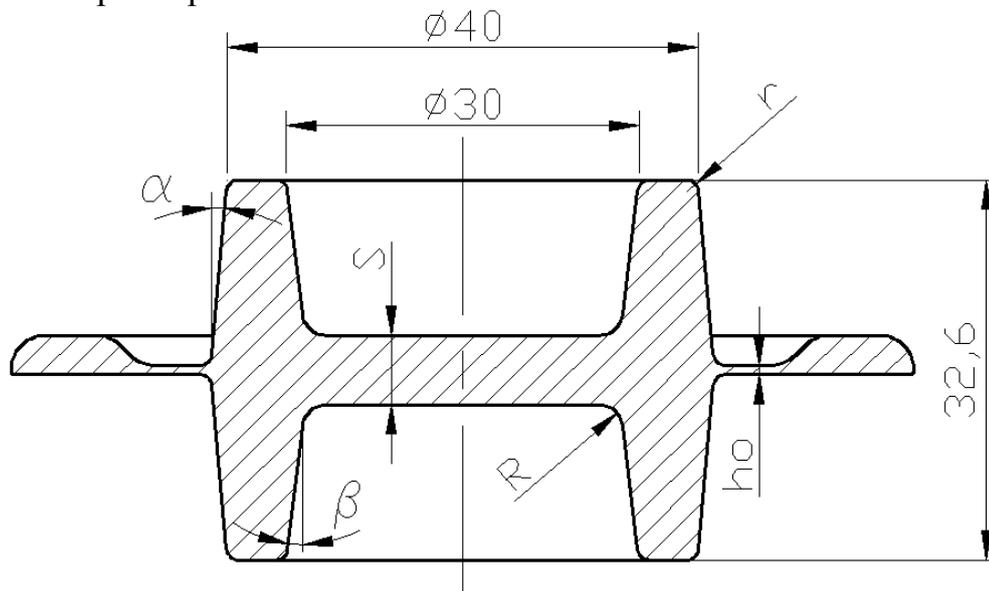


Рис. 1.2. Эскиз поковки

Заданная поковка является упрощенным примером типовой задачи штамповки осесимметричной детали со сквозным отверстием вдоль оси симметрии (деталь типа «втулка»). Данный тип поковок штампуют осаживанием в торец заготовки.

Сквозное отверстие осадкой в торец получить невозможно, практически возможно только получение наметок диаметром у основания  $d_{\text{осн}} > 30$  мм. В связи с этим поковку утяжеляют напуски на перемычку. Толщина наметки  $S$  зависит от размеров поковки в плане и составляет не менее 4 мм для плоской наметки. В данном случае наметка плоская, расположена по линии разреза штампа.

Так же к напускам, утяжеляющим поковку, относятся штамповочные уклоны. Штамповочные уклоны облегчают удаление поковки из штампа без существенного повреждения готовой поковки и, что более важно, без повреждения штампа. Для штамповки на прессах при наличии выталкивателей они составляют не более  $5^\circ$  на наружные поверхности поковки ( $\alpha$ ) и  $7^\circ$  – на внутренние, охватывающие выступающие части ручья ( $\beta$ ).

Радиус закругления на наружных поверхностях ( $r$ ) назначается в зависимости от массы поковки и глубины полости ручья штампа. Внутренние радиусы закругления ( $R$ ) больше наружных в 2 – 3 раза и зависят от глубины наметок.

Материал поковки: Ст45

Плотность:  $7,75 \text{ кг/м}^3$

Объем готовой поковки:  $27060 \text{ мм}^3$

Масса готовой поковки:  $M_{\text{п}} = V_{\text{п}} \cdot \rho = 27060 \cdot 7,75 \cdot 10^{-6} = 0,210 \text{ кг}$ .

По массе поковка относится к мелким.

По соотношению размеров ( $D/H > 0,7$ ) – к высоким.

При открытой штамповке не требуется точное определение объема (массы) заготовки, его берут в  $1,15 \div 1,3$  раза больше объема поковки, избыточный металл вытекает из ручья штампа образуя облой (заусенец).

Для заданной поковки выбран наиболее распространенный I тип облойной канавки, состоящий из мостика и магазина.

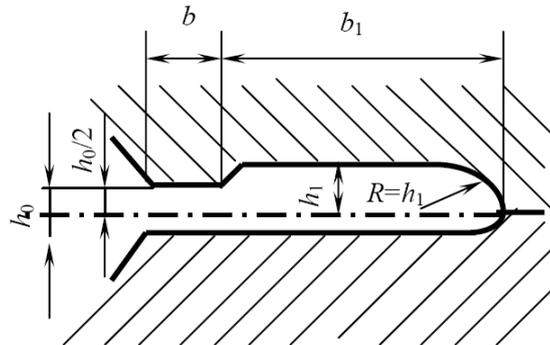


Рис. 1.3. – Облойная канавка I типа

Размеры канавки стандартизированы. Необходимо только определить высоту ( $h_0$ ) облойного мостика по формуле:

$$h_0 = 0,015D_n,$$

где  $D_n$  – диаметр поковки в плане, мм.

Округлим величину  $h_0$  до ближайшего большего размера [1].

Номер канавки – 2.

#### Размеры облойной канавки №2

Таблица 1.

$h_0$	$h_1$	$b$	$b_1$
0,8	3	6	20

Объем облоя:  $3840 \text{ мм}^3$ .

Объем заготовки (без учета угара):  $30900 \text{ мм}^3$

Масса заготовки:  $M_3 = V_3 \cdot \rho = 30900 \cdot 7,75 \cdot 10^{-6} = 0,240 \text{ кг}$ .

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

### Параметры моделирования:

- материал заготовки – Сталь 45
  - тах накопленная деформация – 11,5
  - тах скорость деформации –  $1000 \text{ c}^{-1}$
- температура заготовки –  $1200^\circ\text{C}$
- температура инструмента –  $300^\circ\text{C}$
- смазка – графит+вода
  - фактор трения – 0,4

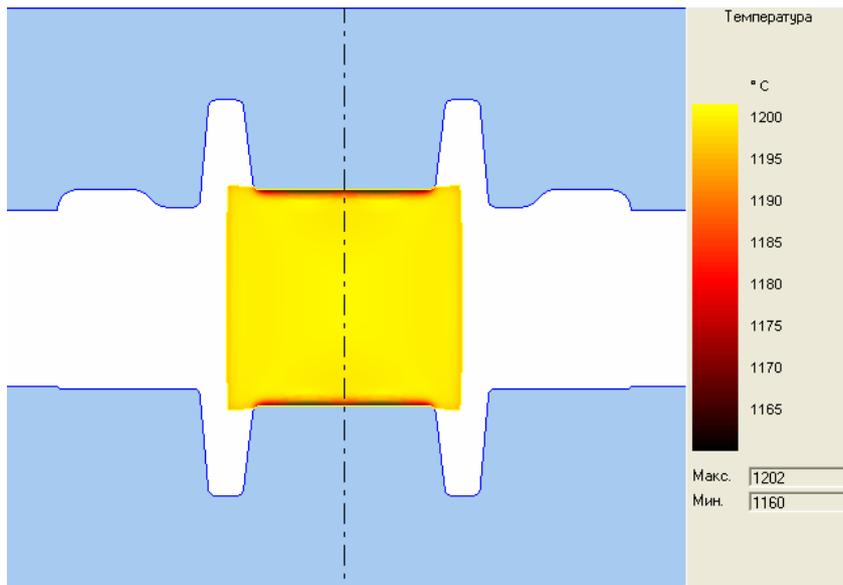
### 2.1. Температура

При моделировании процесса штамповки изначально температура заготовки принимается одинаковой по всему ее сечению. В реальности довольно важно, чтобы к моменту начала обработки перепад температур в центре и на поверхности заготовки был минимальным. Это необходимо учитывать и на этапе нагрева и при транспортировке, т.к. поверхность заготовки в результате теплообмена с окружающей средой начинает остывать раньше и интенсивнее центра.

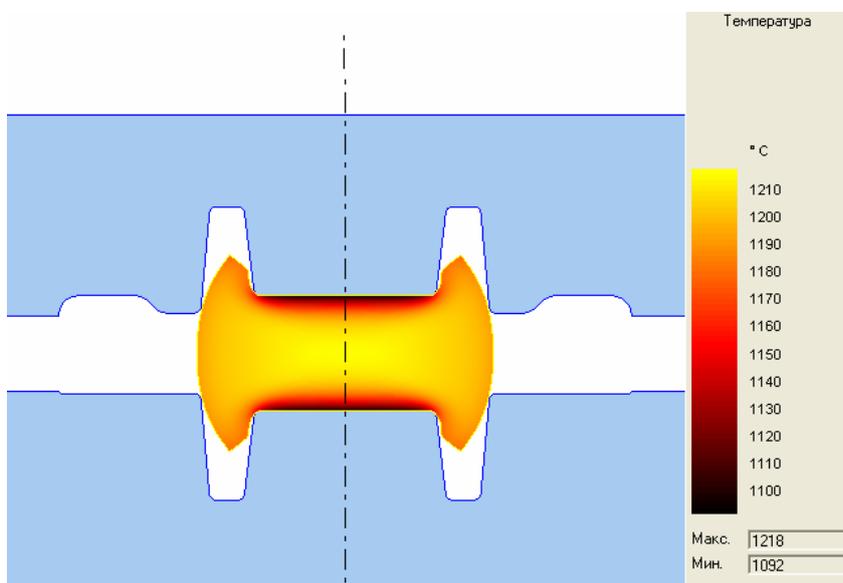
Охлаждение металла в штампе происходит заметно быстрее, чем на воздухе. Температура металла на поверхности тем ниже, чем дольше она соприкасается с поверхностью ручья штампа. Для предотвращения теплового износа штампа (в результате резкого перепада температур) и улучшения условий течения металла штамповку целесообразно проводить в предварительно подогретых штампах. Температура штампов при изготовлении поковок на гидравлических прессах (учитывая скорость деформирования)  $300 - 350^\circ\text{C}$ . Для сравнения, на молотах и КГШП  $150 - 350^\circ\text{C}$ .

Тепловыделение внутри поковки происходит за счет работы деформации. На облойном мостике металл имеет температуру больше температуры начала деформации по тем же причинам.

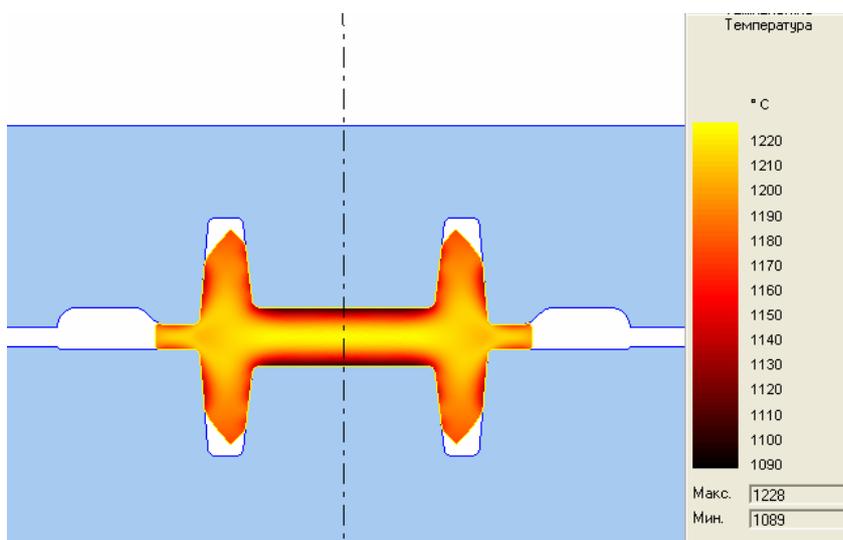
Из результатов моделирования (Рис. 2.1) видно, что в местах соприкосновения металла с поверхностью ручья штампа охлаждение происходит наиболее интенсивно, при этом в центре наоборот металл несколько разогревается. Градиент температур в конечный момент штамповки составляет  $130^\circ\text{C}$ . Это приводит к появлению *дополнительных напряжений* внутри поковки.



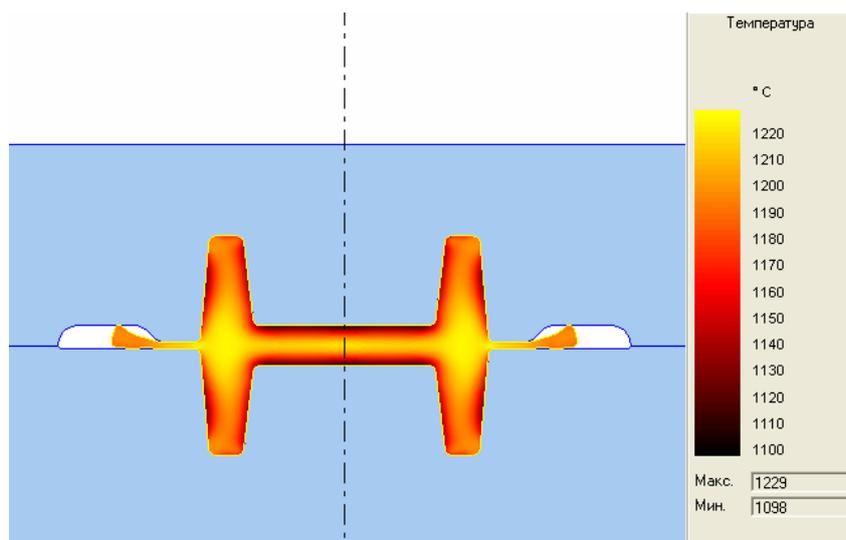
**I стадия**



**II стадия**



**III стадия**



**IV стадия**

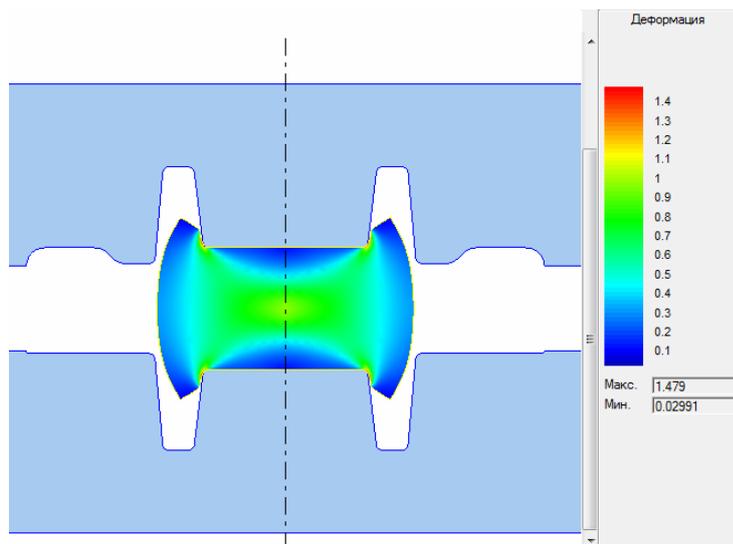
Рис. 2.1. Температурные поля по стадиям штамповки

## **2.2. Деформации и напряжения**

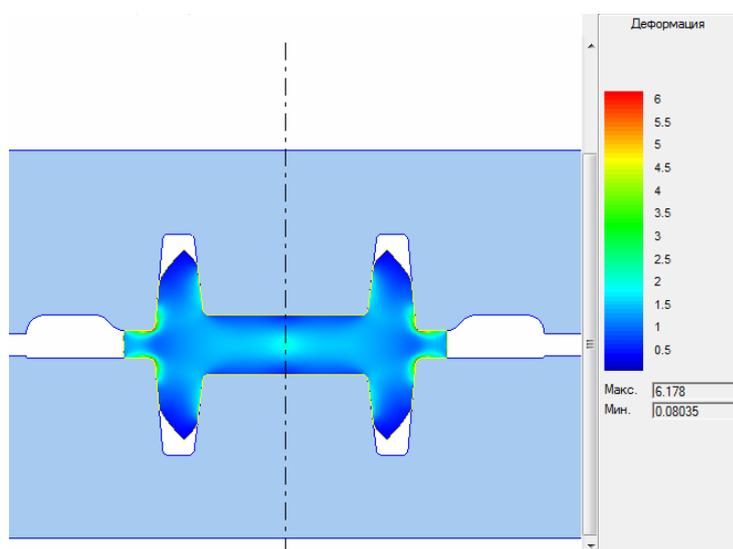
Для оценки величины пластического формоизменения металла при приложении к нему внешних сил существует понятие *деформации*.

От степени деформации зависят механические свойства отштампованной поковки, поэтому распределение деформаций в поковке является довольно важным фактором. Как видно из эксперимента (Рис. 2.2), деформация распределена неравномерно. На стадии осадки деформация в центре заготовки значительно больше, чем на свободной поверхности (боковой). Поверхность контакта заготовки с инструментом практически не деформируется. Дело в том, что поверхностное трение из-за шероховатостей на поверхностях ручьев штампа создает значительное сопротивление течению металла и приводит к образованию зон затрудненной деформации.

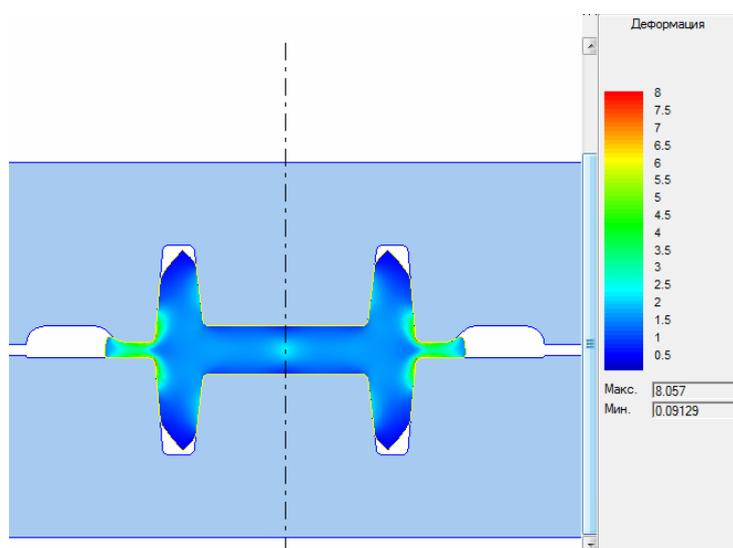
Максимальные значения наблюдаются в местах, где существуют естественные препятствия течению металла (выступы, уступы) и, конечно же, на облойном мостике, где накопленная степень деформации в разы превышает деформации в поковке.



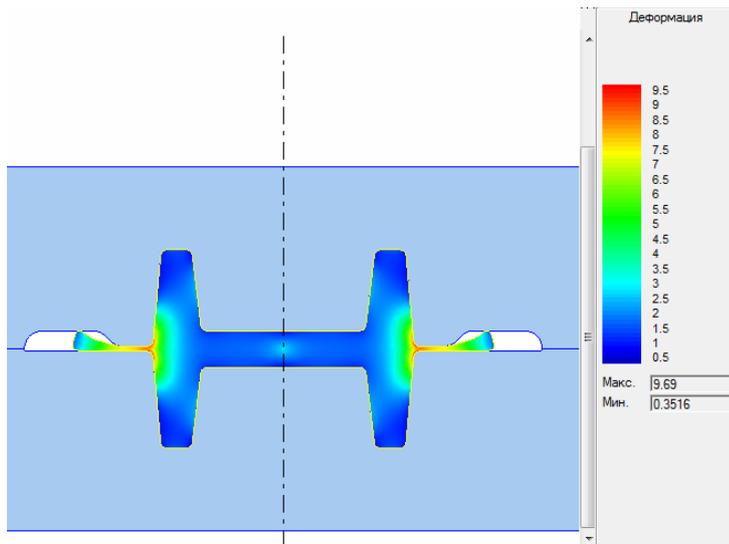
**I стадия:** очаг деформации в центре заготовки, накопленная деформация достигает 1; где есть выступы – максимальная деформация, в 1,5 раза превышает накопленную деформацию в центре; на контактной поверхности деформации близки к нулю; на боковой поверхности они незначительны.



**II стадия:** в центре накопленная деформация достигает 2; максимальная деформация на выступах, образующих облойный мостик, и составляет 6; минимальная – на контактной поверхности с инструментом и на участках, не соприкасающихся с инструментом, близка к нулю.



**III стадия:** накопленная деформация в центре меняется незначительно, на облойном мостике достигает 8.

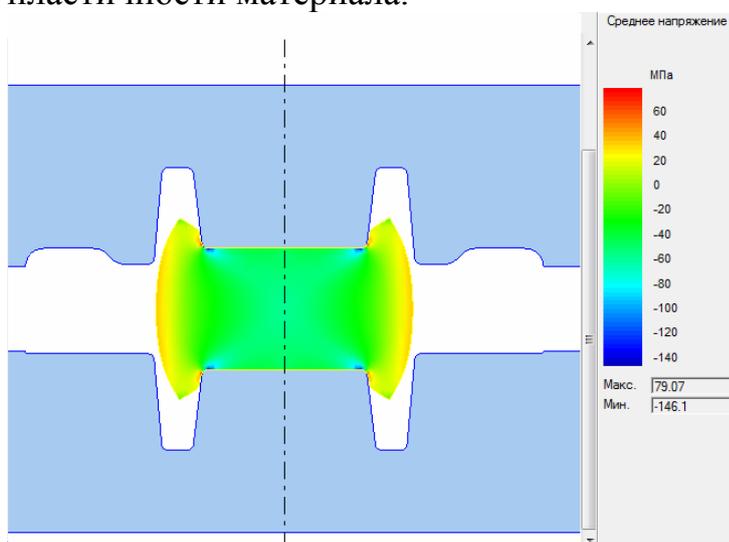


**IV стадия:** в центре 2,5; на облойном мостике 9,7; в остальных зонах накопленная деформация колеблется от 0,5 до 1,5.

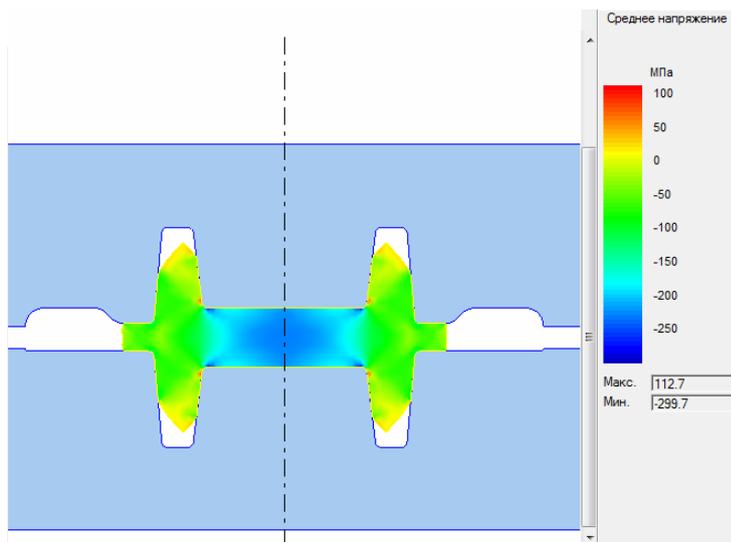
Рис. 2.2. Накопленная деформация по стадиям

Деформации и напряжения, возникающие в поковке при приложении к ней внешних сил для пластического деформирования, неразрывно связаны. *Среднее напряжение* в той или иной точке заготовки характеризует давление, оказываемое инструментом на заготовку (Рис. 2.3). Они могут быть сжимающими (со знаком «-») и растягивающими (со знаком «+»). И, так же как и на деформацию, на значения средних напряжений оказывают существенное влияние силы трения, возникающие на контакте поверхности заготовки с инструментом, а также форма инструмента (элементы ручья штампа).

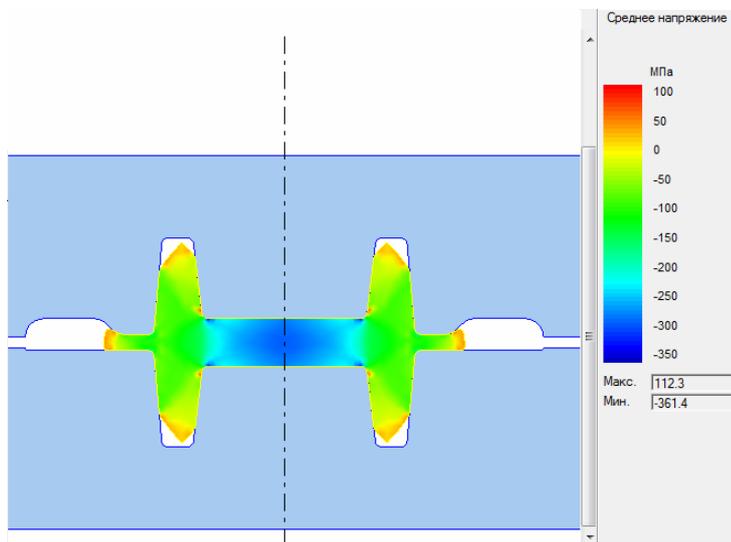
Напряженное состояние при объемной штамповке – трехосное неравномерное сжатие, характеризуется наиболее благоприятными условиями деформирования. При этой схеме повышается ресурс пластичности материала.



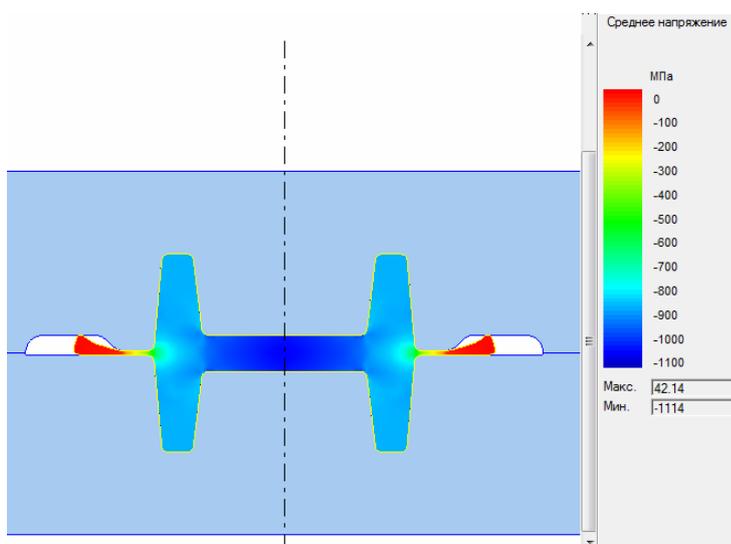
**I стадия:** в центре наблюдаем сжимающие напряжения, абсолютные значения которых достигают -70 МПа; на боковой поверхности – растягивающие до 35 МПа. Максимальные значения в зонах ручья, где есть уступы, здесь в результате трения образуется зона сжатия с одной стороны и зона растяжения с другой: -150 и 80 МПа.



**II стадия:** в центре напряжение сжимающее - 250 МПа; на уступах попержнему сложное напряженное состояние и максимальные значения: - 300 и 100 МПа; в зонах, где течение металла вверх и вниз не ограничено инструментом среднее напряжение мало; на мостике -100 МПа.



**III стадия:** в центре сжимающие напряжения - 320 МПа; в свободных зонах, в том числе в магазине облойной канавки, преобладают растягивающие напряжения до 40 МПа; в остальных зонах изменения незначительны.



**IV стадия:** сжимающие напряжения в разы увеличиваются; на перемычке -1100 МПа, в остальной части поковки колеблются от -850 до -900 МПа; растягивающие напряжения только в магазине облойного мостика.

Рис. 2.3. Изменение средних напряжений по стадиям

### 2.3. Кинематические линии течения металла

Линии Лагранжа служат для визуализации кинематики течения металла. По ним можно судить о полученной макроструктуре и направленности волокон в поковке, а также о возможности образования дефектов при физическом моделировании.

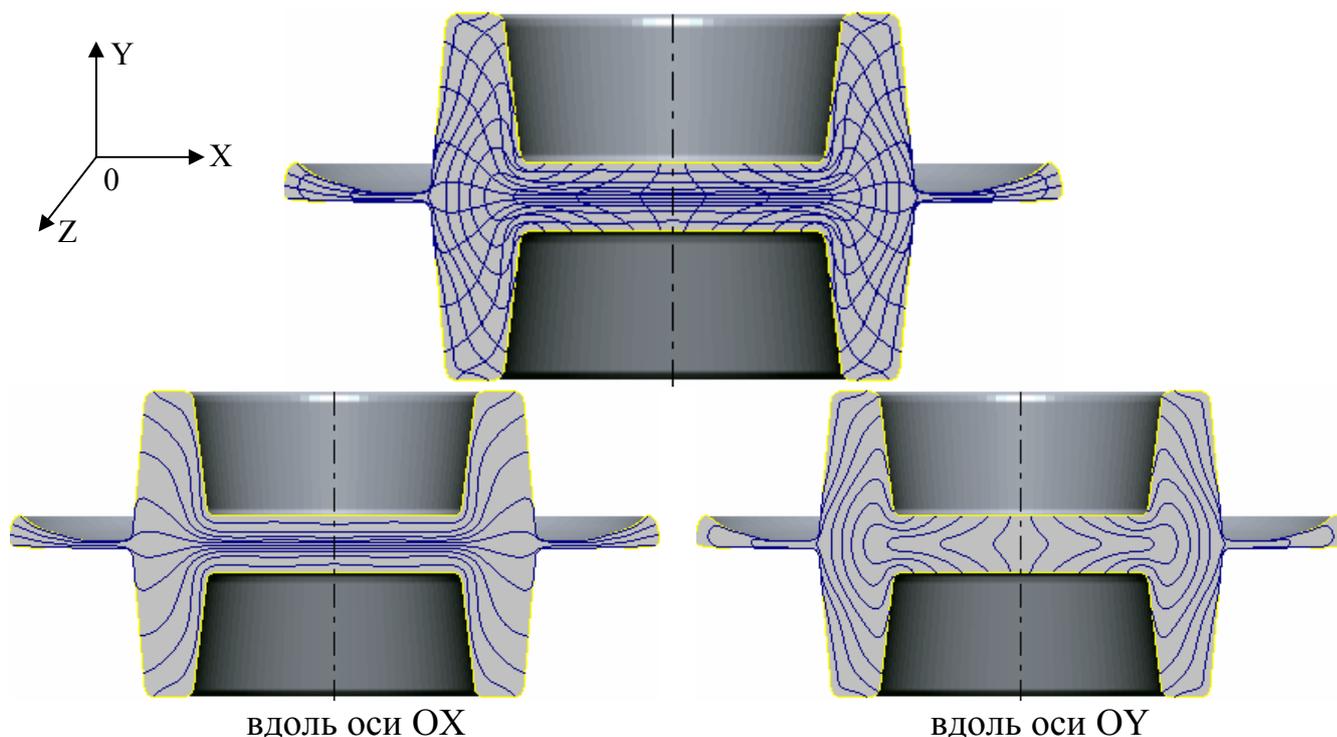


Рис. 2.4. Линии тока

Из полученных экспериментальных данных (Рис. 2.4) видно, что наибольшей деформации подверглась центральная часть (перемычка) и облойный мостик. После удаления перемычки и облоя макроструктуру поковки в целом можно считать удовлетворительной, без предрасположенности к появлению дефектов. После механообработки внешняя поверхность втулки будет более прочной при рабочей нагрузке по износу и качественной, чем внутренняя, так как ориентация волокон в этом участке неблагоприятна и после механообработки волокна будут подрезаны.

### 2.4. Силовые параметры

Очень важным с технологической точки зрения параметром является *усилие деформирования*. Этот параметр необходим для выбора оборудования и оценки энергозатрат. На практике искомым является сила, затрачиваемая на деформацию, в конечный момент штамповки, т.к. из

предыдущего анализа полей деформации и напряжений следует, что именно в этот момент она приобретает максимальное значение.

Приведем график изменения силы открытой штамповки во времени для заданной поковки (Рис. 2.5). Маркерами отмечены границы между характерными стадиями штамповки.

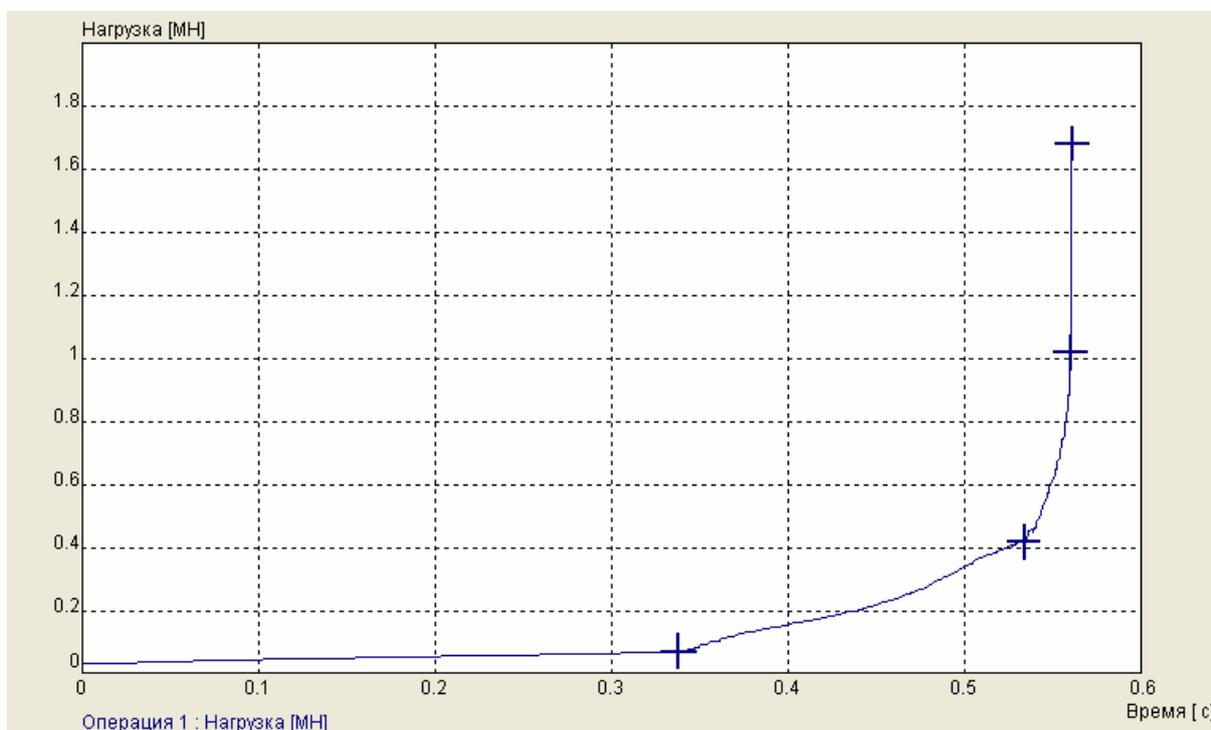


Рис. 2.5. Изменение усилий по стадиям

На первой стадии, стадии свободной осадки, которая занимает 60% времени деформации, максимальная сила составляет 0,1 МН. На второй стадии на заготовку действуют также и сжимающие силы со стороны боковых стенок ручья штампа, и к ее концу потребно усилие достигает 0,45 МН. Эти стадии наиболее продолжительные и составляют 93% времени деформации. На третьей стадии потребная сила возрастает до 1,05 МН, т.е. больше чем в 2 раза по сравнению со второй. А на стадии «доштамповки» рост усилия до 1,7 МН происходит наиболее резко, ее длительность менее 1% от времени деформации. Таким образом, усилие деформации при смыкании штампов, когда полость ручья заполнена, больше чем усилие при свободной осадке в 17 раз.

Усилие деформации прямопропорционально зависит от *сопротивления металла деформации*. Поэтому можно сказать, что на величину усилия влияют:

- температура металла;
- степень деформации;
- скорость деформации.

На усилие так же влияет геометрия штампа. Резкое увеличение усилий на последних стадиях наблюдаются в связи с тем, что высота облойного мостика уменьшается, деформации увеличиваются и сопротивление металла деформации в этой зоне тоже увеличивается, за счет трения на мостике создается подпор и течение металла из ручья штампа становится все более затруднительным. Это способствует заполнению сложных, труднозаполняемых полостей, углов в ручье штампа.

Течение металла в углы ручья штампа сопровождается высокой концентрацией напряжений в этом участке, что даже может приводить к образованию трещин в углах гравюры штампа. Вполне естественно, что требуемое усилие деформации на этом этапе резко увеличивается и приобретает максимальное значение к концу штамповки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведен анализ результатов моделирования открытой горячей штамповки осесимметричной поковки по стадиям процесса.

Результаты проведенного анализа позволили уточнить количественно качественную картину нашего представления о протекании процесса открытой штамповки по стадиям.

Для поковки типа «втулка» доля времени деформации составляет по стадиям: I – 60%; II – 33%; III – 6%; IV ~ 1%, а сила штамповки возрастает от 0,1 МН на I стадии до 0,45 МН на II стадии (в 4,5 раза), до 1,05 МН на III стадии (в 10 раз) и до 1,7 МН на IV стадии (в 17 раз).

Полученные данные могут быть полезны при разработке технологического процесса ГОШ и для расчета конструкции исполнительного механизма кузнечно-прессовых машин.

**Список литературы:**

1. *Охрименко Я. М.* Технология кузнечно-штамповочного производства. – М.: Машиностроение, 1975, 560 с.
2. *Семенов Е.И.* Ковка и штамповка. Справочник в четырех томах. Том 2. Горячая объемная штамповка. – М.: Машиностроение, 1987, 592 с.