

УДК 621.98

## **Исследование цифровым моделированием технологического процесса горячей объемной штамповки полых поковок с целью повышения стойкости инструмента**

**Мышечкин Алексей Александрович**

**Боровик Татьяна Николаевна**

**Скрипник Сергей Васильевич**

skripnik53@yandex.ru

*РТУ МИРЭА, Москва, Россия*

**Аннотация.** Предложен новый технологический процесс изготовления поковок с глубокими полостями методом горячей штамповки, позволяющий снизить нагрев и удельные усилия на инструменте, а также повысить его стойкость. Разработанная технология включает операции осадки исходной заготовки, горячей штамповки наружного профиля полученной поковки, выдавливания внутренней полости оправки и открытой штамповки заднего конического участка оправки.

**Ключевые слова:** моделирование, программа QForm, горячее объемное формоизменение, штамп

## **Research of the technological process of hot die - casting of hollow forgings by digital modeling in order to increase the durability of the tool**

**Myshchekin Alexey Alexandrovich**

**Borovik Tatiana Nikolaevna**

**Skripnik Sergey Vasilyevich**

skripnik53@yandex.ru

*RSTU MIREA, Moscow, Russia*

**Abstract.** A new technological process for manufacturing forgings with deep cavities by hot die-casting has been proposed, which allows to reduce heating and specific forces on the tool, as well as to increase its durability. The developed technology includes the operations of the initial blank, hot stamping of the outer profile of the obtained forging, extrusion of the inner cavity of the mandrel and open stamping of the rear conical section of the mandrel.

**Keywords:** modeling, QForm program, hot volumetric shaping, stamp

**Введение.** При разработке технологического процесса горячей штамповки стоит задача достижения следующих задач: максимальное приближение штампуемой поковки к готовой детали с целью снижения расхода металла и уменьшения последующей механической обработки, получение заданных механических характеристик, микро- и макроструктуры металла с целью повышения эксплуатационных характеристик деталей. Однако при горячей

штамповке некоторых поковок достижение поставленных задач ограничено технологическими возможностями процессов, прежде всего стойкостью инструмента. Примером таких поковок являются поковки с глухими, узкими и глубокими полостями. К таким поковкам с глубокими полостями можно отнести муфты, стаканы, гильзы, оправки косовалковых прошивных станов, рубашки цилиндров и др. Для проведения исследований и разработки технологического процесса в данной работе использована оправка прошивного стана, используемая при производстве бесшовных труб (рис. 1). Особенностью оправок прошивных станов является наличие глухой и глубокой полости и обратного конуса на наружной поверхности.

Оправка условно состоит из трех участков: концевой выступ (носик) диаметром  $d$ , рабочая часть оправки с максимальным диаметром  $D$ , задний конический участок (обратный конус) длиной  $l_k$  с диаметром у основания  $D_k$  и имеет полость глубиной  $h$ , при этом  $h/D_0 > 2,2$ . Рабочая часть может быть выполнена в виде конуса или по радиусу  $R$ . Технологической особенностью оправки прошивного стана в сравнении с другими аналогичными поковками с глубокими полостями является наличие заднего конического участка с размерами  $D_k$ ,  $l_k$  (рис. 1). При этом  $D_k = (0,94-0,96)D$ ;  $l_k = (0,2-0,25)H$ . Общую длину прошивной оправки рекомендуется выбирать в пределах  $H/D = 1,9-2,8$  в зависимости от размеров оправки, вида и материала заготовки, радиус рабочей части  $R/D = 2,0-5,0$ . Диаметр оправки определяется в зависимости от размеров получаемой при прокатке гильзы:  $D = D_r - 2S_r$ , где  $D_r$  — диаметр гильзы;  $S_r$  — толщина стенки гильзы. Диаметр носика оправки определяют в зависимости от диаметра заготовки  $D_3$ :  $d = (0,15-0,25)D_3$ .

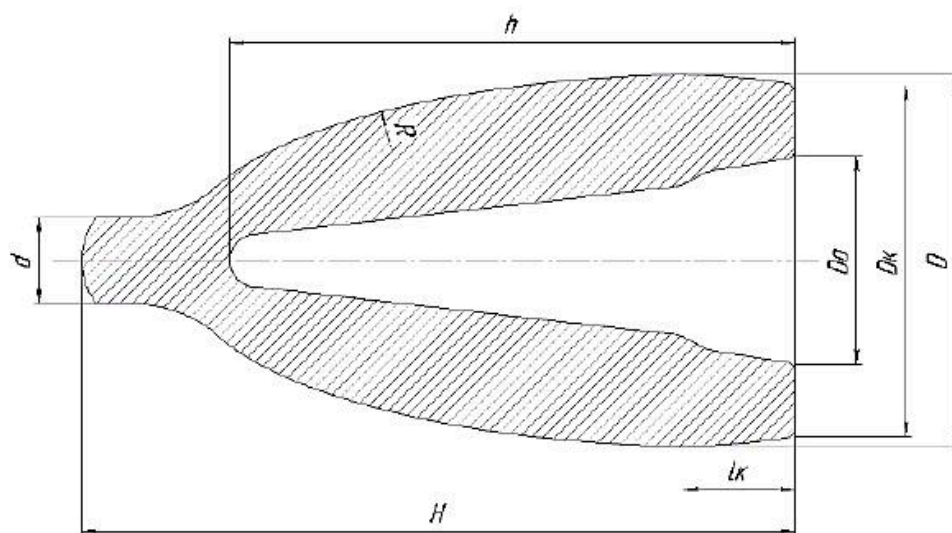


Рис. 1. Оправка прошивного стана

В процессе эксплуатации прошивные оправки имеют низкую стойкость, так как подвергаются циклическому высокотемпературному воздействию при значительных давлениях деформируемого металла при движении его относи-

тельно оправки [1]. Поэтому увеличение износостойкости и срока службы прошивных оправок имеет важное практическое значение. При этом большое влияние на стойкость прошивных оправок способ их получения. В настоящее время прошивные оправки получают в основном литьем, а также заковкой патрубков из специально прокатанных труб. При этом литые оправки имеют низкую стойкость и требуют большой механической обработки. Кованные оправки имеют высокую трудоемкость изготовления и требуют также значительной последующей механической обработки.

Для повышения стойкости оправок необходимо создать специальную волнонистую макроструктуру металла. Такую структуру можно получить пластической деформацией. Поэтому для повышения стойкости оправок в ряде работ предложено получать их объемной штамповкой с минимальной механической обработкой [2–4]. Однако такие оправки до настоящего времени не нашли широкого применения вследствие сложности технологического процесса и не достаточной его исследованности для определения оптимальных параметров (размеры заготовки, оптимальные переходы штамповки и др.).

Сложность изготовления поковок с узкими и глубокими полостями объясняется прежде всего тяжелыми условиями работы и низкой стойкостью пуансона для выдавливания полости, который испытывает большие удельные усилия при значительном тепловом воздействии и вследствие этого имеет низкую стойкость. Температура на поверхности пуансона в наиболее нагруженной нижней части достигает 900 °С. Сложность разработки таких процессов объясняется также тем, что для получения оптимальных результатов необходимо правильно определить ряд технологических параметров, значение которых выбирается в значительной степени на основе опыта специалистов. К таким параметрам относятся размеры и вид исходной заготовки, необходимость и величина предварительного подогрева инструмента, вид предварительных ручьев, характер формоизменения заготовки в этих ручьях, радиусы закруглений поковки, выбор смазок.

Поэтому в последнее время при разработке и отладке сложных технологических процессов пластического формоизменения применяются методы компьютерного моделирования. В частности, для горячего объемного формоизменения (горячей объемной штамповки) в последнее время успешно используют программные комплексы QForm, основанные на методе конечных элементов и позволяющие моделировать формоизменение металлов с учетом действия различных факторов [5, 6]. В последнее время в программе появилась возможность оценивать износ и стойкость инструмента.

Целью настоящей работы является разработка и исследование цифровым моделированием в программе QForm технологического процесса горячей объемной штамповки поковок с узкими полостями с целью повышения стойкости инструмента.

**Основная часть.** На основе конструктивно-технологического анализа особенностей оправки и существующих технологических процессов для повышения стойкости инструмента в работе предложен технологический процесс

горячей штамповки оправки прошивного стана, включающий в себя операции горячей штамповки наружного профиля получаемой поковки, выдавливание внутренней полости оправки, открытой штамповки заднего конического участка оправки. При этом для улучшения условий работы и повышения стойкости инструмента для выдавливания внутренней полости оправки предложено после горячей штамповки наружного профиля производить предварительное выдавливание внутренней полости оправки с увеличенными размерами, а затем горячей штамповкой (осадкой) выполнять окончательное формирование внутренней полости и заднего конического участка оправки (рис. 2). Увеличение поперечного сечения полости оправки позволяет значительно снизить температуру по сечению пуансона для выдавливания этой полости и увеличить его износостойкость, что подтверждено дальнейшими исследованиями.

При разработке технологического процесса горячей штамповки в начале, на основе технико-экономического анализа, выбирается схема процесса и по известным методикам [7], в соответствии с законом сохранения объема и рекомендуемых соотношений диаметра и высоты заготовки, определяются размеры исходной заготовки и размеры заготовки после осадки ( $D_{ос}$ ,  $H_{ос}$ ). Для улучшения центрирования заготовки на следующем переходе за счет приближения ее профиля к профилю поковки на штамповочном переходе и уменьшения ее перекося использована специальная осадка с формированием заходного конуса с углом  $\alpha$ .

Для исследования цифровым моделированием, подтверждения правильности принятых решений и определения оптимальных параметров предложенного технологического процесса выбрана оправка прошивного стана диаметром  $D = 130$  мм,  $H = 250$  мм,  $R = 270$  мм,  $d = 30$  мм из стали 20ХН4ФА (рис. 2). При разработке технологического процесса определены размеры исходной заготовки:  $D_з = 100$  мм, высота  $H_з = 232,5$  мм. Температура нагрева заготовки —  $1200^\circ\text{C}$ . Моделирование проводилось с использованием закона трения Леванова со стандартными параметрами, фактор трения  $m = 0,4$ . В качестве смазки выбрана смесь графита с водой. Для уменьшения охлаждения заготовки и уменьшения температурного перепада по сечению штампуемой поковки используется подогрев инструмента, температура подогрева принята  $200^\circ\text{C}$ . Технологические переходы при штамповке оправки представлены на рис. 2. Технологический процесс включает специальную осадку с формированием заходного конуса (рис. 2, а) и штамповку комбинированным выдавливанием наружного профиля поковки и предварительное выдавливание глухой полости поковки, имеющей поперечное сечение ( $d_1 = 80$  мм,  $R = 17,5$  мм) больше, чем сечение полости готовой оправки (рис. 2, б). Увеличение поперечного сечения полости оправки позволяет значительно снизить температуру по сечению пуансона для выдавливания этой полости и увеличить его износостойкость, что подтверждено дальнейшими исследованиями. Далее происходит окончательное формообразование штамповкой внутренней полости оправки (рис. 2, в) и штамповка заднего конического участка оправки (рис. 2, г).

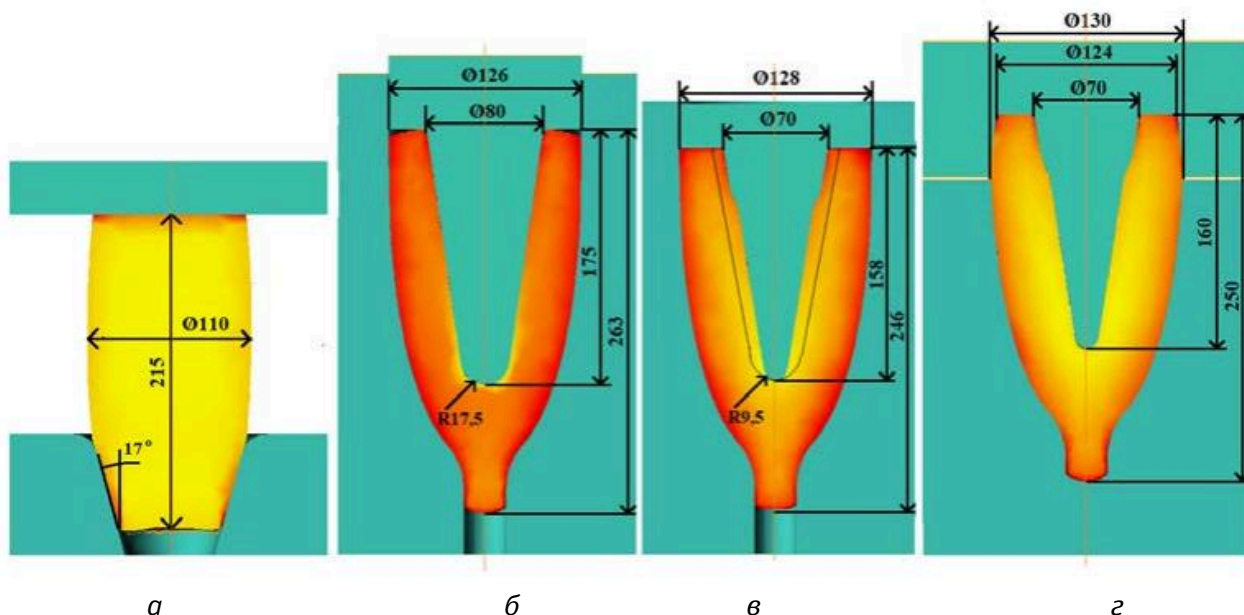


Рис. 2. Цифровое моделирование переходов горячей штамповки поковки диаметром  $D = 130$  мм

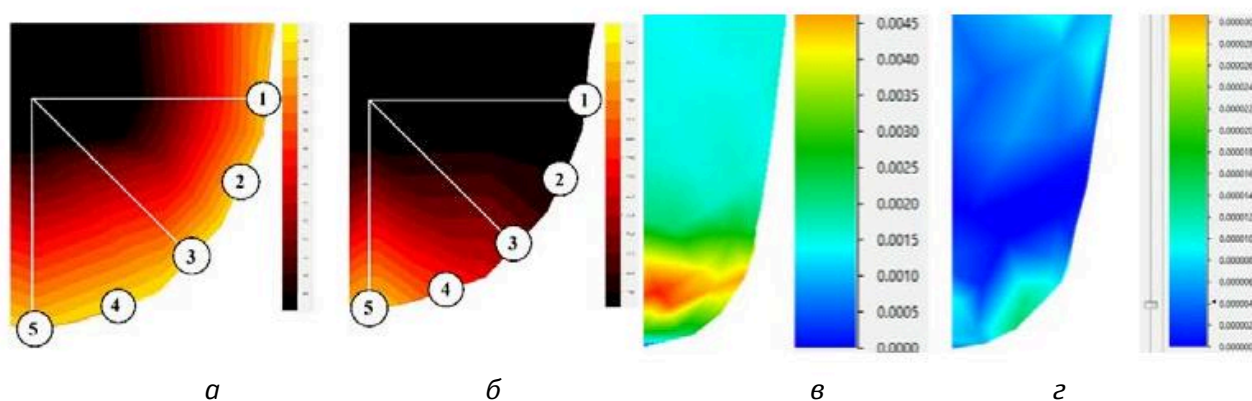


Рис. 3. Распределение температуры (а, б) и показателя износа (в, г) по сечению пуансона при получении готовой полости изделия выдавливанием (а, в) и горячей штамповкой (б, г)

При проведении цифрового моделирования исследованы условия работы пуансона (температура, интенсивность и среднее напряжение, интенсивность напряжений, показатели износа) при получении полости изделия с заданными размерами выдавливанием и горячей штамповкой после предварительного выдавливания полости увеличенных размеров. Результаты исследований представлены на рис. 3 и в таблице.

Анализ полученных результатов показывает, что значения напряжений на поверхности пуансонов, температуры, показателей износа свидетельствуют об улучшении условий работы инструмента при получении глубоких полостей при использовании предложенной технологии. Это позволит значительно повысить стойкость инструмента и снизить требования к свойствам материала для его изготовления. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования в промышленности предложенного способа изготовления изделий с глубокими полостями горячей объемной штамповкой.

### Распределение температуры, среднего напряжения, интенсивности напряжений и показателей износа на поверхности пуансона

| № то-<br>чки | Выдавливание готовой полости |       |               |                |                                     | Штамповка готовой полости |       |               |                |                                     |
|--------------|------------------------------|-------|---------------|----------------|-------------------------------------|---------------------------|-------|---------------|----------------|-------------------------------------|
|              | ср,<br>МПа                   | t, °C | Износ,<br>Ктр | Износ,<br>Кдав | Инт-<br>сть<br>напр.,<br>$\sigma_i$ | $\sigma_{ср}$ ,<br>МПа    | t, °C | Износ,<br>Ктр | Износ,<br>Кдав | Инт-<br>сть<br>напр.,<br>$\sigma_i$ |
| 1            | 280                          | 890   | 0,0025        | 0,0135         | 188                                 | 210                       | 201   | 0,000002      | 0,0000265      | 120                                 |
| 2            | 280                          | 910   | 0,0038        | 0,0155         | 224                                 | 302                       | 203   | 0,000005      | 0,0000369      | 267                                 |
| 3            | 325                          | 925   | 0,0049        | 0,017          | 240                                 | 312                       | 205   | 0,000011      | 0,0000459      | 236                                 |
| 4            | 300                          | 945   | 0,0032        | 0,014          | 206                                 | 357                       | 209   | 0,000008      | 0,0000518      | 221                                 |
| 5            | 290                          | 950   | 0,001         | 0,003          | 160                                 | 300                       | 212   | 0,0000065     | 0,0000325      | 210                                 |

**Заключение.** Разработан и исследован технологический процесс горячей штамповки поковок с глубокими и глухими полостями, обеспечивающий снижение износа и повышение стойкости инструмента. Выполнено цифровое моделирование и определены параметры технологических переходов разработанного процесса горячей штамповки поковок. Определено напряженное состояние, температурные условия и показатели износа инструмента.

#### Список источников

- [1] Сазоненко И.О., Земцов В.А., Юрчак А.Н. К вопросу повышения стойкости оправок прошивных станов. *Литье и металлургия*, 2012, № 4 (68), с. 135–138.
- [2] Мышечкин А.А., Юсупов В.С., Скрипник С.В. Определение оптимальных параметров процесса горячей объемной штамповки оправки прошивного стана моделированием в программе QFORM. *Прокатное производство. Приложение к журналу «Технология металлов»*, 2023, № 21. <https://doi.org/10.31044/1684-2499-2023-0-21-9-16>
- [3] Мышечкин А.А., Юсупов В.С., Преображенская Е.В., Скрипник С.В. Моделирование процесса горячей штамповки оправки прошивного стана. *Сталь*, 2022, № 10, с. 30–34.
- [4] Myshechkin A.A., Yusupov V.S., Preobrazhenskaya E.V. Simulation of the Hot Forging Process of Mandrels for Piercing Mill. *Steel in Translation*, 2022, vol. 52, no. 10, pp. 974–978.
- [5] Биба Н.В., Стебунов С.А., Гладков Ю.А. и др. QForm — универсальная и эффективная программа для моделированияковки и штамповки. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*, 2011, № 1, с. 36–42.
- [6] Сомкина А.С., Власов А.В. Применение математического моделирования методом конечных элементов для совершенствования процессов объемной штамповки деталей из цветных сплавов. *Инженерный вестник*, 2014, № 12, с. 71–82.
- [7] *Ковка и штамповка: Справочник. Т. 2. Горячая объемная штамповка*. Москва, Машиностроение, 2010, 592 с.