

УДК 621.73

*Жадан В.А., Овсепян А.А., Касьян Р.В., Кузьменко В.И., канд. техн. наук; Горкин М.В.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОКОВОК БЕЗ ШТАМПОВОЧНЫХ УКЛОНОВ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РАЗДАЧЕЙ

**Введение.** Горячей объемной штамповкой изготавливают большое разнообразие деталей по форме, размерам, массе и маркам материалов. Наиболее представительным типом деталей являются круглые в плане, осесимметричные поковки (шестерни, крышки, фланцы, барабаны, ступицы, стаканы). Основную массу деталей получают в открытых штампах. Объемная штамповка позволяет сделать это быстро, качественно, но данная технология предусматривает технологические напуски металла по боковым поверхностям (штамповочные уклоны) для успешного вынимания поковки из ручья штампа, что приводит к перерасходу металла и необходимости дальнейшей механической обработки. Это стало основополагающим фактором к исследованию методов обработки металлов давлением без штамповочных уклонов [1,2].

**Анализ последних достижений и публикаций.** В настоящее время в развитых зарубежных странах специалисты по разработке военной и гражданской техники ведут работы по созданию и внедрению современных высокопроизводительных технологий горячей объемной штамповки (ГОШ) без штамповочных уклонов, что позволяет получить значительную экономию энергии и материалов при одновременном повышении качества.

**Цель статьи.** Целью статьи является исследование технологии производства осесимметричных поволоков без штамповочных уклонов с использованием операции раздачи, включающей теоретический анализ с использованием современных ЭВМ; выбор рациональной схемы ведения процесса и на ее основе проведения эксперимента; разработка рекомендаций по выбору инструмента и оборудования.

**Основной материал.** Технология штамповки без штамповочных уклонов включает в себя производство промежуточной поковки классической технологией штамповки и дальнейшую ее раздачу, и прошивку отверстия в штампе совмещенного действия. Это позволило увеличить коэффициент использования материала (КИМ) на 17-25 % (в зависимости от типа производимой детали). На рисунке 1 представлена схема штамповки.

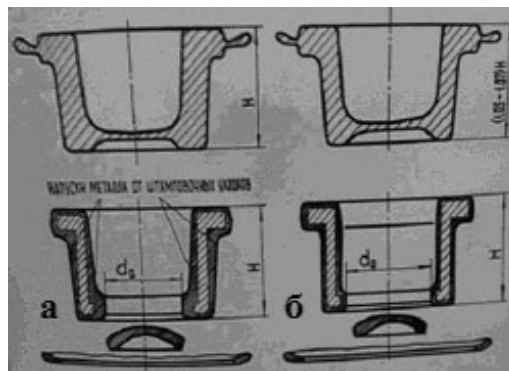


Рисунок 1 – Схема штамповки фланца: а – типичная схема, б – схема с раздачей

© В.А. Жадан, 2018

Существуют несколько технологических схем раздачи:

- раздача с расположением фланца сверху;
- раздача с расположением фланца снизу;
- раздача в секторном штампе.

В статье исследуется схема раздачи с расположением фланца сверху. Схемы раздачи с расположением фланца снизу и в секторном штампе не рассматривались.

Детально проработана технология с расположением фланца сверху. На рисунке 2 приведена схема проводимой раздачи. Промежуточную поковку 1 укладывают в выталкиватель 6. Пуансоном 4 осуществляется движение вниз. Прошивень 3 прошивает отверстие в поковке и осуществляет раздачу стенок до необходимых размеров, параллельно матрица 2 обрезает облой. После осуществления раздачи траверса 7 возвращает поковку в исходное положение, а выталкиватель 6 снимает поковку с пуансона.

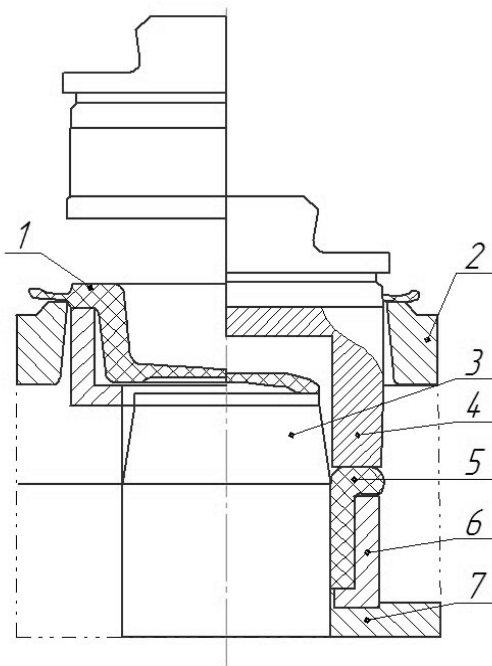


Рисунок 2 – Схема штампа совмещенного действия: 1 – промежуточная заготовка, 2 – матрица, 3 – прошивень, 4 – пуансон, 5 – поковка, 6 – выталкиватель, 7 – траверса

Но данная технология не лишена недостатков:

- потеря устойчивости детали при раздаче тонкостенных поковок, вследствие наличия осевой силы, которая возникает в результате прошивки отверстия;
- сложная схема деформирования. Известные схемы расчета не учитывают влияние изгиба и спрямление стенки поковки на усилие формоизменения;
- возможная разнотолщинность стенок поковки вследствие неточной центровки поковки относительно совмещенного штампа;
- большие энергозатраты на проведение процесса в связи с тем, что пуансон контактирует с поковкой на большом участке хода пресса.

Отмечено, что раздача является сложным, нестационарным процессом пластического течения металла и охватывает комплекс вопросов, связанных с природой вещества, его химическим составом, механикой действующих внутренних и внешних сил. Широкое применение предлагаемого способа штамповки и различных его схем реализации требуют надежных методов анализа и расчета процесса раздачи промежуточных

заготовок. Необходимо исследовать характер течения металла. На этой основе появляется возможность проанализировать направленно-деформированное состояние материала в очаге пластического течения, а также выполнить теоретический анализ силового режима деформирования.

Энергетическим методом было определено поле скоростей перемещений, поле скоростей деформаций и их интенсивность. Определены напряжения, действующие в очаге деформации, мощность и усилие деформации [1-5].

Аналогичные расчеты были проведены методом конечных элементов (МКЭ). Метод конечных элементов – численный метод решения задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики.

МКЭ основан на идее аппроксимации непрерывной функции (в физической интерпретации – температуры, давления, перемещения и т.д.) дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей, называемых конечными элементами. Исследуемая геометрическая область разбивается на элементы таким образом, чтобы на каждом из них неизвестная функция аппроксимировалась пробной функцией (как правило, полиномом). Причем эти пробные функции должны удовлетворять граничным условиям непрерывности, совпадающим с граничными условиями, налагаемыми самой задачей. Выбор для каждого элемента аппроксимирующей функции будет определять соответствующий тип элемента. Метод конечных элементов – это один из наиболее эффективных численных методов решения математических задач, описывающих состояние физических систем сложной структуры [6,7].

Отметим несколько важных достоинств метода конечных элементов.

1. Метод конечных элементов позволяет построить удобную схему формирования системы алгебраических уравнений относительно узловых значений искомой функции. Приближенная аппроксимация решения при помощи простых полиномиальных функций и все необходимые операции выполняются на отдельном типовом элементе. Затем производится объединение элементов, что приводит к требуемой системе алгебраических уравнений. Такой алгоритм перехода от отдельного элемента к их полному набору особенно удобен для геометрически и физически сложных систем.

2. Каждое отдельное алгебраическое уравнение, полученное на основе метода конечных элементов, содержит незначительную часть узловых неизвестных от общего их числа. Другими словами, многие коэффициенты в уравнениях алгебраической системы равны нулю, что значительно облегчает ее решение.

3. Задачи, решение которых описывается функциями, удовлетворяющими функциональным уравнениям, носят название континуальных. В отличие от них решение так называемых дискретных задач точно определяется конечным числом параметров, удовлетворяющих соответствующей системе алгебраических уравнений. Метод конечных элементов, так же как и другие численные методы, по существу приближенно заменяет континуальную задачу на дискретную. В методе конечных элементов вся процедура такой замены имеет простой физический смысл. Это позволяет более полно представить себе весь процесс решения задачи, избежать многих возможных ошибок и правильно оценить получаемые результаты.

4. Помимо континуальных задач схема метода конечных элементов применяется для соединения элементов и формирования алгебраических уравнений при решении

непосредственно дискретных задач. Это расширяет сферу применения метода.

5. Форма обрабатываемой области может быть произвольной, а сетку можно сделать более редкой в тех местах, где особая точность не нужна.

На рисунке 3 приведены полученные данные о напряжениях, деформации и скоростях перемещений в графическом виде с помощью ЭВМ.

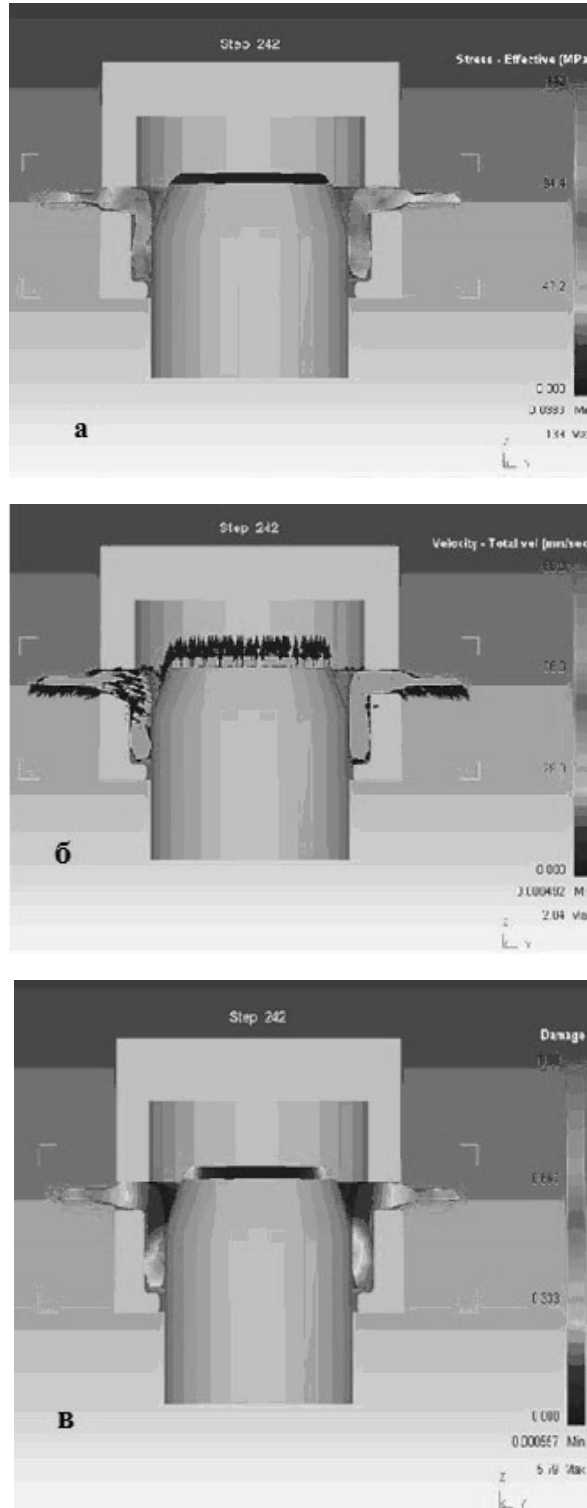


Рисунок 3 – Данные, полученные с помощью МКЭ: *а* – напряжение, *б* – направление перемещений, *в* – деформация

Полученные данные сходятся с данными, полученными энергетическим методом и позволяют продолжить работы по определению оптимальных углов конусности, разработать инженерную методику расчета инструмента для раздачи, увеличить КИМ.

Отдельное внимание стоит уделить адгезионному взаимодействию (налипанию) пары «поковка – инструмент». При перемещении промежуточной заготовки вдоль конической части прошивня проявляется налипание материала поковки на прошивень, что приводит к резкому снижению его стойкости. Поэтому разработка рациональных схем деформирования и тщательный выбор материала штампового инструмента, уменьшающего адгезионное взаимодействие пары «поковка – инструмент», для получения качественных поковок приобретает первостепенное значение.

**Выводы.** 1. Повышение качества и надежности деталей, снижение металлоемкости выпускаемых изделий определяют необходимость разработки новых и усовершенствования существующих способов производства точных заготовок путем приближения формы и размеров поковок к соответствующим параметрам готовых деталей. Одним из путей решения этой проблемы и является штамповка осесимметричных поковок с последующей раздачей.

2. Преимущества данной технологии штамповки наиболее эффективно реализуются при обработке заготовок из высоколегированных материалов. Однако низкая стойкость инструмента, отсутствие обоснованных рекомендаций по выбору его геометрии и схемы ведения процесса, а также по расчету энергосиловых параметров деформирования затрудняют широкое использование операции раздачи при горячей штамповке.

3. Обзор опубликованных работ показывает, что в научно-технической литературе отсутствуют обоснованные рекомендации по выбору рациональной схемы деформирования в зависимости от параметров промежуточной заготовки и силового ведения процесса. Отдельные сведения по конструированию штампового инструмента, расчету его геометрии и выбору деформирующего оборудования получены из условия значительной схематизации очага деформации, не отражающей действительного течения металла, поэтому их использование вызывает обоснованные опасения.

**Литература:** 1. Накутный И. Е. Исследование и разработка усовершенствованных процессов производства осесимметричных заготовок с использованием операций раздачи: Дис канд. ... техн. наук / Накутный Игорь Евстафьевич. – Х., 1981. – 163 с. 2. Лобанов В. К. Осесимметричная раздача кольцевых поковок коническим инструментом / В. К. Лобанов, И. Е. Накутный // Кузнечно - штамповочное производство – 1975. – №12. – С. 9-12. 3. Бичукин Ф. Д. Малоотходная и точная штамповка / Ф. Д. Бичукин, В. И. Козачёнок. – Ижевск: Удмуртия, 1961. – 92 с. 4. Лобанов В. К. Изготовление пустотелых поковок без штамповочных уклонов, их качество и точность. – В кн.: Прогрессивные процессы и улучшение качества продукции кузнечно – штамповочного производства. Тезисы докладов. Минск, 1970. – С. 23-32. 5. Бичукин Ф. Д. Малоотходная и точная штамповка. Новые методы обработки металлов давлением. – В кн.: Сб. докладов. Изд-во АН СССР, 1962. – С. 46-51. 6. Моделирование процесса выдавливания методом конечных элементов / В. Н. Иванов, К. М. Иванов, Е. А. Пригоровский, Д. В. Усманов // Инструмент. – 2006. – №23 – С. 94-102. 7. Левченко В. Н. Исследование процесса комбиниро-

ванного выдавливания / В. Н. Левченко, И. В. Галась // *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПИ». – 2014. – №5 (1048). – С. 40–50.*

**Bibliography (transliterated):** 1. Nakutnyj I. E. *Issledovanie i razrabotka usovershenstvovannyh processov proizvodstva osesimmetrichnyh zagotovok s ispol'zovaniem operacij razdachi: Dis kand. ... tekhn. nauk / Nakutnyj Igor' Evstaf'evich. – H., 1981. – 163 s.* 2. Lobanov V. K. *Osesimmetrichnaya razdacha kol'cevyyh pokovok konicheskim instrumentom / V. K. Lobanov, I. E. Nakutnyj // Kuznechno - shtampovochnoe proizvodstvo – 1975. – №12. – S. 9-12.* 3. Bichukin F. D. *Maloothodnaya i toch-naya shtampovka / F. D. Bichukin, V. I. Kozachyonok. – Izhevsk: Udmurtiya. – 1961. – 92 s.* 4. Lobanov V. K. *Izgotovlenie pustotelyh pokovok bez shtampovochnyh uklonov, ih kachestvo i tochnost'. – V kn.: Progressivnye processy i uluchshenie kachestva produkcii kuznechno – shtampovochnogo proizvodstva. Tezisy dokladov. Minsk, 1970. – S. 23-32.* 5. Bichukin F. D. *Maloothodnaya i tochnaya shtampovka. Novye metody obrabotki metallov davleniem. – V kn.: Sb. dokladov. Izd-vo AN SSSR, 1962. – S.46-51.* 6. *Modelirovanie processa vydavlivaniya me-todom konechnykh ehlementov / V. N. Ivanov, K. M. Ivanov, E. A. Prigorovskij, D. V. Usmanov // Instrument. – 2006. – №23 – S. 94-102.* 7. Levchenko V. N. *Issledovanie processa kombiniro-vannogo vydavlivaniya / V. N. Levchenko, I. V. Galas' // Visnik NTU "HPI". Seriya: Innovacijni tekhnologii ta obladdannyya obrobki materialiv u mashinobuduvanni ta metalurgii – Harkiv: NTU "HPI". – 2014. – №5 (1048). – S. 40–50.*

Жадан В.А., Овсепян А.А., Кас'ян Р.В., Кузьменко В.І., Горкін М.В.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ПОКОВОК БЕЗ ШТАМПУВАЛЬНИХ УКЛОНІВ З НАСТУПНОЮ РОЗДАЧЕЮ

У статті відображено метод здійснення штампування осесиметричних поковок з наступною роздачею. Наведено результати дослідження МКЕ.

Жадан В.А., Овсепян А.А., Касьян Р.В., Кузьменко В.И., Горкин М.В.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОКОВОК БЕЗ ШТАМПОВОЧНЫХ УКЛОНОВ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РАЗДАЧЕЙ

В статье отображен метод осуществления штамповки осесимметричных поковок с последующей раздачей. Приведены результаты исследования МКЭ.

V. Zhadan, A. Ovsepiyan, R. Kasian, V. Kuzmenko, M. Gorkin

#### STUDY OF AXISYMMETRIC FORGED PIECE MANUFACTURING PROCESS BY ZERO-DRAFT FORGING FOLLOWED BY EXPANSION

The article represents the method of forging of axisymmetric forged pieces with subsequent expansion. The results of finite element method (FEM) are given.