

УДК 621.73-52

И. Б. Покрас, доктор технических наук, профессор;
Э. Р. Ахмедзянов, кандидат технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова

РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГОРЯЧЕШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Предложена методика формирования трехмерных геометрических моделей поковок, получаемых горячей объемной штамповкой, на основе моделей чистовых деталей, реализованная применительно к САПР КОМПАС-3D. Методика основана на анализе и преобразовании эскизов формообразующих операций, таких как выдавливание и вращение. Данный подход позволяет снизить трудоемкость и сократить время проектирования моделей поковок.

Ключевые слова: САПР, горячая объемная штамповка, трехмерная модель поковки, трехмерная модель детали, КОМПАС-3D

В настоящее время разработка конструкторской и технологической документации преимущественно выполняется с применением компьютеров и соответствующего программного обеспечения – систем автоматизированного проектирования (САПР или англ. CAD). Помимо чертежной документации, в данных системах часто разрабатываются трехмерные геометрические модели деталей и сборочных единиц, которые используются для ускорения чертежных работ, расчета массы, определения кинематической сопрягаемости, прочностных расчетов, разработки технологии обработки деталей на металлорежущем оборудовании. Одним из основных способов изготовления высококачественных деталей с хорошими прочностными характеристиками является использование в качестве заготовок поковок, полученных горячей объемной штамповкой. Для производства таких поковок используются три вида оборудования: штамповочные молоты, кривошипные горячештамповочные прессы (КГШП) и горизонтально-ковочные машины (ГКМ).

Классический подход к проектированию технологии штамповки предполагает выполнение чертежа поковки на основе чертежа детали. Исходя из него, технолог может разработать трехмерную геометрическую модель поковки, с помощью которой становится возможным автоматизация проектирования технологии штамповки, включая построение эпюр, выбор переходов штамповки, проектирование штамповочного инструмента. И хотя подобные возможности не включены в базовые САПР, они могут быть реализованы как дополнительные программные модули. Кроме того, модель штамповочного инструмента может использоваться для анализа пластического формоизменения путем функционального моделирования на основе метода конечных элементов и прогнозирования возможных дефектов, возникающих при изготовлении поковки.

Одним из путей повышения скорости проектирования процессов обработки металлов давлением и облегчения работы технолога является автоматизация конструирования трехмерной геометрической модели поковки на основе уже существующей моде-

ли чистовой детали. В данной работе рассматривается решение данной задачи применительно к известной САПР КОМПАС-3D российской компании АСКОН, для которой разработана соответствующая прикладная библиотека [2].

Создание трехмерной модели поковки с использованием в качестве исходных данных уже существующей модели детали требует решения следующих основных технологических задач:

- 1) формирование припусков на механическую обработку,
- 2) построение напусков (штамповочные уклоны и перемычки под прошивку),
- 3) выполнение закруглений на острых кромках стыков поверхностей.

Автоматизированное конструирование поковки производится в соответствии с блок-схемой, приведенной на рис. 1. Линейная структура предлагаемого алгоритма обусловлена последовательным преобразованием модели к требуемому виду, что во многом соответствует порядку построения чертежа поковки по чертежу детали в ручном режиме.

При этом можно выделить три основных этапа: I – определение номинальных величин технологических параметров в соответствии с нормативной документацией; II – преобразование геометрии эскизов формообразующих операций; III – корректировка непосредственно самой модели для доработки формообразующих операций, не рассматриваемых на II этапе.

Основные данные, необходимые для конструирования поковок, определены в ГОСТ 7505–89 «Повковки стальные штампованные». В стандарте установлены величины допуска размеров, отклонений формы, припусков, кузнечных напусков и радиусов закруглений. Для учета требований ГОСТ 7505–89 была разработана база данных с необходимой нормативной информацией. Согласно ГОСТ 7505–89 первоначально определяется исходный индекс поковки (блок 1), который зависит от массы, марки стали, степени сложности и класса точности поковки (рис. 2).

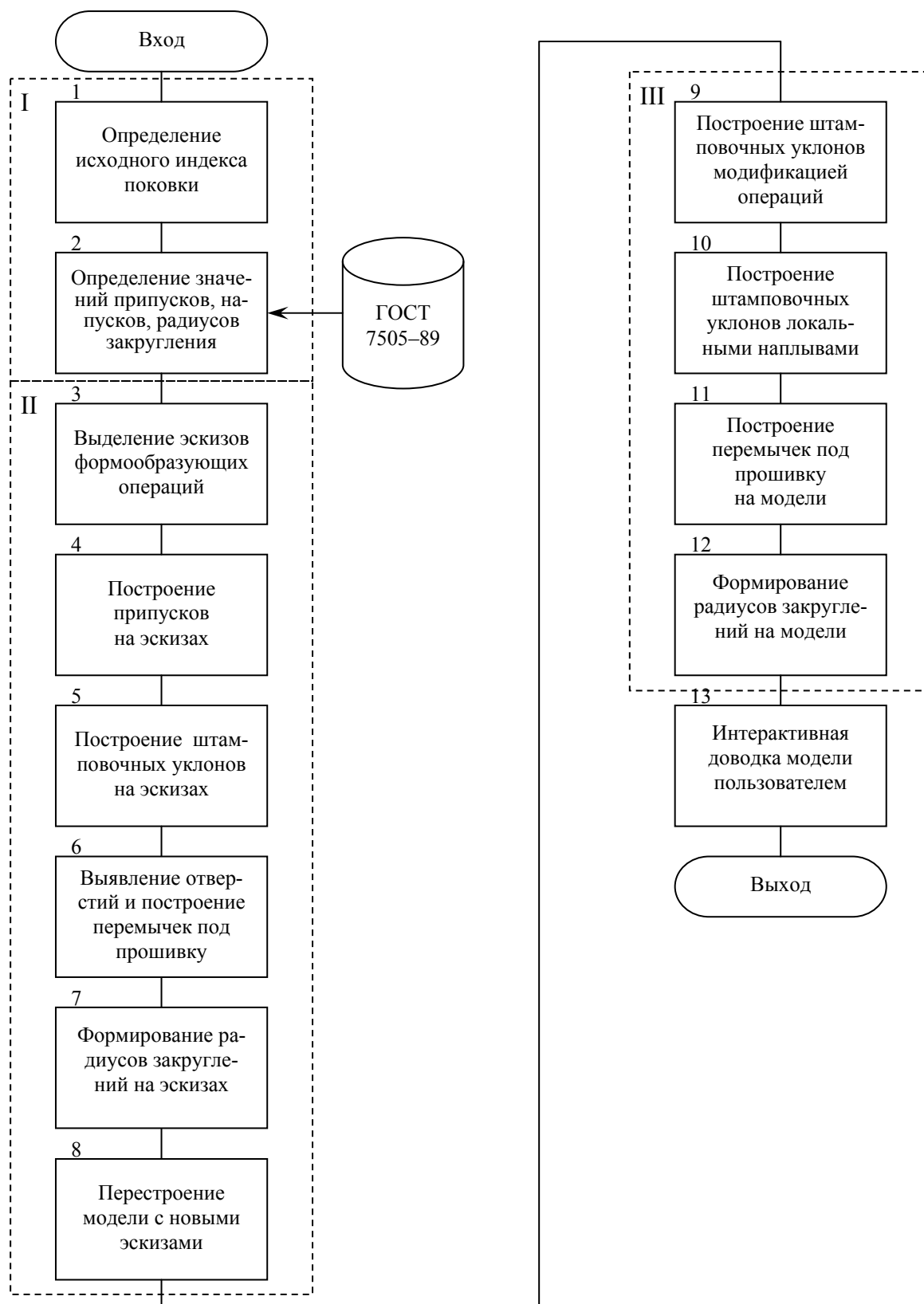


Рис. 1. Блок-схема алгоритма разработки трехмерной модели поковки

Исходный индекс поковки

Группа стали

☒ M1 - сталь с массовой долей углерода до 0.35% и долей легирующих элементов до 2.0%

☐ M2 - сталь с массовой долей углерода от 0.35% до 0.65% или долей легирующих элементов от 2.0% до 5.0%

☐ M3 - сталь с массовой долей углерода свыше 0.65% или долей легирующих элементов свыше 5.0%

Степень сложности поковки

Масса детали: 13.225 кг Масса описанной фигуры: 47.007 кг Расчетная масса поковки: 17.193 кг

Коэффициент расчетной массы поковки Kp: 1.3 Gп/Gф = 0.37

☐ C1 - от 0.63 ☒ C2 - от 0.32 до 0.63 ☐ C3 - от 0.16 до 0.63 ☐ C4 - до 0.16

Класс точности поковки

☐ T1 - объемная калибровка; прецизионная штамповка

☐ T2 - КГШП (закрытая штамповка); горячештамповочные автоматы; объемная калибровка

☐ T3 - КГШП (закрытая штамповка, выдавливание); горячештамповочные автоматы

☒ T4 - КГШП (открытая штамповка, выдавливание); ГKM; прессы винтовые, гидравлические; штамповочные молоты

☐ T5 - КГШП (открытая штамповка); ГKM; прессы винтовые, гидравлические; штамповочные молоты

Исходный индекс поковки

14

OK Отмена

Рис. 2. Окно определения исходного индекса поковки

На основе исходного индекса назначаются припуски, допуски и допускаемые отклонения (блок 2). Значения припуска должны назначаться для отдельных поверхностей поковки в окне на рис. 3, где помимо основного припуска на механическую обработку могут быть назначены припуски на смещение

по поверхности, изогнутость и отклонение от прямолинейности, а также отклонение межосевого расстояния. Значения величины радиусов закругления и штамповочных уклонов устанавливаются для поковки в целом также в окне на рис. 3.

Припуски и напуски

Припуски

Поверхности детали

2 - 34x30x34

3 - 289x0x160

4 - 34x30x34

5 - 289x0x160

6 - 0x30x92

7 - 175x30x0

8 - 175x30x0

9 - 92x0x92

10 - 90x99x90

11 - 108x8x108

12 - 140x22x140

13 - 133x60x134

14 - 119x0x119

15 - 108x23x108

16 - 110x18x110

17 - 110x0x110

18 - 140x0x140

☐ Прозрачность

Основной припуск на механическую обработку

☐ Шероховатость Ra 12.5 - Ra 100

☒ Шероховатость Ra 1.6 - Ra 10

☐ Шероховатость не более Ra 1.25

2.7 - значение припуска

Смещение по поверхности разреза

☐ Использовать 0.4 - значение припуска

Изогнутость и отклонение от плоскостности и прямолинейности

☐ Использовать 0.6 - значение припуска

Отклонения межосевого расстояния

☐ Использовать 100 - размер 0.3 - припуск

Величина радиусов закруглений

5 - наружные углы

7.5 - внутренние углы

Штамповочные уклоны

7 - на наружной поверхности

10 - на внутренней поверхности

OK Отмена По стандарту

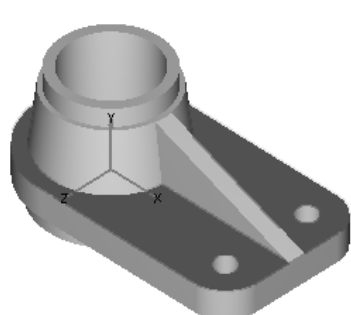


Рис. 3. Окно определения величин припусков и напусков

В современных САПР, как правило, используется твердотельное моделирование, основанное на выполнении формообразующих операций над плоскими контурами (в терминах КОМПАС-3D это эскизы).

Тогда трехмерную модель детали или поковки можно рассматривать как совокупность операций:

$$D = \bigcup_{i=1}^N F_i(S_i, K_i, P_i),$$

где F_i – i -я формообразующая операция (выдавливание, вращение, кинематическая операция или операция по сечениям); S_i – знак операции (добавление или исключение объема); K_i – эскиз (или эскизы) операции; P_i – параметры операции. Каждый из эскизов принадлежит какой-либо плоскости: одной из базовых плоскостей, образованных осями координат ($\alpha_{xy}, \alpha_{zx}, \alpha_{zy}$), какой-либо плоскости детали или вспомогательной плоскости.

На втором этапе преобразования модели детали в модель поковки следует выделить и обработка эскизов формообразующих операций K_i , что позволяют возможности SDK (Software Development Kit – набор разработчика ПО) САПР КОМПАС-3D (блок 3). Эскизы операций состоят из двумерных геометрических примитивов, которые участвуют в формообразовании (отрезки прямых, окружности, дуги, кривые Безье, выполненные сплошными толстыми основными линиями) или же носят вспомогательный характер (осевые линии в операциях вращения).

Порядок обработки эскиза K_i зависит от положения в пространстве его базовой плоскости γ_i относительно назначенной при проектировании поковки плоскости разреза α_p . Плоскость разреза определяется автоматически в зависимости от объема перемещаемого металла или выбирается пользователем. В любом из этих случаев, вследствие особенностей построения плоских изображений по модели в КОМПАС-3D, она должна быть параллельна горизонтальной плоскости ($\alpha_p \parallel \alpha_{zx}$). Эскизы ортогональные плоскости разреза ($\gamma_i \perp \alpha_p$) проходят цикл преобразования, включающий:

- Построение припусков на механическую обработку (блок 4) путем плоско-параллельного смещения примитивов эскиза (рис. 4, а), участвующих в формообразовании в направлении вне тела поковки для операций добавления (рис. 4, б) и внутрь поковки для операций удаления объема. Преобразованные таким образом примитивы должны пройти последующую стыковку концов для удовлетворения требования неразрывности контура (рис. 4, в);

- Построение штамповочных уклонов (блок 5), включающее: разбиение эскиза в плоскости разреза, построение линий уклона (отрезков прямой) начиная с наиболее удаленных элементов эскиза, стыковку уклонов в плоскости разреза (рис. 4, г);

- Выявление отверстий в эскизах операций вращения и построение перемычек под прошивку (блок 6) выполняется в соответствии с рекомендациями, данными в специальной литературе [1] (рис. 4, д);

- Формирование радиусов закруглений на стыках отрезков и дуг эскиза (блок 7) на этапе обработки эскиза во многих случаях позволяет уменьшить количество операций скругления на самой модели (рис. 4, е).

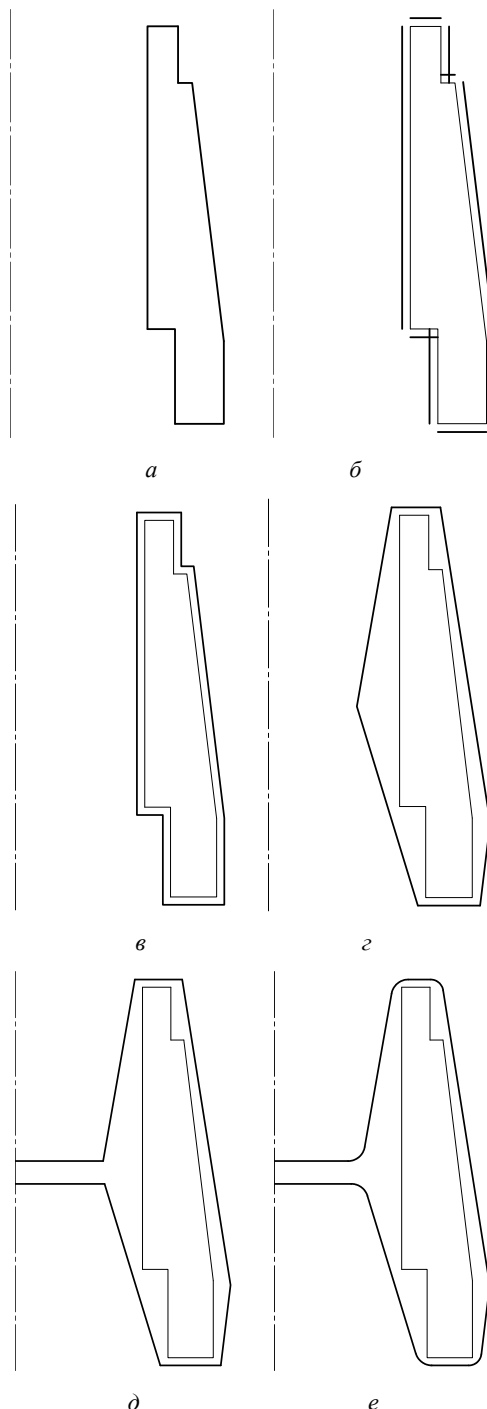


Рис. 4. Преобразование конструктивного элемента детали

В тех случаях, когда применяются формообразующие операции на основе эскизов, лежащих в плоскостях не ортогональных плоскости разреза – $\angle(\gamma_i, \alpha_p) \neq 0^\circ, 90^\circ$, единственной проводимой на втором этапе модификацией является наложение припусков. Построение штамповочных уклонов остается возможным для операций выдавливания, проводимых с использованием эскизов в плоскостях, лежащих в плоскости разреза ($\gamma_i \equiv \alpha_p$), в этом случае для построения уклонов изменяются параметры формообразующей операции P_i с переходом от прямого выдав-

ливания к выдавливанию в двух направлениях под углом, как это показано на рис. 5 (блок 9).

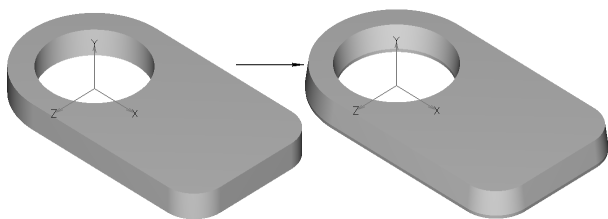


Рис. 5. Формирование основания изменением параметров операции

В КОМПАС-3D могут быть сформированы поверхности, которые не поддаются преобразованию в элементы поковки только модификацией эскизов, например ребра жесткости или торцевые плоскости операций выдавливания. Такие фрагменты конструкции поковки могут быть созданы за счет локальных наплывов (блок 10). Для реализации данной процедуры сначала следует выявление проблемных участков без уклонов путем построения набора сечений триангулированной модели детали плоскостями, параллельными плоскости разреза $\phi_j \parallel \alpha_p$ с малым шагом (≤ 1 мм). Последовательное сопоставление сечений позволяет определить места и контуры наплывов, выполняемых операциями по сечениям в плоскостях, также параллельных плоскости разреза.

Этот же набор сечений позволяет выделить отверстия, которые не были «закрыты» перемычками под прошивку на 2-м этапе и представляют собой внутренний контур, вложенный во внешние очертания поковки. Для их заполнения выполняется операция выдавливания с использованием эскиза, на основе упомянутого выше контура (блок 11).

Автоматизированное конструирование поковки завершает формирование оставшихся закруглений на модели (блок 12). В силу ограничений, присущих САПР КОМПАС-3D, даже выявленные острые кромки далеко не всегда скругляются командами SDK, выполняемыми из прикладной библиотеки, что может повлечь необходимость доводки модели поковки в ручном режиме (блок 13).

Таким образом, для наиболее полного и качественного преобразования модели детали в модель поковки в соответствии с предложенным алгоритмом рекомендуется:

– при формировании головок, бобышек и других схожих элементов использовать операции вращения

с эскизами в плоскостях, ортогональных плоскости разреза поковки ($\gamma_i \perp \alpha_p$);

– стержни постоянного и переменного сечения (операции выдавливания, по сечениям и кинематическая), горизонтальные отрезки выполнять эскизами также в плоскостях, ортогональных плоскости разреза поковки ($\gamma_i \perp \alpha_p$);

– плоские основания выполнять операциями выдавливания с эскизом, лежащим в плоскости разреза ($\gamma_i \equiv \alpha_p$).

Ввиду разнообразия конструкций поковок и их принадлежности к различным группам классификации, каждая из которых имеет свои технологические особенности, необходим контроль технолога за процессом преобразования, что может выполняться путем изменения величин припусков и напусков. Также может потребоваться выполнение отдельных элементов конструкции вручную средствами базовой САПР. Тем не менее, предложенный подход позволяет выполнить большую часть преобразований модели детали в модель поковки, тем самым снижая временные затраты на проектирование модели поковки и облегчая работу технологов, испытывающих затруднения при создании моделей поковок стандартными средствами. Пример формирования модели поковки на основе модели детали в соответствии с предложенной методикой приведен на рис. 6.

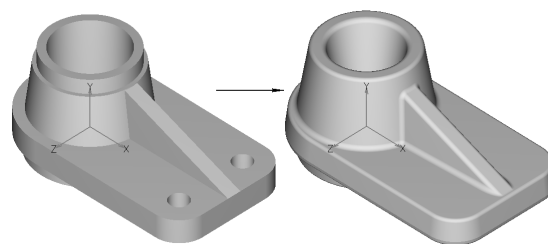


Рис. 6. Пример построения модели поковки по модели детали

Библиографические ссылки

1. Ковка и штамповка : справ. : в 4 т. / ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – М. : Машиностроение, 1986. – Т. 2 : Горячая объемная штамповка / А. П. Атрошенко, И. С. Зиновьев, Л. Г. Костин, 1986. – 592 с.
2. Покрас И. Б., Ахмедзянов Э. Р. Использование САПР КОМПАС-3D для автоматизации проектирования технологии горячей объемной штамповки // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2009. – № 2. – С. 165–169.

I. B. Pokras, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

E. R. Akhmedzyanov, PhD in Engineering, Associate professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Development of three-dimensional geometrical models of hot forgings on the basis of models of parts

The article proposes the technique of developing the three-dimensional geometrical models of hot forgings received by hot volume forging on the basis of models of parts implemented in CAD system KOMPAS-3D. The technique is based on the analysis and transformation of sketches of such generating operations as extrusion and rotation. This approach allows reducing complexity and time of forgings model designing.

Keywords: CAD system, forging process, geometric model of forging, geometric model of part, KOMPAS-3D

Получено: 11.04.13