

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОПЕРЕХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Разработка технологического процесса многопереходной горячей объемной штамповки (ГОШ) включает в себя несколько последовательных этапов: построение геометрии поковки по заданной геометрии детали, выбор последовательности и проектирование технологических переходов штамповки, расчет исходной заготовки и конструирование инструмента [1–3]. Если построение геометрии поковки и расчет исходной заготовки для технолога представляют собой хорошо формализованные процедуры проектирования, то проектирование технологических переходов штамповки, особенно для поволок сложной формы с повышенными требованиями к качеству изделий, во многих случаях носит эвристический характер [2–4]. Процесс проектирования заметно усложняется, если предъявляются дополнительные требования к поковке по структуре и качеству материала, по точности ее геометрии или при разработке принципиально нового технологического процесса [4]. В этих и в ряде других случаев применение традиционных методов проектирования не позволяет получить положительные результаты [4]. Наиболее эффективным методом разработки таких сложных систем, позволяющим получать результаты повышенной надежности, является применение комплексных систем автоматизированного проектирования (САПР) с использованием компьютерного моделирования [2–4].

Рассмотрим более подробно основные этапы и входящие в них процедуры проектирования технологического процесса горячей объемной штамповки.

При формулировании целей проектирования на первом этапе задача ставится следующим образом: спроектировать технологический процесс, обеспечивающий определенный уровень критериев E_i . При этом прямые (или непосредственные) цели проектирования технологии формулируются как

формирование исходных данных для проектирования (F_1);

проектирование поковки (F_2);

проектирование операций технологического процесса (F_3);

конструирование штамповой оснастки (F_4).

Есть также ряд других целей, связанных с оформлением, передачей информации и отладкой спроектированной технологии. При этом подразумевается, что спроектированный процесс

должен удовлетворять требованиям группы критериев E .

Каждой из поставленных целей проектирования технологических процессов может быть сопоставлена некоторая функция, обеспечивающая ее выполнение или реализующая ее [3]. Тогда проектирование технологического процесса будет представлено в виде набора некоторых многоуровневых функций, обеспечивающих поставленные цели. Рассмотрим функциональную схему проектирования технологического процесса горячей объемной штамповки (ГОШ).

Функция F_1 формирования исходных данных включает в себя процедуры формирования данных, в том числе F_{11} – геометрии детали; F_{12} – точностных параметров размеров и формы; F_{13} – характеристик качества поверхности; F_{14} – характеристик материала детали .

Функция F_2 – проектирование поковки – включает следующие процедуры:

F_{21} – проектирование геометрии поковки; F_{22} – определение показателей свойств материала и методов их получения; F_{23} – определение точностных характеристик поковки; F_{24} – определение характеристик качества поверхности поковки; F_{25} – определение показателей сложности поковки.

Функция F_3 – проектирование технологических операций – включает: F_{31} – определение геометрии заготовки после штамповки (количество поковок и их положение, перемычки, облой); F_{32} – проектирование операций обрезки заусенцев и пробивки отверстий; F_{33} – проектирование операций правки и калибровки поковок; F_{34} – проектирование операций профилирования заготовок; F_{35} – проектирование операций штамповки заготовок; F_{36} – проектирование режимов нагрева и термической обработки заготовок; F_{37} – проектирование дополнительных (отделочных, контрольных и др.) операций .

Функция F_4 – конструирование штампового инструмента – включает в себя следующие процедуры: F_{41} – проектирование геометрии ручьев штампа; F_{42} – компоновка ручьев в штампе (или во вставке); F_{43} – проектирование дополнительных элементов штампов; F_{44} – конструирование штамповых вставок и блоков; F_{45} – выбор материалов и режимов их обработки; F_{46} – определение режимов работы и прогнозирование стойкости штампов.

При разработке технологических процессов многопереходной штамповки особое значение имеет определение последовательности и параметров переходов. Вместе с тем использование традиционных методов разработки, основанных на знаниях технолога-

разработчика, не позволяет непосредственно включить данную методику в системы компьютерного проектирования: необходима формализация этих проектных процедур [2, 3, 5].

При проектировании технологических процессов многопереходной штамповки с использованием систем автоматизированного проектирования (САПР ТП ГОШ) можно использовать два принципиально различных способа [6]:

1) синтез проектируемого объекта (технологического процесса) применительно к заданным конкретным требованиям и технико-экономическим условиям при крупносерийном и массовом производстве (индивидуальное проектирование);

2) поиск по заданным характеристикам с использованием информационно-поисковых систем типового или группового объекта из имеющихся в базе данных номенклатуры технологических процессов для единичного, мелкосерийного и серийного производства (групповое или типовое проектирование).

Первый способ предполагает наличие высококвалифицированных специалистов-технологов, которые имеют значительный опыт в области проектирования, а также, что весьма актуально в современных условиях производства, опыт работы с современными САПР ТП. Кроме того, существует целый ряд специализированных систем автоматизированного проектирования типовых технологических процессов ГОШ или отдельных операций, например поковок типа тел вращения, штамповки на ГKM и др.

В то же время весьма актуальным является и второй способ проектирования. Поисковые системы в этом случае основываются либо на описании топологии поковок и их элементов [2, 5] и поиске соответствующих типовых технологических процессов штамповки, либо предполагают прямое распознавание геометрии поковок непосредственно по их геометрическим характеристикам и выбор технологии.

В зависимости от типа процесса штамповки, вида штампового оборудования и варианта расположения заготовок в окончательном штампе выбирается определенный стандартный набор технологических операций штамповки. Выбор альтернативных вариантов последовательности формообразующих операций штамповки производится по результатам сравнительного анализа параметров геометрии поковки с облоем и исходной заготовкой (после профилирования), а также по значениям критериев сложности элементов поковки и частных коэффициентов подкатки заготовки на каждом переходе.

Для определения необходимых переходов штамповки применяется оценка показателей сложности отдельных конструктивных элементов поковки. Как правило, геометрию любой поковки можно представить в виде набора стандартных конструктивных

элементов: “бобышек”, “стержневых” элементов, ребер, вертикальных и горизонтальных выступов, кольцевых элементов, “вилок” и т. д.

На рис. 1 представлены основные конструктивные элементы поковки поворотного кулака, определяющие переходы штамповки: элементы типа бобышек, ориентированные в поперечном направлении (1.1 – 1.3); конические односторонние вертикальные элементы в центральной части (2.1) и у края поковки (2.2 – 2.4); кольцевой элемент с отверстием (3), имеющий соотношение высоты ребра к диаметру отверстия ($h/D < 0,4$).

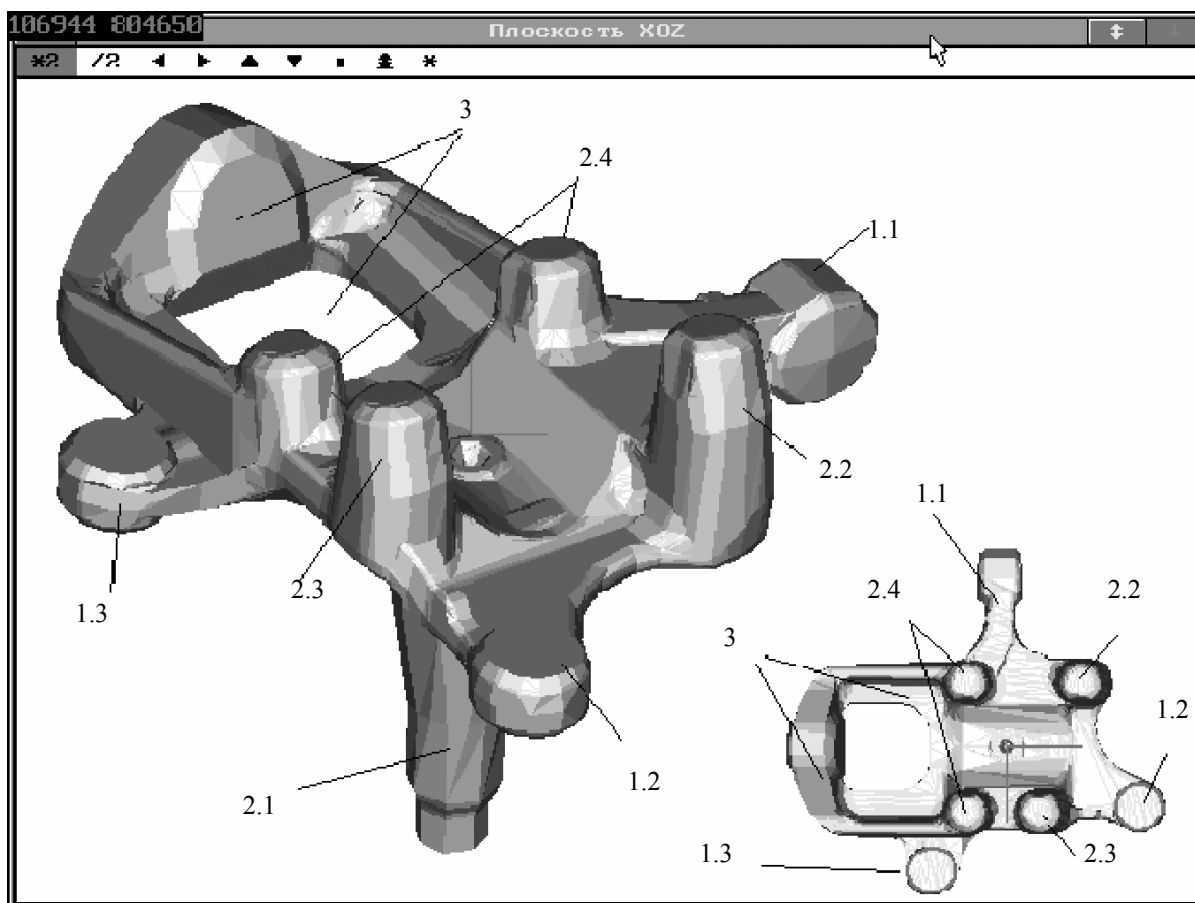


Рис. 1. Основные конструктивные элементы поковки поворотного кулака.

Положение этих элементов относительно оси или какой-либо базы поковки, а также соотношения их габаритных и относительных размеров определяют необходимый минимум операций и их вид, позволяющий с высокой надежностью изготовить данный элемент методами ГОШ. Для такого анализа используется оригинальная специализированная система, позволяющая получать наборы сечений отдельных элементов вдоль или поперек их локальной оси (рис. 2, 3)

Если элемент находится непосредственно в области расположения исходной заготовки (элементы 2.1 и 3), то перечень операций для его формирования будет полностью определяться относительными размерами. Например, для элемента 3 – соотношением высоты ребра к диаметру отверстия (h/D): $h/D < 0,4$ необходимо применение трех переходов – осадки заготовки, предварительной и окончательной штамповки.

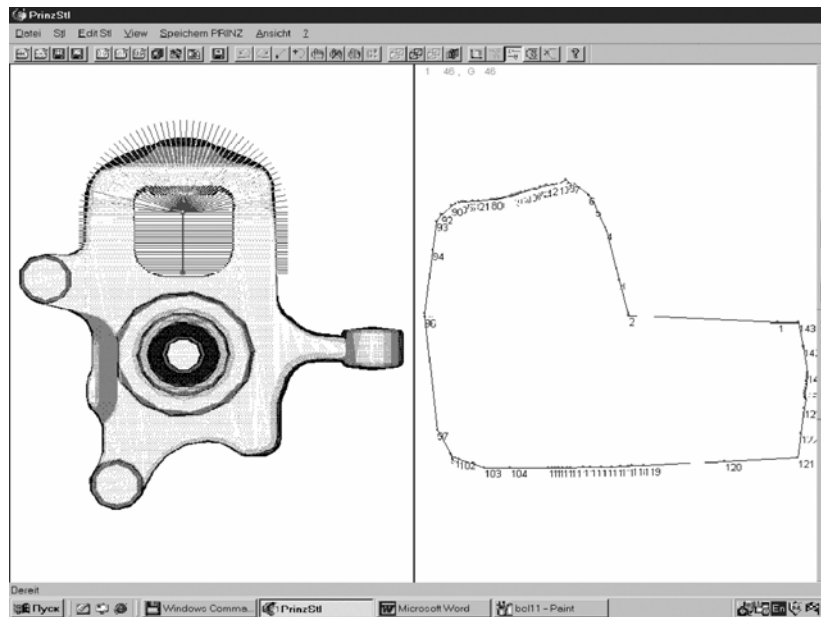


Рис. 2. Распознавание геометрии кольцевого элемента

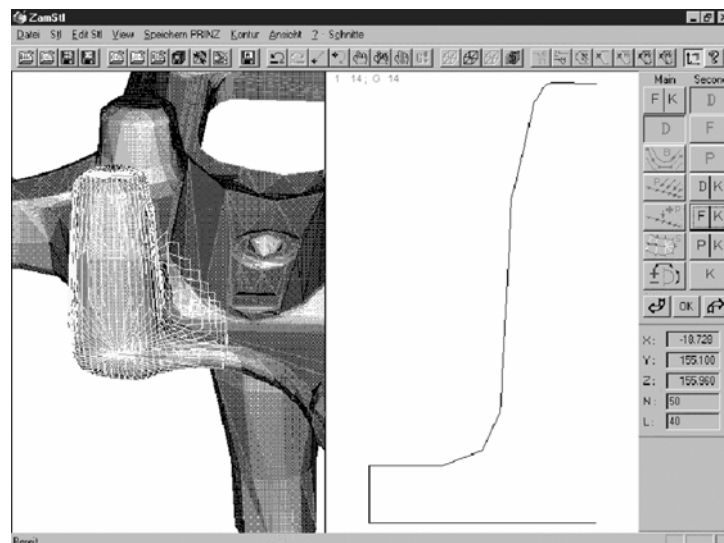


Рис. 3. Распознавание геометрии вертикального конического выступа (элемента)

Элемент 2.1 может быть получен только с использованием операции выдавливания. При этом количество переходов должно быть минимальным, так как металл может быстро остыть.

Во всех остальных случаях, когда конструктивные элементы находятся вне области расположения исходной заготовки, необходимо применение специальной операции, при которой можно сосредоточить необходимый объем металла непосредственно в зоне этого элемента.

Например, для элементов типа 2.2, имеющих отношение высоты к ширине контура $h/b > 2,4$, необходимо использовать три перехода: предварительного для набора металла, предварительного для формообразования (чернового) и окончательного.

Для элемента 1.1 – горизонтального выступа большой длины – должен быть обязательно использован предварительный переход для набора металла. Далее для его формирования можно использовать сразу окончательный переход, т. к. его относительные размеры в поперечном направлении невелики ($h/b < 2,0$).

Оценка значений показателей сложности каждого элемента производится по геометрии наиболее сложного контура из набора сечений. В зависимости от значений данного показателя и вида элемента на основе данных, приведенных в справочной литературе по проектированию ГОШ, а также с учетом собственного опыта технолога определяются необходимые переходы для формообразования этих элементов.

Для этого удобнее всего воспользоваться преобразованием геометрии контуров сечений для каждой из необходимых операций (рис. 4 – 7). После этого для создания геометрии соответствующего элемента на текущем переходе на контуры “натягивается” сетка, состоящая из ячеек многоугольной или треугольной формы (создается твердотельная модель). Элементы размещаются на своих позициях относительно оси или базы поковки, а затем с использованием процедуры синтеза создаются модели для каждого из переходов [2]. Количество необходимых переходов штамповки определяется наиболее сложным с точки зрения трудоемкости получения элементом.

Полученные в результате морфологического анализа варианты реализации технологического процесса ГОШ могут быть представлены в виде упорядоченного набора функций F , реализующих необходимые операции проектирования для различных альтернативных вариантов технологического процесса.

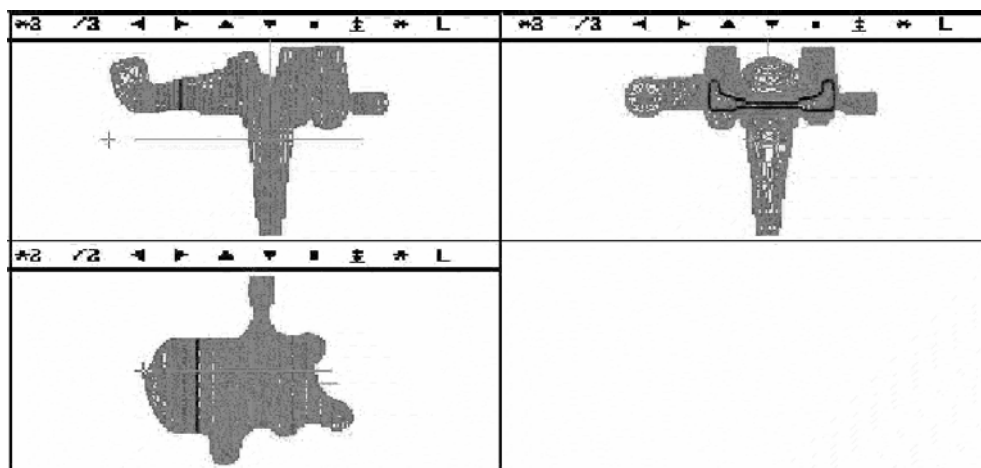


Рис. 4. Положение сечения кольцевого элемента поковки

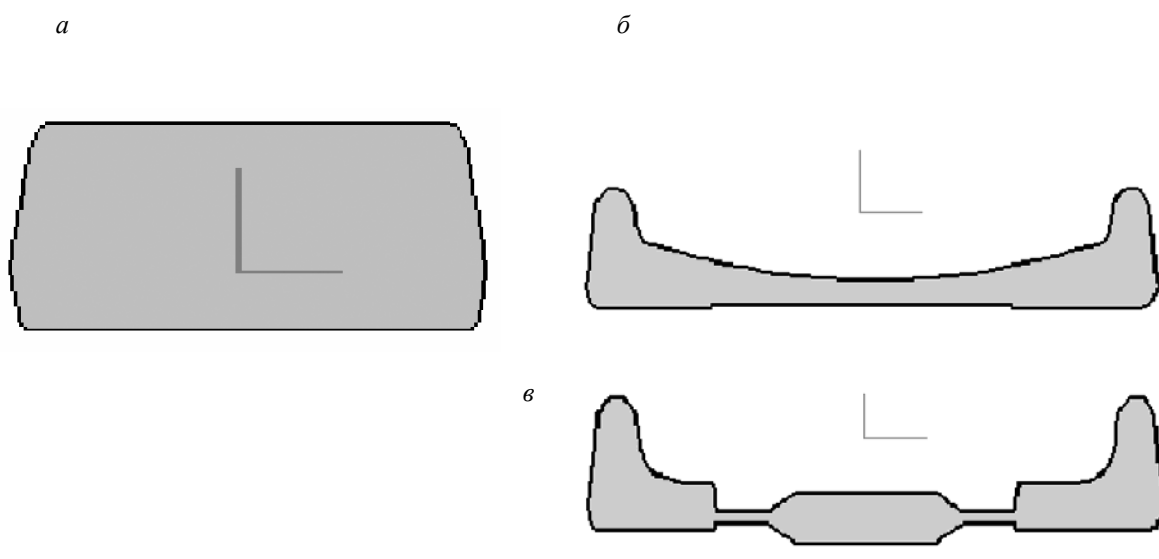


Рис. 5. Контуры сечений кольцевого элемента поковки по переходам штамповки:
а – на втором переходе; *б* – на третьем переходе; *в* – на последнем переходе

При построении последовательности функций F , реализованных по схеме логического сложения, целесообразно каждую из них дополнить двоичной функцией “ДА” – “НЕТ”: если все функции одного уровня должны быть реализованы при рассматриваемом варианте технологического процесса, они получают значение “ДА”, при исключении какой-либо из них из варианта технологии – “НЕТ”.

При реализации по логической схеме “ИЛИ”, только одна из них для одного уровня может иметь значение “ДА”, остальные – только значение “НЕТ”.

Каждая из функций F морфологической матрицы технологического процесса может рассматриваться, с одной стороны, как указатель выполнения некоторого набора определенных операций проектирования или выбора, а с другой стороны, как указатель того, должны быть эти операции реализованы при проектировании или нет. Таким образом, рассматриваемый вариант технологии, получаемый из морфологической матрицы, в конечном счете может быть представлен в виде последовательности логических

переменных, определяющих набор функций и операций проектирования.

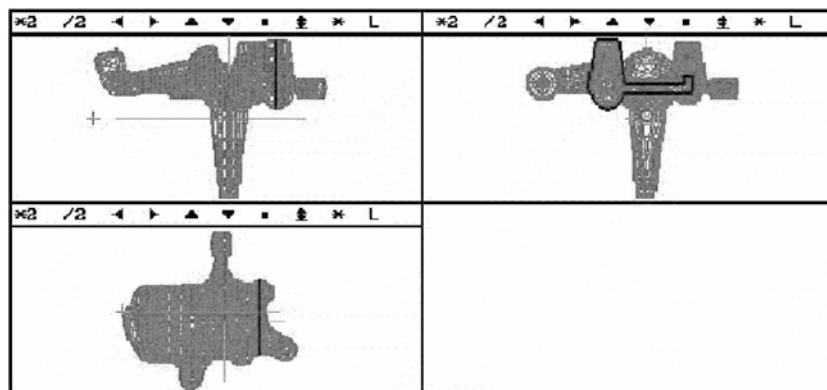


Рис. 6. Положение сечения для большого конического выступа

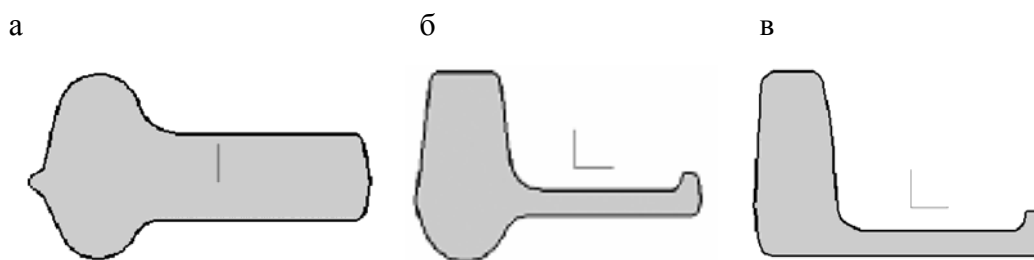


Рис. 7. Контуры сечений вертикального конического элемента поковки по переходам штамповки: а – на втором переходе; б – третьем переходе; в – на последнем переходе

Для полного описания варианта технологии набор логических переменных необходимо дополнить вектором фактических параметров, значения которых определяют конкретные характеристики технологического процесса, а также матрицей совместимости логических функций F , отражающих технологические и конструктивные ограничения, существующие при реализации вариантов технологии. Эти ограничения можно представить в виде системы логических выражений взаимодействия функций.

Таким образом, процесс проектирования может быть описан формально и представлен в виде некоторой последовательности математических моделей, каждая из которых реализует определенный набор проектных операций и процедур. Входными параметрами модели являются компоненты n -мерного вектора логических и фактических параметров, а выходными – искомые параметры технологического процесса.

В качестве примера реализации описанной методики проектирования далее представлены два технологических процесса штамповки сложных пространственных поковок.

В качестве исходных данных для разработки технологического процесса используются результаты проектирования геометрии поковки в одной из систем автоматизированного проектирования. В приведенных ниже примерах использовалась геометрическая модель поковки, разработанная в системе Pro-Engineer (рис. 8).

Модель преобразовывалась в твердотельную модель в формате STL и далее на этой основе проводился полный анализ ее геометрии и определение параметров переходов. На рис. 9, 10 представлены геометрическая модель поковки с облоем и эпюра площадей сечений для нее.

По результатам анализа эпюры площадей сечений и размеров заготовки был сделан вывод о том, что профилирование заготовки невозможно.

Для изготовления ее предлагаются следующие переходы штамповки: поперечная осадка заготовки в области кольцевого элемента (рис. 11); предварительно-заготовительный переход (рис. 12, 13); предварительный переход в черновом ручье (рис. 14); штамповка в чистовом (окончательном ручье).



Рис. 8. Геометрическая модель поковки поворотного кулака в системе Pro-Engineer

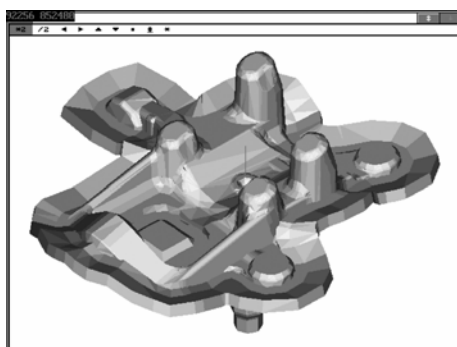


Рис. 9. Поковка с облоем

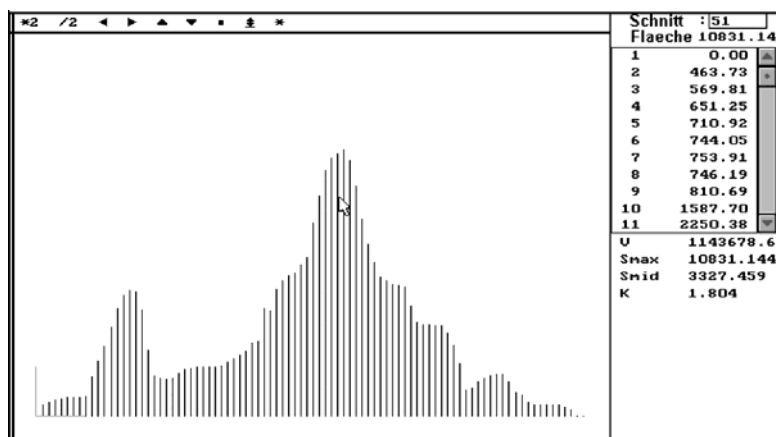


Рис. 10. Эюра распределения площадей сечений поковки с облоем

Следует отметить, что геометрические модели переходов штамповки представляют собой геометрические модели полости штампов (ручьев). Они могут быть использованы в дальнейшем для проектирования штампового инструмента.

Второй пример разработки технологии штамповки и штампового инструмента относится к поковке рычага передней подвески автомобиля. На рис. 15– 17 представлены геометрические модели готовой поковки, облоя и поковки с облоем, а также эюра площадей сечений поковки с облоем. На основании характеристик эюры площадей сечений представлен вариант процесса профилирования исходной заготовки на ковочных вальцах за два прохода по схеме “овал–круг” [2].

На основании геометрии заготовки после вальцовки и геометрии ручья окончательного перехода штамповки производится проектирование заготовки после операции гибки (рис. 17). Геометрия ее определяется по условию размещения в ручье окончательного перехода.

С использованием описанной выше методики производится анализ конструктивных элементов поковки и определяется элемент с наибольшей трудоемкостью (средняя головка). По результатам анализа формируется вариант последовательности технологических операций штамповки (рис. 18).

Следует заметить, что представленный вариант технологии позволяет гарантировать получение поковки, но, возможно, не является наилучшим с точки зрения количества переходов. В качестве альтернативного варианта может быть использован трехпереходный процесс без операции формовки.

На рис. 19 –21 представлены контуры сечений поковки по переходам штамповки для центральной головки по вариантам технологии.

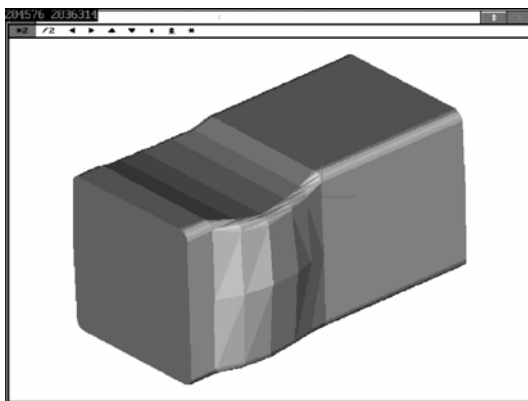


Рис. 11. Заготовка после поперечной осадки

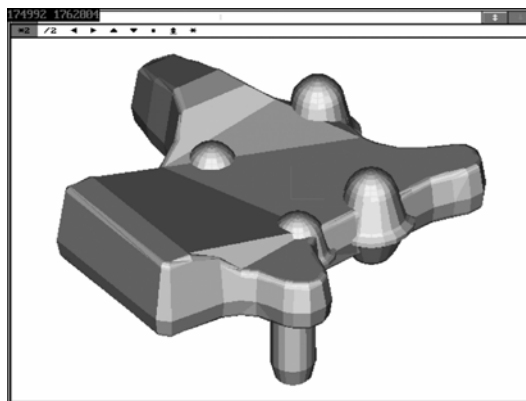


Рис. 12. Предварительно-заготовительный ручей второго перехода

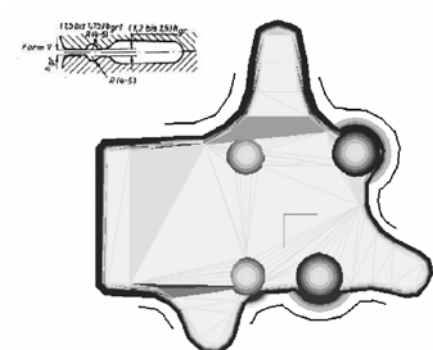


Рис. 13. Области предварительного ручья второго перехода, в которых используется специальная тормозная облойная канавка

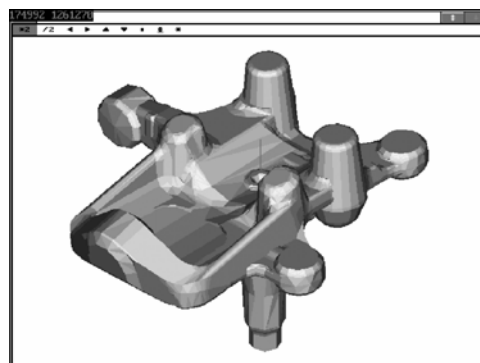


Рис. 14. Черновой ручей предпоследнего перехода

Окончательный выбор технологии может быть осуществлен либо на основе результатов реального опробования технологии, либо по результатам моделирования технологического процесса штамповки.

На рис. 22 – 23 представлены геометрические модели формообразующих инструментов: окончательного штампа и секторов ковочных вальцев.

Необходимо иметь в виду, что приведенная выше методика дает возможность получить, во-первых, геометрию полости штампа для каждого из переходов, во-вторых, только первое приближение варианта технологического процесса из множества возможных. Правильность выбора варианта технологии может быть проверена при помощи математического моделирования процесса течения металла при заполнении полости штампа на каждом их переходов штамповки. Следует также отметить, что предлагаемая методика не позволяет полностью формализовать процесс проектирования, но является весьма эффективным инструментом для технолога.

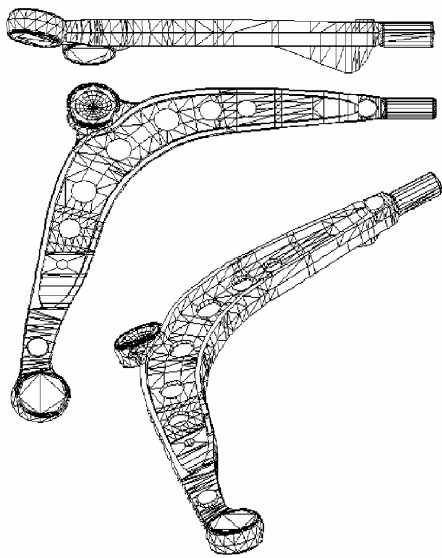


Рис. 15. Пространственная геометрическая модель готовой поковки рычага

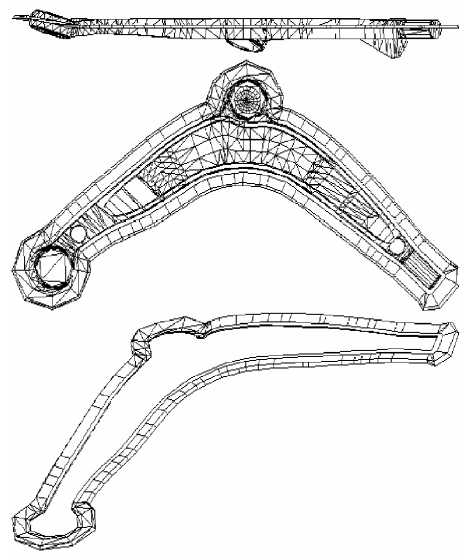


Рис. 16. Геометрическая модель облоя и поковки с облоем

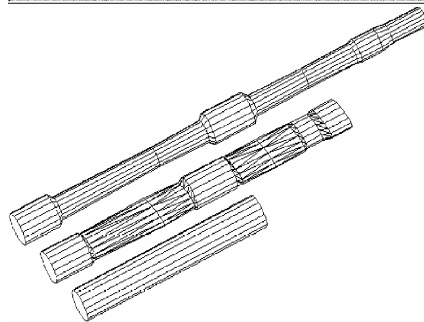
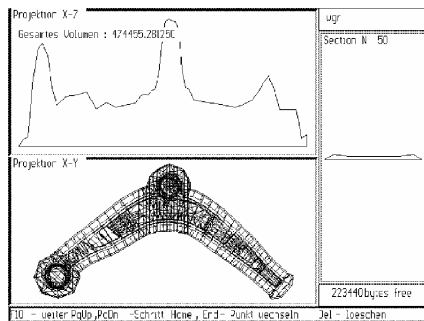


Рис. 17. Эюра площадей сечений поковки с облоем и переходы вальцовки исходной заготовки.

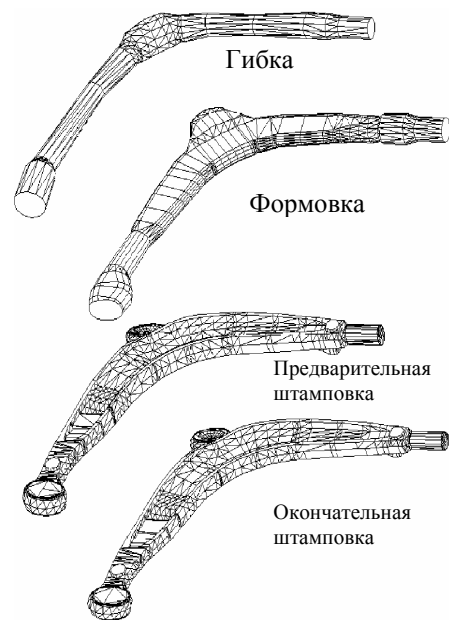


Рис. 18. Вариант последовательности технологических операций штамповки.

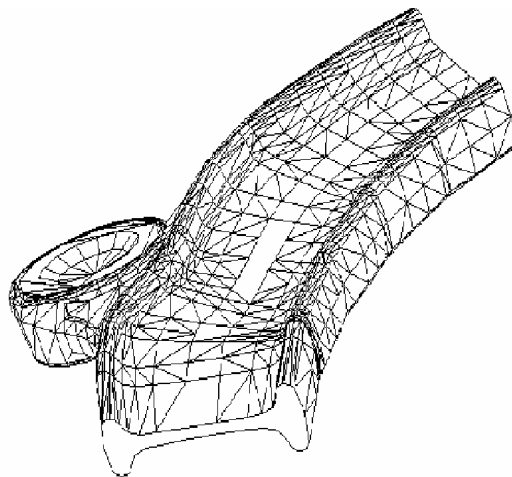


Рис. 19. Геометрическая модель центральной головки поковки

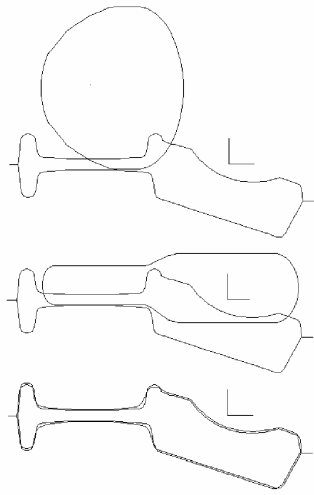


Рис. 20. Контуры сечений заготовки в области центральной головки после гибки, формовки на предварительном переходе (первый вариант процесса)

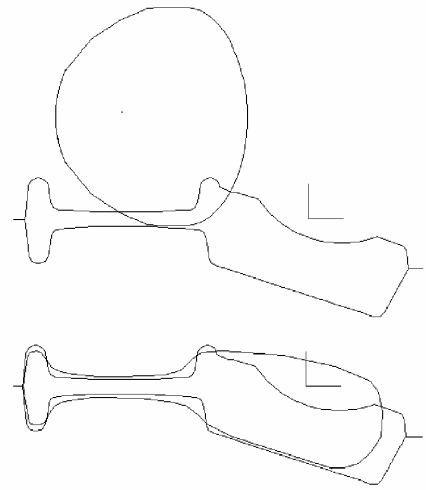


Рис. 21. Контуры сечений заготовки в области центральной головки после гибки и на предварительном переходе (второй вариант процесса)

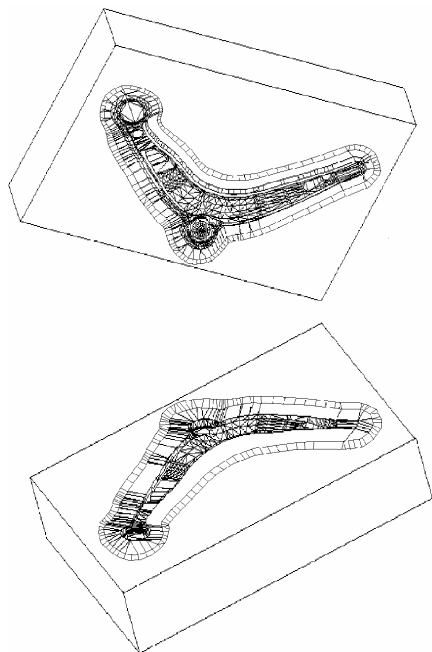


Рис. 22. Геометрическая модель штамповой вставки для окончательного перехода штамповки

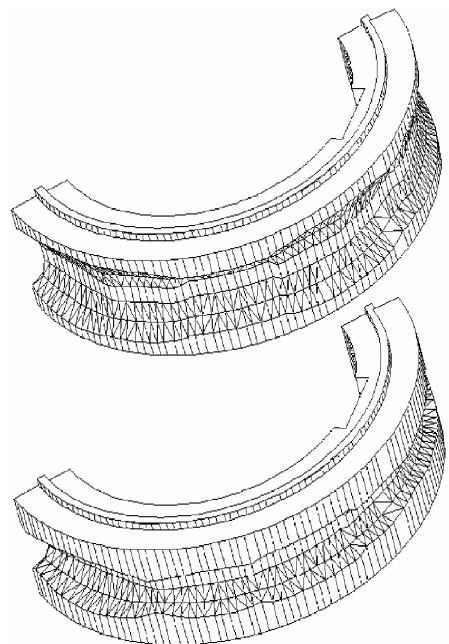


Рис. 23. Секторы первого и второго проходов ковочных вальцев

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Брюханов А.Н., Ребельский А.В.** Горячая штамповка. Конструирование и расчет штампов. М.: МАШГИЗ, 1952.
2. **Рыбин Ю.И., Рудской А.И., Золотов А.М.** Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением. СПб.: Наука. 2004. 640 с.
3. **Аксенов Л.Б.** Системное проектирование процессов штамповки. Л.: Машиностроение, 1990.
4. **Аксенов Л.Б., Золотов А.М., Мальчиков В.С.** Проектирование процессов горячей штамповки с использованием математического моделирования. Изготовление заготовок и деталей пластическим деформированием. Л.: Политехника. 1991.
5. **Doege E., Besto D., Haferkamp H., Toenshoff H.K.** Werkzeuge und Werkzeugsysteme der Metallbearbeitung // Universität Hannover, Shaker Verlag Aachen, 1998.
6. **Алиев Ч.А., Тетерин Г.П.** Система автоматизированного проектирования технологии горячей объемной штамповки. М.: Машиностроение, 1987.