

УДК 621.98

Исследование процесса получения листовых изделий типа «Переходник» с помощью FDM штампа

Катунина Татьяна Андреевна

katuninatatiana01@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В данной работе были разобраны некоторые вопросы, имеющие отношение к проектированию штамповой оснастки с помощью изучения относящегося к данной теме материала. Согласно полученным результатам можно предположить, что получение деталей с помощью FDM штампа способствует увеличению производительности в сравнении с производством деталей в металлическом штампе, при этом без особой потери качества получаемых изделий.

Ключевые слова: обжим-раздача, листовая штамповка, FDM штамп, компьютерное моделирование

Studying the process of obtaining sheet products of the “adapter” type using FDM stamp

Katunina Tatyana Andreevna

katuninatatiana01@mail.ru

BMSTU, Moscow, Russian

Abstract. This paper examines some issues related to the design of die tooling by studying the material related to this topic. According to the results obtained, it can be assumed that obtaining parts using an FDM stamp contributes to an increase in productivity compared to the production of parts in a metal stamp, without much loss in the quality of the resulting products.

Keywords: crimping and expansion, sheet metal stamping, FDM stamp, computer modeling

Введение. Фитинг — это узкопрофильное инженерное изделие, служащее для соединения, разветвления, поворотов трубопровода и переходов на другой диаметр, а также подключения к трубам запорной, регулирующей арматуры и отопительных приборов. В нашем случае рассматривается неразборное, герметичное и прочное соединение, которое применяется в промышленности, жилых домах, сельском хозяйстве, транспорте, городской инфраструктуре, а также в системах холодного и горячего водоснабжения и в других направлениях.

Разработка эффективных технологий изготовления изделий типа «Переходник», основана на интеграции операций раздачи и обжима, проводимая с учетом анализа напряженно-деформированного состояния материала, способствует не только экономии ресурсов, но и развитию инновационных решений, а также совершенствованию технологий.

Материалы и методы. Не менее важным аспектом данного вопроса является сравнительный анализ технологий получения изделий с использовани-

ем различной оснастки. Так, для малосерийного и единичного производства деталей наилучшим вариантом можно считать штамп, полученный методом FDM-печати. Это обусловлено тем, что его производство экономит время и ресурсы.

Для изготовления подобного штампа необходимо ознакомиться с таким направлением как система автоматизированного проектирования (САПР). Принято выделять в САПР машиностроительных отраслей промышленности системы функционального, конструкторского и технологического проектирования. Первые из них называют системами расчетов и инженерного анализа или системами CAE (Computer Aided Engineering). Системы конструкторского проектирования называют системами CAD (Computer Aided Design). Проектирование технологических процессов составляет часть технологической подготовки производства и выполняется в системах CAM (Computer Aided Manufacturing). Этапы жизненного цикла промышленных изделий и используемые АС на рис. 1 [1].

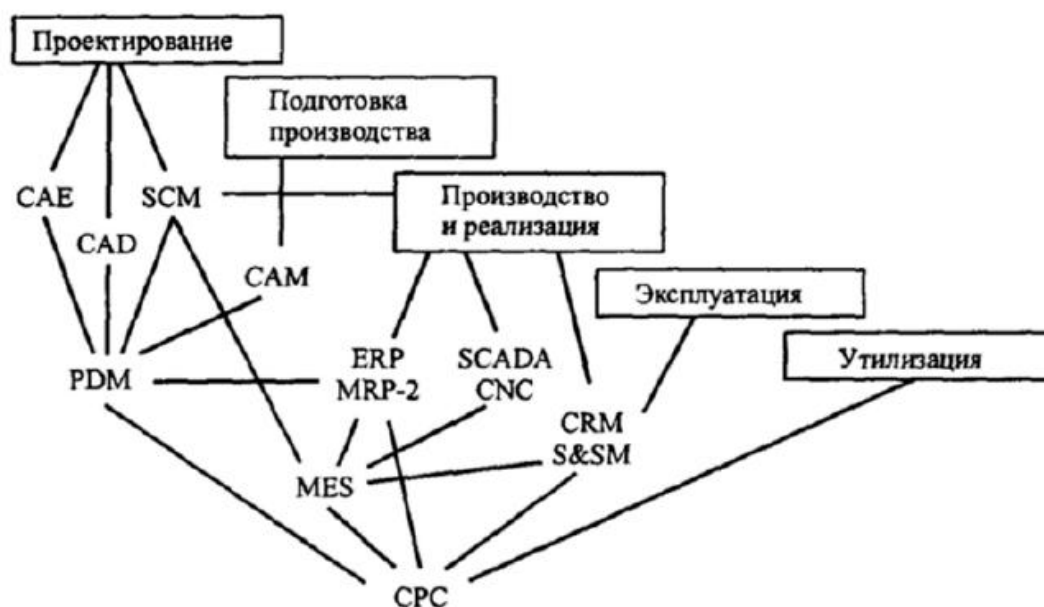


Рис. 1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и используемые АС

Совмещение операций раздачи и обжима позволяет интенсифицировать процесс формоизменения, например, трубчатой заготовки и получить ступенчатые и конические детали с любым углом конусности за один переход с минимальными отходами металла.

Особенностью совмещенного процесса обжима и раздачи является наличие двух участков пластической деформации, разделенных между собой упругодеформируемым участком заготовки. На одном из участков пластической деформации осуществляется увеличение диаметра заготовки, т. е. раздача (рис. 2), на другом — уменьшение диаметра заготовки, т. е. обжим (рис. 3) [2, 3].

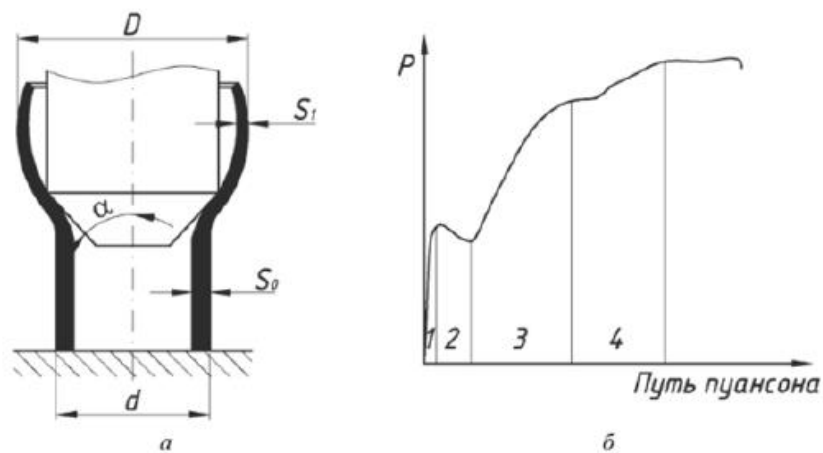


Рис. 2. Схема деформации металла при раздаче коническим пуансоном (а) и поэтапное изменение усилия раздачи (б)

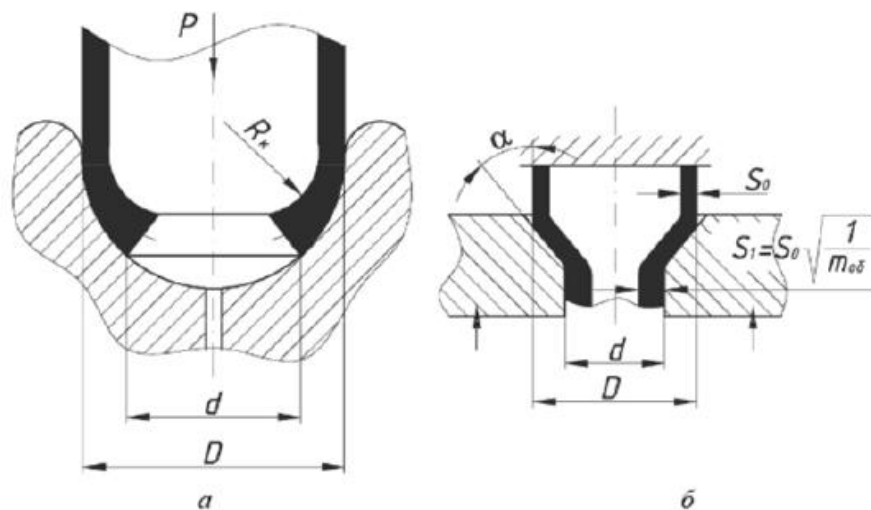


Рис. 3. Схема деформации при обжиге в конической матрице (а) и в матрице с криволинейной образующей (б)

При одинаковых условиях на обоих участках деформирование на участке раздачи осуществляется более интенсивно, чем на участке обжима. При одинаковых коэффициентах трения, степени деформации и углах конусности пуансона и матрицы — сила раздачи примерно на 75 % меньше силы обжима, в связи с чем раздача происходит более интенсивно, чем обжим. Поэтому сила раздачи будет недостаточна для получения конической части объема. Увеличить коэффициент формоизменения при обжимах можно, варьируя коэффициент трения.

Для получения более интенсивного объема, очевидно, необходимо назначить коэффициент трения для обжима меньше, чем для раздачи. Из анализа напряженного состояния можно заметить, что максимальные сжимающие напряжения в меридиональном направлении при раздаче меньше, чем при обжиге.

Увеличение напряжения можно добиться, если назначить коэффициент трения при раздаче больше, чем при обжиге, а также применить дополнительный подвод в меридиональном направлении.

Теперь можно перейти к теме САПР. Так для конструирования деталей была применена CAD-программа КОМПАС-3Д (схема штампа представлена на рис. 4). А для моделирования процесса использовалась САЕ-программа QForm (в табл. 1 приведены основные результаты моделирования). САЕ-системами (Computer-Aided Engineering) называется программное обеспечение, предназначенное для расчетов, анализа и симуляции физических процессов в решении инженерных задач [4].

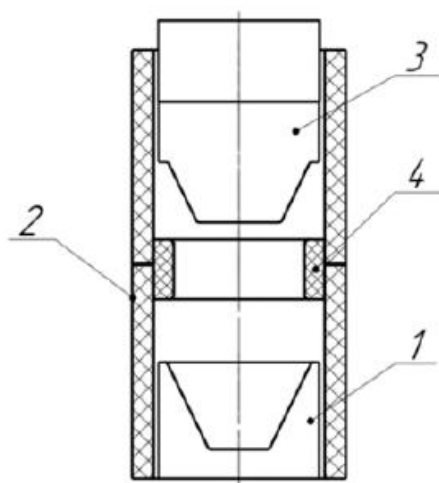


Рис. 4. Схема разрабатываемого штампа для операции «Обжим-раздачи».

Штамп состоит из следующих конструктивных элементов:

1 — матрица; 2 — матрице-и пуансонодержатель; 3 — пуансон; 4 — центрирующее кольцо

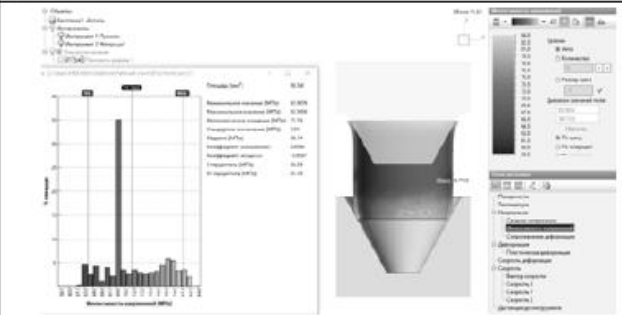
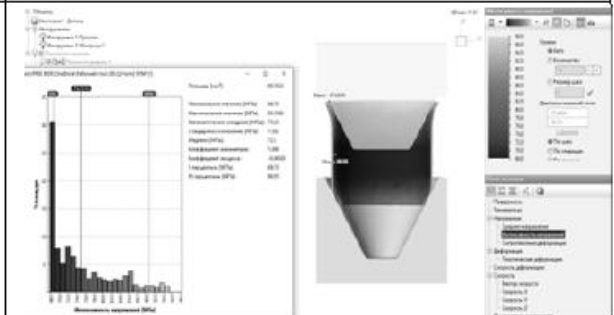
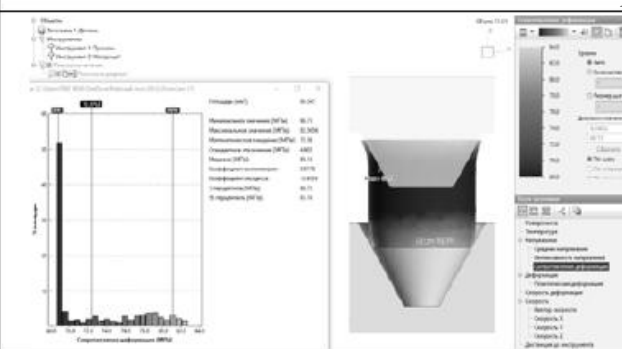
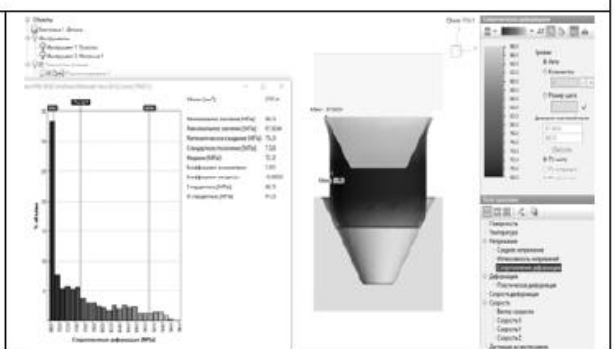
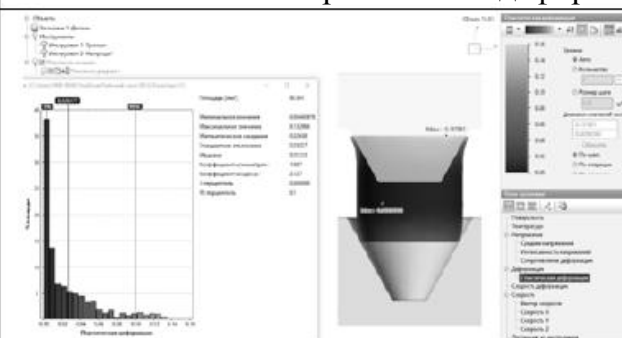
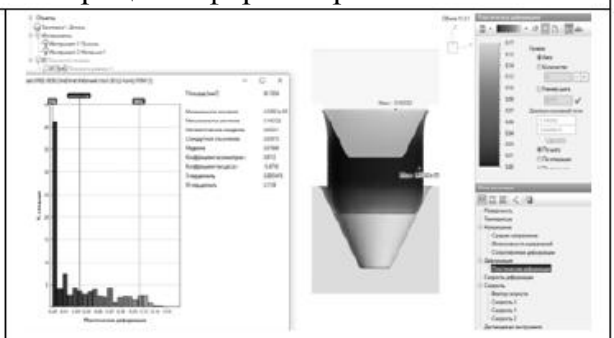
Компьютерное моделирование и симуляция служат для оптимизации проектов через изменение параметров дизайна. Алгоритмы анализа чувствительности исследуют влияние параметров на целевую функцию. Параметры используются также для планирования экспериментов и оценки данных.

Фундаментальным численным методом, лежащим в основе современных САЕ-систем, является метод конечных элементов (МКЭ). Этот метод позволяет решать сложные задачи механики путем разбиения исследуемой области на множество малых элементов. Расчетная область разбивается на элементы с уравнениями. Каждый элемент имеет номер и узлы. Граничные условия и нагрузки задаются в узлах. Расчет сводится к решению системы уравнений. Системы автоматизации инженерных расчетов часто интегрированы с CAD-системами. Инженер может провести проверочные расчеты и изменить конструкцию.

Результаты. Численное моделирование задач прочности существенно экономит время, ресурсы, позволяет сократить объемы натурных испытаний, а также более тщательно оптимизировать конструкции.

Таблица 1

Сравнение основных характеристик разных видов штампа в зависимости от приблизительного математического ожидания показателей в сечении

Для металлического штампа	Для FDM-штампа (ABS-пластик)
	
Интенсивность напряжений в заготовке	
	
Значения сопротивления деформации в процессе формообразования	
	
Значения пластической деформации в процессе формообразования	

Ниже представлена табл. 2 сравнения результатов моделирования металлического и FDM штампов.

Обсуждение. Согласно полученным результатам можно считать, что получение деталей с помощью FDM штампа способствует эффективному экономическому распределению финансовых и трудовых ресурсов при мелкосерийном производстве деталей по сравнению с тем, если бы они изготавливались в металлическом штампе. А также полученная продукция имеет качество на высоком уровне, если оптимально используется расходный ресурс оснастки.

Таблица 2

**Сравнение характеристик разных видов штампа в зависимости
от приблизительного математического ожидания показателей в сечении
для перемещения в 6 мм**

Сравнительная характеристика	Металлический штамп	FDM штамп	Разница
Интенсивность напряжений (МПа)	72	76	4
Среднее напряжение (МПа)	–4,2	–3,6	0,6
Сопротивление деформированию (МПа)	72,4	76	3,6
Пластическая деформация	0,026	0,023	0,003
Максимальная сила (МН)/общее время (с)	1,23/25,5	1,27/16,5	0,04/9

Заключение. Тем самым в данной работе был исследован процесс получения деталей типа «Переходник» с помощью FDM-штампа. Получается, чтобы увеличить коэффициент формоизменения следует задать коэффициент трения при раздаче больше, чем при обжиме. Для более детального рассмотрения аспекта данной темы можно с помощью моделирования технологического процесса подобрать более подходящий материал оснастки, а также за счет изменения параметров моделирования найти соответствующий требованиям режим штамповки. И тем самым конкретизировать общую оценку производительности, качества изготавливаемых деталей, а также экономической характеристики данного направления [5].

Список источников

- [1] Норенков И.П., ред. *Системы автоматизированного проектирования*. Москва, Высш. шк., 1986.
- [2] Бер В.И., Сидельников С.Б., Соколов Р.Е. *Технология листовой штамповки*. Красноярск, Сиб. федер. ун-т, 2018, 164 с.
- [3] Сулейман А.А., Шубин И.Н. Напряженно-деформированное состояние в совмещенной операции раздачи и обжима при изготовлении переходников. *Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2013, № 8.
- [4] *CAE Системы инженерного анализа*. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:CAE_Системы_инженерного_анализа?ysclid=mats6swkg6186991678 (дата обращения 15.09.2025).
- [5] Малюх В.Н. *Введение в современные САПР: курс лекций*. Москва, ДМК Пресс, 2010, 192 с.