

Доктор технических наук
Жарков Валерий Алексеевич

Методология Жаркова

по проектированию штамповки в

Ansys Forming с искусственным интеллектом.

Часть 3

CAD/CAE

VISUAL

Издательство “Жарков Пресс”

Валерий Жарков

**Методология Жаркова по
проектированию штамповки в
Ansys Forming с искусственным
интеллектом. Часть 3**

«Автор»

2026

Жарков В. А.

Методология Жаркова по проектированию штамповки в Ansys Forming с искусственным интеллектом. Часть 3 / В. А. Жарков — «Автор», 2026

ISBN 5-94212-045-5. Жарков В.А. Методология Жаркова по проектированию штамповки в Ansys Forming с искусственным интеллектом. Часть 3. — Москва: Издательство "Жарков Пресс". 2026. Книга по проектированию штамповки в CAD/CAE-системе Ansys Forming корпорации ANSYS Corp (США). На основе файла штампуемой, например, кузовной детали, в Ansys DesignModeler или Ansys Discovery проектируются заготовка и инструменты: пуансон, матрица и прижим штампа, и сохраняются в виде файлов в формате *.igs или *.stp. Эти файлы импортируются в Ansys Forming, моделируется операция штамповки с учётом упрочнения и анизотропии обрабатываемой заготовки. Получаются результаты с анимацией штамповки, расчётом деформаций, сил и опасности складкообразования, чрезмерного утонения и разрушения заготовки в процессе штамповки на основе диаграммы предельных деформаций и критериев разрушения Жаркова. Предназначена инженерам и учёным, а также студентам и преподавателям. Книга состоит из 3-х частей: Часть 1, Часть 2, Часть 3.

© Жарков В. А., 2026

© Автор, 2026

Содержание

Введение	11
14.1. Импорт пуансона, по которому необходимо обработать заготовку	18
14.2. Поворот инструмента относительно направления обработки заготовки	23
Конец ознакомительного фрагмента.	27

Валерий Жарков

Методология Жаркова по проектированию штамповки в Ansys Forming с искусственным интеллектом. Часть 3

Доктор технических наук

Жарков Валерий Алексеевич

Методология Жаркова

по проектированию штамповки в

Ansys Forming с искусственным интеллектом.

Часть 3

Издательство “Жарков Пресс”

Москва

www.ZharkovPress.ru

ISBN 5-94212-045-5

Жарков Валерий Алексеевич. Методология Жаркова по проектированию штамповки в Ansys Forming с искусственным интеллектом. Часть 3. – Москва: Издательство “Жарков Пресс”. 2026.

Это уникальная и единственная в мире книга по компьютерному проектированию обработки материалов и разработке технологических процессов многооперационного изготовления деталей в промышленности в Computer-Aided-Design/Computer-Aided-Engineering-системах (CAD/CAE-системах) на примерах проектирования операций штамповки в CAD/CAE-системе Ansys Forming корпорации ANSYS Corp (США); Ansys Forming нетрудно приобрести и легко установить даже на домашний компьютер.

Математическая модель сложной крупногабаритной кузовной детали в виде файла формата *.igs или *.stp получается после проектирования детали в CAD-программе или сканирования мастер-модели детали на координатно-измерительной машине. Далее файл детали импортируется в CAD-систему, и получается изображение детали. На основе этого изображения, в CAD-системе Ansys DesignModeler или Ansys Discovery, проектируются заготовка и инструменты, обрабатывающие эту заготовку: пуансон, матрица и прижим штампа для вытяжки, и сохраняются в виде файлов в формате *.igs или *.stp. Затем эти файлы импортируются в CAD/CAE-систему Ansys Forming. Создаётся проект по обработке заготовки инструментами. Моделируется операция вытяжки с учётом упрочнения обрабатываемой заготовки и коэффициента анизотропии заготовки.

Получаются результаты с анимацией штамповки, расчётом деформаций и сил и опасности складкообразования, чрезмерного утонения и разрушения заготовки в процессе штамповки на основе диаграммы предельных деформаций (ДПД) и критериев разрушения Жаркова.

Если параметры штамповки превышают эти критерии, вносятся изменения в проект, и моделирование продолжается до тех пор, когда будут достигнуты приемлемые для конкретного производства результаты.

В данном 1-м Издании книги, сначала формулируется постановка задачи, с целью понимания механизма формоизменения заготовки в процессе вытяжки. Чтобы грамотно, адекватно реальной операции вытяжки деталей из заготовок на производстве, создать свой проект в CAD/CAE-системе. Затем даются подробные пошаговые инструкции для компьютерного моделирования в CAD/CAE-системе Ansys Forming этой операции вытяжки полуфабриката из листовой заготовки с учётом последующих операций штамповки готовой детали.

В последующих Изданиях книги будут приведены пошаговые инструкции по проектированию последующих (после вытяжки) операций штамповки заданной кузовной или другой детали.

Данное Издание 1 книги состоит из трёх частей (Часть 1, Часть 2, Часть 3) и следующих разделов.

Раздел I. Создание проекта в CAD/CAE-системе Ansys Forming и импорт модели детали или инструмента для изготовления детали из заготовки

Раздел II. Определение формы, размеров и материала заготовки для изготовления детали

Раздел III. Проектирование в Ansys DesignModeler матрицы и прижима штампа для вытяжки полуфабриката из заготовки

Раздел IV. Добавление к заготовке в Ansys Forming пуансона, матрицы и прижима для вытяжки полуфабриката из этой заготовки

Раздел V. Результаты решения задачи по деформированию заготовки

Далее дан список использованной Литературы при написании данной книги.

Следуя подробным пошаговым инструкциям в книге, любой пользователь, даже без специальной подготовки, по методологии Жаркова сначала может быстро проанализировать вытяжку детали из заготовки с расчётом ориентировочных значений напряжений и деформаций по приведённым в данной книге разделам “Теории Жаркова листовой штамповки”, а затем грамотно, тождественно реальной операции вытяжки на производстве, создать свой собственный учебный, научный или практический проект в CAD/CAE-системе и далее моделировать, изучать, исследовать и применять на практике (в автомобильной, авиастроительной, электротехнической, посудной, упаковочной и других отраслях промышленности) заданный процесс вытяжки, чтобы сократить время и количество ошибок при проектировании технологического процесса вытяжки и связанных с вытяжкой других технологических процессов, снизить норму расхода материала заготовки на деталь и уменьшить себестоимость изготовления деталей.

Разработанные читателем проекты в CAD/CAE-системе на основе приведённых в данной книге проектов Жаркова с использованием МКЭ могут быть переданы другим пользователям со ссылкой на использование данной книги Жаркова.

Книга предназначена инженерам и учёным, работающим в различных отраслях промышленности, а также студентам и преподавателям технических колледжей, техникумов, институтов и университетов.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения директора ООО “Издательство “Жарков Пресс”.

Copyright Жарков Валерий Алексеевич (Zharkov Valerij Alekseyevich), директор ООО “Издательство “Жарков Пресс”.

ISBN 5-94212-045-5 ООО “Издательство “Жарков Пресс” (Publishing house “Zharkov Press”, ZharkovPress.ru).

Оглавление

Введение

Раздел I. Создание проекта в CAD/CAE-системе Ansys Forming и импорт модели детали или инструмента для изготовления детали из заготовки

Глава 1. Последовательность решения задач в Ansys Forming

1.1. Интерфейс пользователя в CAD/CAE-системе Ansys Forming

1.2. Последовательность проектирования штамповки в Ansys Forming

Глава 2. Создание проекта в Ansys Forming и импорт математической модели инструмента, по которому необходимо обработать заготовку

2.1. Терминология и основные определения в книге

2.2. Постановка задачи

2.3. Создание проекта

2.4. Импорт в CAD/CAE-систему математической модели инструмента, по которому необходимо обработать заготовку

2.5. Изображение закруглённых краёв инструмента как пуансона

Глава 3. Поворот модели относительно направления перемещения ползунов прессов при обработке заготовки в штампах на прессах

3.1. Варианты поворота модели относительно направления обработки заготовки в штампах на прессах

3.2. Расчёт угла поворота модели относительно направления обработки заготовки

3.3. Поворот модели относительно направления обработки заготовки

Глава 4. Определение точности решения задачи

4.1. Варианты параметров точности решения задачи

4.2. Этапы выбора точности решения задачи

4.3. Учёт пружинения полуфабриката после штамповки

4.4. Изменение настроек, заданных по умолчанию, для более специализированного моделирования

Глава 5. Определение операций обработки заготовки для изготовления заданной детали

5.1. Допустимые операции холодной обработки в Ansys Forming

5.2. Операции холодной обработки заготовки для изготовления заданной детали

5.3. Операции горячей обработки заготовки

Раздел II. Определение формы, размеров и материала заготовки для изготовления детали

Глава 6. Проектирование заготовки в Ansys Forming. Вариант 1

6.1. Постановка задачи

6.2. Проектирование заготовки

6.2.1. Задание толщины заготовки и коэффициента трения заготовки по инструментам штампа

6.2.2. Габаритные размеры детали

6.2.3. Габаритные размеры развёртки детали

6.2.4. Расчёт ширины технологического припуска на полуфабрикате после вытяжки

6.2.5. Габаритные размеры плоской заготовки

6.2.6. Координаты центра заготовки

6.2.7. Построение заготовки

6.3. Перемещение модели ниже заготовки

Глава 7. Определение в Ansys Forming материала детали и заготовки. Вариант 1

7.1. Выбор марки материала детали и заготовки

7.2. Угол наклона оси заготовки и оси детали относительно направления прокатки заготовки

Глава 8. Проектирование заготовки в Ansys DesignModeler. Вариант 2

8.1. Постановка задачи

8.2. Тип заготовки

8.3. Размеры заготовки в виде листа

8.4. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.stp в CAD/CAE-системе Ansys DesignModeler

8.5. Проверка правильности импорта модели заготовки формата *.stp из Ansys DesignModeler в Ansys Forming

8.6. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.igs в CAD/CAE-системе Ansys DesignModeler

8.7. Проверка правильности импорта модели заготовки формата *.igs из Ansys DesignModeler в Ansys Forming

8.8. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.igs в Ansys Discovery

8.9. Проверка правильности импорта модели заготовки формата *.igs из Ansys Discovery в Ansys Forming

Глава 9. Импорт заготовки из Ansys Discovery в Ansys Forming и определение параметров заготовки

9.1. Импорт файла заготовки в Ansys Forming и выбор компонентов заготовки

9.2. Выбор марки материала детали и заготовки

9.3. Угол наклона оси заготовки и оси детали относительно направления прокатки заготовки

Раздел III. Проектирование в Ansys DesignModeler матрицы и прижима штампа для вытяжки полуфабриката из заготовки

Глава 10. Определение в Ansys Forming опорных точек на модели перед проектированием матрицы

10.1. Определение 1-й опорной точки на модели

10.2. Определение последующих опорных точек на модели

Глава 11. Проектирование в Ansys DesignModeler матрицы штампа для вытяжки полуфабриката из заготовки

11.1. Постановка задачи

11.2. Импорт модели заданной детали в Ansys DesignModeler как центральной части поверхности матрицы

11.3. Поворот модели на определённый угол

11.4. Удаление на модели лишних поверхностей и оставление только рабочей поверхности для матрицы

11.5. Соединение трёх тел матрицы в одно тело

11.6. Проектирование образующей для прижимных участков поверхности матрицы

11.7. Проектирование прижимных участков поверхности матрицы

11.7.1. Проектирование 1-го прижимного участка поверхности матрицы

11.7.2. Проектирование 2-го прижимного участка поверхности матрицы

11.7.3. Проектирование 3-го прижимного участка поверхности матрицы

11.7.4. Проектирование 4-го прижимного участка поверхности матрицы

11.7.5. Проектирование 5-го прижимного участка поверхности матрицы

11.7.6. Проектирование 6-го прижимного участка поверхности матрицы

11.7.7. Проектирование 7-го прижимного участка поверхности матрицы

11.7.8. Проектирование 8-го прижимного участка поверхности матрицы

11.7.9. Проектирование 9-го прижимного участка поверхности матрицы

11.7.10. Проектирование 10-го прижимного участка поверхности матрицы

11.7.11. Поворот всей матрицы вокруг оси

11.8. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.stp

Глава 12. Проектирование в Ansys DesignModeler прижима штампа для вытяжки полуфабриката из заготовки. Вариант 1

12.1. Постановка задачи

12.2. Удаление центральных участков и сохранение краевых прижимных участков поверхности матрицы

12.3. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.igs в Ansys DesignModeler

12.4. Проверка правильности импорта модели прижима формата *.igs из Ansys DesignModeler в Ansys Forming

12.5. Преобразование в Ansys Discovery модели формата *.wbpj в модель формата *.igs

12.6. Проверка правильности импорта модели прижима формата *.igs из Ansys Discovery в Ansys Forming

Глава 13. Проектирование в Ansys DesignModeler прижима штампа для вытяжки полуфабриката из заготовки. Вариант 2

13.1. Постановка задачи

13.2. Проектирование образующей для поверхности прижима

13.3. Проектирование участков поверхности прижима

13.3.1. Проектирование 1-го участка поверхности прижима

13.3.2. Проектирование 2-го участка поверхности прижима

13.3.3. Проектирование 3-го участка поверхности прижима

13.3.4. Проектирование 4-го участка поверхности прижима

13.3.5. Проектирование 5-го участка поверхности прижима

13.3.6. Проектирование 6-го участка поверхности прижима

13.3.7. Проектирование 7-го участка поверхности прижима

13.3.8. Проектирование 8-го участка поверхности прижима

13.3.9. Проектирование 9-го участка поверхности прижима

13.3.10. Проектирование 10-го участка поверхности прижима

13.4. Удаление центрального участка модели и сохранение поверхности прижима

13.5. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.igs

Раздел IV. Добавление к заготовке в Ansys Forming пуансона, матрицы и прижима для вытяжки полуфабриката из этой заготовки

Глава 14. Импорт в Ansys Forming пуансона штампа для вытяжки

14.1. Импорт пуансона, по которому необходимо обработать заготовку

14.2. Поворот инструмента относительно направления обработки заготовки

14.3. Перемещение пуансона ниже заготовки

14.4. Изображение закруглённых краёв инструмента как пуансона

Глава 15. Импорт в Ansys Forming матрицы штампа для вытяжки

15.1. Импорт матрицы

15.2. Поворот матрицы относительно поверхности заготовки

15.3. Определение глубины вытяжки полуфабриката из заготовки

15.4. Перемещение матрицы в нижнее положение после вытяжки

Глава 16. Импорт в Ansys Forming прижима штампа для вытяжки

16.1. Импорт прижима

16.2. Поворот прижима относительно поверхности заготовки

16.3. Определение аппликаты верхней точки прижима

16.4. Перемещение прижима в нижнее положение после вытяжки

Глава 17. Определение параметров операции вытяжки полуфабриката из заготовки

17.1. Выбор типа вытяжки и прессы для вытяжки

- 17.2. Определение возможных перемещений инструментов штампа
- 17.3. Определение импортированного файла матрицы как инструмента штампа
- 17.4. Определение импортированного файла заготовки как деформируемой заготовки в штампе
- 17.5. Определение импортированного файла прижима как инструмента штампа для вытяжки
- 17.5. Определение импортированного файла пуансона как инструмента штампа для вытяжки
- Глава 18. Задание параметров перемещения инструментов
 - 18.1. Задание параметров перемещения на холостом ходу для матрицы
 - 18.2. Задание параметров перемещения на рабочем ходу для матрицы
 - 18.3. Задание параметров перемещения на холостом ходу для прижима
 - 18.4. Задание параметров перемещения на рабочем ходу для прижима
 - 18.5. Задание параметров перемещения для пуансона
 - 18.6. Задание перемещений матрицы и прижима на холостом и рабочих ходах
 - 18.6.1. Расчёт перемещения матрицы при ходе вниз и вверх
 - 18.6.2. Задание перемещений матрицы и прижима
- Глава 19. Запуск проекта на решение
 - 19.1. Определение количества вычислительных ядер процессора на компьютере
 - 19.2. Запуск проекта на решение
- Раздел V. Результаты решения задачи по деформированию заготовки
- Глава 20. Определение деформаций в деформируемой заготовке
 - 20.1. Анимация обработки заготовки
 - 20.2. Определение деформаций в заготовке при деформировании
- Глава 21. Определение сил для деформирования заготовки
 - 21.1. Определение в Ansys Forming сил для деформирования заготовки
 - 21.2. Формулы Жаркова для приближённого расчёта максимальной силы для деформирования заготовки
- Глава 22. Критерии Жаркова для расчёта опасности разрушения деформируемой заготовки
 - 22.1. Критерии для расчёта опасности разрушения заготовки
 - 22.2. Критерии для расчёта опасности разрушения заготовки применительно к вытяжке панели капота
- Глава 23. Рекомендации Жаркова по устранению складкообразования и разрушения заготовки при вытяжке
 - 23.1. Рекомендации по изменению конструкции детали
 - 23.2. Рекомендации по изменению параметров технологического процесса штамповки
 - 23.3. Рекомендации по изменению конструкции штампов по сравнению с традиционными
- Литература

Введение

Это уникальная и единственная книга по компьютерному проектированию обработки материалов и разработке технологических процессов изготовления деталей в промышленности в Computer-Aided-Design/Computer-Aided-Engineering-системах (CAD/CAE-системах) на примерах проектирования основных формоизменяющих операций промышленности в CAD/CAE-системе Ansys Forming корпорации ANSYS Corp (США); Ansys Forming нетрудно приобрести и легко установить даже на домашний компьютер.

В данном 1-м издании книги разработана методология Жаркова по моделированию технологических процессов обработки заготовок с целью изготовления деталей на примере широко распространённых в промышленности формоизменяющих операций листовой штамповки. Точнее, разработана теория Жаркова и компьютерное проектирование технологических процессов обработки заготовок и получения деталей на примере распространённой в промышленности формоизменяющей операции листовой штамповки, а именно: вытяжка сложных крупногабаритных типа кузовных деталей из листовых заготовок. Способ вытяжки применяется и как самостоятельная операция, и в сочетании с другими многочисленными операциями листовой штамповки.

Математическая модель сложной поверхности кузовной детали в виде файла формата, например, *.igs или *.stp, полученного после проектирования в CAD-программе или сканирования мастер-модели детали или изделия на координатно-измерительной машине, импортируется в CAD/CAE-систему и получается изображение детали. На основе этого изображения в CAD-системе Ansys DesignModeler или Ansys Discovery проектируются заготовка и инструменты, обрабатывающие эту заготовку: пуансон, матрица и прижим штампа для вытяжки, и сохраняются в виде файлов в формате *.igs или *.stp. Затем эти файлы импортируются в Ansys Forming, создаётся проект по обработке заготовки инструментами, моделируется операция вытяжки с анимацией и расчётом деформаций и сил и опасности складкообразования, чрезмерного утонения и разрушения заготовки в процессе штамповки на основе диаграммы предельных деформаций (ДПД) и критериев разрушения Жаркова. Если параметры штамповки превышают эти критерии, вносятся изменения и моделирование продолжается до тех пор, когда будут достигнуты приемлемые для конкретного производства результаты.

В каждой главе сначала формулируется постановка задачи с целью понимания механизма формоизменения заготовки в процессе вытяжки, чтобы грамотно, адекватно реальной операции вытяжки деталей из заготовок на производстве, создать свой проект в CAD/CAE-системе. Затем даются подробные пошаговые инструкции для компьютерного моделирования в CAD/CAE-системе этой операции вытяжки полуфабриката из листовой заготовки с учётом последующих операций штамповки готовой детали.

CAD/CAE-система Ansys Forming объединяет в себе простоту использования и мощь теорий упругости, пластичности, метода конечных элементов и алгоритмических языков высокого уровня, на основе которых разработана данная система. В данном чрезвычайно насыщенном издании (заменяющей несколько других книг и руководств) последовательно и всесторонне изложена методология создания уникального высокотехнологичного и наукоёмкого программного продукта в виде проекта CAD/CAE-системы для моделирования технологических процессов в различных отраслях промышленности, начиная от трёхмерного моделирования однооперационной вытяжки и заканчивая моделированием многооперационной вытяжки деталей из разнообразных заготовок.

Моделирование основано на мощных собственных трёхмерных графических возможностях системы, что позволяет строить сложные трёхмерные модели заготовки и инструментов,

которые в динамике обрабатывают эту заготовку с целью получения детали, а также двухмерные и трёхмерные графики разнообразных функций, в том числе диаграммы изменения во времени различных параметров технологических процессов, например, диаграмма “сила деформирования заготовки инструментом – ход инструмента”. Система Ansys Forming объединяет в себе Computer-Aided Design-систему и Computer-Aided Engineering-систему, является CAD/CAE-системой, вследствие чего имеет большие преимущества по сравнению с другими программами.

После построения модели, система выполняет численное математическое моделирование процесса деформирования заготовки при изготовлении детали на основе теорий упругости, пластичности, обработки материалов давлением, разрушения материалов и метода конечных элементов (МКЭ), позволяет получать практически важную информацию о моделируемом процессе, вносить изменения в процесс, снова моделировать и так до тех пор, когда будут получены требуемые параметры технологического процесса. Разработанные читателем проекты в CAD/CAE-системе на основе приведённых в данном издании проектов Жаркова могут быть переданы другим пользователям со ссылкой на использование данного издания Жаркова.

Наша основная цель – дать читателю ту информацию, которую он больше нигде не найдёт. Поэтому в издании не дублируется справка CAD/CAE-системы. Если у читателя возникнуть общие вопросы, он легко отыщет справку и там найдёт ответ, так как терминология после перевода с русского языка на английский по всем тематикам у нас общая. Даны лишь краткие пояснения, чтобы начинающий пользователь постепенно осваивал различные базовые дисциплины, по возможности не используя другие материалы; опытному пользователю также будут полезны эти пояснения. К достоинствам издания, рассчитанного на широкий круг новичков и опытных специалистов, относятся практическая направленность, простота изложения и наличие подробных методик и пошаговых инструкций, большое количество примеров и иллюстраций. Теперь читателям, занимающимся обработкой материалов в промышленности, может не потребоваться изучать сложные теоретические книги, посещать длительные и дорогостоящие учебные курсы и покупать много отдельных книг. Автор это сделал за них. Читателю необходимо будет лишь открыть данную книгу в интересующей его главе (мало кто будет изучать издание от корки до корки, хотя это и желательно) и по аналогии с подробными инструкциями главы (по принципу: делай, как я) самостоятельно разрабатывать свой учебный, научный или практический проект. И именно при решении своей конкретной и сложной профессионально интересной задачи (а не отвлечённых простых примеров в справке CAD/CAE-системы) читатель будет изучать (если он новичок) или дальше осваивать (если он продвинутый пользователь) базовые дисциплины по данной тематике. Создавая свой проект в CAD/CAE-системе по методике Жаркова в данном издании, читатель сможет в одиночку работать за конструктора, технолога, математика и программиста одновременно и сэкономить недели и месяцы упорного труда. Если в начальных главах инструкции по разработке проектов описаны подробно (в интересах новичков), то инструкции в каждой последующей главе даны всё короче и короче (часто со ссылкой на другие книги Жаркова по близкой тематике), чтобы не повторяться и экономить место в книге.

При создании проектов в данном издании по моделированию вытяжки сложной кузовной детали используются файлы формата *.igs с уже кем-то заданной геометрией поверхности кузовной детали в какой-то графической библиотеке. Файлы формата *.igs могут быть высланы по email и могут использоваться в учебных, научных и практических целях.

Геометрия заготовки может проектироваться пользователем, используя собственные мощные графические возможности как CAD/CAE-системы Ansys Forming, так и CAD-системы Ansys DesignModeler или Ansys Discovery.

И приближённая инженерная теория Жаркова листовой штамповки, и более точная CAD/CAE-система основаны на использовании теории упругости, теории пластичности и тео-

рии обработки материалов давлением. Поэтому для понимания механизма деформирования заготовки на операциях штамповки и правильного использования CAD/CAE-системы при создании проекта для моделирования штамповки конкретной детали из листовой заготовки, целесообразно ознакомиться с основными положениями теории Жаркова листовой штамповки.

В главах приведена теория листовой штамповки, дополненная теорией Жаркова по вытяжке, по учёту упрочнения по формуле Жаркова и анизотропии заготовки с помощью коэффициента Жаркова анизотропии, по анализу опасности разрушения заготовки при обработке на основе диаграмм предельных деформаций (ДПД), утонений (ДПУ) и напряжений (ДПН). Так как излагаемые в данном издании материалы предназначены для широкого круга читателей (студентов, инженеров и учёных), занимающихся обработкой материалов в промышленности, автор стремился не усложнять аналитические решения и широко использовать приемлемые допущения и упрощения с тем, чтобы создать инженерную теорию листовой штамповки и получить максимально простые аналитические зависимости, отражающие действительные условия деформирования заготовки. Формула Жаркова для учёта упрочнения обрабатываемой заготовки далее вводилась в CAD/CAE-систему при создании каждого проекта. Приводится авторская теория Жаркова В.А. вытяжки деталей из заготовок с учётом упрочнения и анизотропии заготовок и проектирование в CAD/CAE-системе вытяжки деталей с использованием этой теории.

Напомним важное обстоятельство. В каждом разделе, как правило, сначала приводится теория Жаркова деформирования заготовки, даётся инженерный анализ и обосновываются аналитические зависимости с учётом упрочнения заготовки по формуле Жаркова и коэффициента Жаркова анизотропии заготовки для расчёта напряжений, деформаций и критериев Жаркова вероятности разрушения заготовки с целью понимания механизма формоизменения заготовки в процессе штамповки, чтобы (с использованием примеров в виде файлов проектов CAD/CAE-системы по email) грамотно, адекватно реальной операции штамповки деталей из заготовок на производстве, создать свой проект в CAD/CAE-системе. Затем даются подробные инструкции для более точного компьютерного численного моделирования в CAD/CAE-системе этой операции штамповки деталей из разнообразных заготовок.

В данном издании приведены следующие разделы, главы и параграфы.

Введение

Раздел I. Создание проекта в CAD/CAE-системе Ansys Forming и импорт модели детали или инструмента для изготовления детали из заготовки

Глава 1. Последовательность решения задач в Ansys Forming

- 1.1. Интерфейс пользователя в CAD/CAE-системе Ansys Forming
- 1.2. Последовательность проектирования штамповки в Ansys Forming

Глава 2. Создание проекта в Ansys Forming и импорт математической модели инструмента, по которому необходимо обработать заготовку

- 2.1. Терминология и основные определения в книге
- 2.2. Постановка задачи
- 2.3. Создание проекта
- 2.4. Импорт в CAD/CAE-систему математической модели инструмента, по которому необходимо обработать заготовку
- 2.5. Изображение закруглённых краёв инструмента как пуансона

Глава 3. Поворот модели относительно направления перемещения ползунов прессов при обработке заготовки в штампах на прессах

- 3.1. Варианты поворота модели относительно направления обработки заготовки в штампах на прессах

3.2. Расчёт угла поворота модели относительно направления обработки заготовки

3.3. Поворот модели относительно направления обработки заготовки

Глава 4. Определение точности решения задачи

4.1. Варианты параметров точности решения задачи

4.2. Этапы выбора точности решения задачи

4.3. Учёт пружинения полуфабриката после штамповки

4.4. Изменение настроек, заданных по умолчанию, для более специализированного моделирования

Глава 5. Определение операций обработки заготовки для изготовления заданной детали

5.1. Допустимые операции холодной обработки в Ansys Forming

5.2. Операции холодной обработки заготовки для изготовления заданной детали

5.3. Операции горячей обработки заготовки

Раздел II. Определение формы, размеров и материала заготовки для изготовления детали

Глава 6. Проектирование заготовки в Ansys Forming. Вариант 1

6.1. Постановка задачи

6.2. Проектирование заготовки

6.3. Перемещение модели ниже заготовки

Глава 7. Определение в Ansys Forming материала детали и заготовки. Вариант 1

7.1. Выбор марки материала детали и заготовки

7.2. Угол наклона оси заготовки и оси детали относительно направления прокатки заготовки

Глава 8. Проектирование заготовки в Ansys DesignModeler. Вариант 2

8.1. Постановка задачи

8.2. Тип заготовки

8.3. Размеры заготовки в виде листа

8.4. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.stp в CAD/CAE-системе Ansys DesignModeler

8.5. Проверка правильности импорта модели заготовки формата *.stp из Ansys DesignModeler в Ansys Forming

8.6. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.igs в CAD/CAE-системе Ansys DesignModeler

8.7. Проверка правильности импорта модели заготовки формата *.igs из Ansys DesignModeler в Ansys Forming

8.8. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.igs в Ansys Discovery

8.9. Проверка правильности импорта модели заготовки формата *.igs из Ansys Discovery в Ansys Forming

Глава 9. Импорт заготовки из Ansys Discovery в Ansys Forming и определение параметров заготовки

9.1. Импорт файла заготовки в Ansys Forming и выбор компонентов заготовки

9.2. Выбор марки материала детали и заготовки

9.3. Угол наклона оси заготовки и оси детали относительно направления прокатки заготовки

Раздел III. Проектирование в Ansys DesignModeler матрицы и прижима штампа для вытяжки полуфабриката из заготовки

Глава 10. Определение в Ansys Forming опорных точек на модели перед проектированием матрицы

10.1. Определение 1-й опорной точки на модели

10.2. Определение последующих опорных точек на модели

Глава 11. Проектирование в Ansys DesignModeler матрицы штампа для вытяжки полуфабриката из заготовки

11.1. Постановка задачи

11.2. Импорт модели заданной детали в Ansys DesignModeler как центральной части поверхности матрицы

11.3. Поворот модели на определённый угол

11.4. Удаление на модели лишних поверхностей и оставление только рабочей поверхности для матрицы

11.5. Соединение трёх тел матрицы в одно тело

11.6. Проектирование образующей для прижимных участков поверхности матрицы

11.7. Проектирование прижимных участков поверхности матрицы

11.8. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.stp

Глава 12. Проектирование в Ansys DesignModeler прижима штампа для вытяжки полуфабриката из заготовки. Вариант 1

12.1. Постановка задачи

12.2. Удаление центральных участков и сохранение краевых прижимных участков поверхности матрицы

12.3. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.igs в Ansys DesignModeler

12.4. Проверка правильности импорта модели прижима формата *.igs из Ansys DesignModeler в Ansys Forming

12.5. Преобразование в Ansys Discovery модели формата *.wbpj в модель формата *.igs

12.6. Проверка правильности импорта модели прижима формата *.igs из Ansys Discovery в Ansys Forming

Глава 13. Проектирование в Ansys DesignModeler прижима штампа для вытяжки полуфабриката из заготовки. Вариант 2

13.1. Постановка задачи

13.2. Проектирование образующей для поверхности прижима

13.3. Проектирование участков поверхности прижима

13.4. Удаление центрального участка модели и сохранение поверхности прижима

13.5. Преобразование модели формата *.wbpj в модель формата *.igs

Раздел IV. Добавление к заготовке в Ansys Forming пуансона, матрицы и прижима для вытяжки полуфабриката из этой заготовки

Глава 14. Импорт в Ansys Forming пуансона штампа для вытяжки

14.1. Импорт пуансона, по которому необходимо обработать заготовку

14.2. Поворот инструмента относительно направления обработки заготовки

14.3. Перемещение пуансона ниже заготовки

14.4. Изображение закруглённых краёв инструмента как пуансона

Глава 15. Импорт в Ansys Forming матрицы штампа для вытяжки

15.1. Импорт матрицы

15.2. Поворот матрицы относительно поверхности заготовки

15.3. Определение глубины вытяжки полуфабриката из заготовки

15.4. Перемещение матрицы в нижнее положение после вытяжки

Глава 16. Импорт в Ansys Forming прижима штампа для вытяжки

16.1. Импорт прижима

16.2. Поворот прижима относительно поверхности заготовки

16.3. Определение аппликаты верхней точки прижима

16.4. Перемещение прижима в нижнее положение после вытяжки

Глава 17. Определение параметров операции вытяжки полуфабриката из заготовки

- 17.1. Выбор типа вытяжки и прессы для вытяжки
- 17.2. Определение возможных перемещений инструментов штампа
- 17.3. Определение импортированного файла матрицы как инструмента штампа
- 17.4. Определение импортированного файла заготовки как деформируемой заготовки в штампе
- 17.5. Определение импортированного файла прижима как инструмента штампа для вытяжки
- 17.5. Определение импортированного файла пуансона как инструмента штампа для вытяжки

Глава 18. Задание параметров перемещения инструментов

- 18.1. Задание параметров перемещения на холостом ходу для матрицы
- 18.2. Задание параметров перемещения на рабочем ходу для матрицы
- 18.3. Задание параметров перемещения на холостом ходу для прижима
- 18.4. Задание параметров перемещения на рабочем ходу для прижима
- 18.5. Задание параметров перемещения для пуансона
- 18.6. Задание перемещений матрицы и прижима на холостом и рабочих ходах

Глава 19. Запуск проекта на решение

- 19.1. Определение количества вычислительных ядер процессора на компьютере
- 19.2. Запуск проекта на решение

Раздел V. Результаты решения задачи по деформированию заготовки

Глава 20. Определение деформаций в деформируемой заготовке

- 20.1. Анимация обработки заготовки
- 20.2. Определение деформаций в заготовке при деформировании

Глава 21. Определение сил для деформирования заготовки

- 21.1. Определение в Ansys Forming сил для деформирования заготовки
- 21.2. Формулы Жаркова для приближённого расчёта максимальной силы для деформирования заготовки

Глава 22. Критерии Жаркова для расчёта опасности разрушения деформируемой заготовки

- 22.1. Критерии для расчёта опасности разрушения заготовки
- 22.2. Критерии для расчёта опасности разрушения заготовки применительно к вытяжке панели капота

Глава 23. Рекомендации Жаркова по устранению складкообразования и разрушения заготовки при вытяжке

- 23.1. Рекомендации по изменению конструкции детали
- 23.2. Рекомендации по изменению параметров технологического процесса штамповки
- 23.3. Рекомендации по изменению конструкции штампов по сравнению с традиционными

Литература

Следуя подробным пошаговым инструкциям в издании, любой пользователь, даже без специальной подготовки, по методологии Жаркова сначала может быстро проанализировать штамповку детали из заготовки с расчётом ориентировочных значений напряжений и деформаций по приведённым в данном издании разделам “Теории Жаркова листовой штамповки”, а затем грамотно, тождественно реальной операции вытяжки на производстве, создать свой собственный учебный, научный или практический проект в CAD/CAE-системе и далее моделировать, изучать, исследовать и применять на практике (в автомобильной, авиастроительной,

электротехнической, посудной, упаковочной и других отраслях промышленности) заданный процесс штамповки, чтобы сократить время и количество ошибок при проектировании технологического процесса штамповки и связанных с этой операцией других технологических процессов, снизить норму расхода материала заготовки на деталь и уменьшить себестоимость изготовления деталей.

Разработанные читателем проекты в CAD/CAE-системе на основе приведённых в данном издании проектов Жаркова с использованием МКЭ могут быть переданы другим пользователям со ссылкой на использование данного издания Жаркова.

Книга предназначена инженерам и учёным, работающим в различных отраслях промышленности, а также студентам и преподавателям технических колледжей, техникумов, институтов и университетов.

Издание предназначено также для всех желающих быстро изучить методологию моделирования процессов в CAD/CAE-системе Ansys Forming последней версии, сразу же создавать в этой системе мощные профессиональные приложения и применять их на практике в различных сферах деятельности. В том числе, Издание предназначено для начинающих и опытных пользователей компьютерами, программистов различной квалификации, инженерно-технических работников, конструкторов, технологов, математиков, механиков, аспирантов, научных работников и учёных, работающих с целью:

- применения CAD/CAE-системы Ansys Forming для разработки индивидуальных или корпоративных проектов и практических приложений в многочисленных областях деятельности;

- создания систем компьютерного моделирования и проектирования (CAD/CAE systems – Computer-Aided-Design/Computer-Aided-Engineering-systems) в различных отраслях промышленности;

- развития прикладной математики (аналитическое и численное математическое моделирование, метод конечных элементов);

- совершенствования теории в области механики деформируемого тела (теории упругости и пластичности, механика разрушения, теория обработки металлов и неметаллов давлением),

- а также для учащихся и слушателей курсов, студентов, учителей и преподавателей технических специальностей.

Отметим, что из полного варианта книги на русском языке автор удалил Главы 24, 25, 26, а в Главах 1-5 автор удалил часть не очень важных рисунков, чтобы уменьшить объём книги до требуемого объёма в 70 Мб, но эти Главы 24, 25, 26 и рисунки можно посмотреть в полном варианте книги автора на английском языке (в списке Литературы под номером 193):

193. Zharkov Valery Alekseyevich. Zharkov's methodology on projecting the stamping in Ansys Forming with artificial intelligence. Edition 1. – Moscow, Publishing house “Zharkov Press”, 2026 (на сайте amazon.com в разделе Books).

В связи с большим количеством рисунков, книга разделена на три части: Часть 1, Часть 2, Часть 3.

Часть 1 опубликована по адресу:

<https://www.litres.ru/book/valeriy-zharkov-32440068/metodologiia-zharkova-po-proektirovaniiu-shtampovki-v-ansy-74416258/>

Часть 2 опубликована на этом же сайте:

<https://www.litres.ru>

Все вопросы, замечания и предложения по тематике данной книги можно направлять в издательство по email:

dr_zharkov_v_a@mail.ru

Сайт ООО “Издательство “Жарков Пресс”: ZharkovPress.ru или www.ZharkovPress.ru.

Автор, доктор технических наук, Жарков Валерий Алексеевич.

Раздел

IV

. Добавление к заготовке в

Ansys

Forming

пуансона, матрицы и прижима для вытяжки полуфабриката из этой заготовки

Глава 14. Импорт в

Ansys

Forming

пуансона штампа для вытяжки

14.1. Импорт пуансона, по которому необходимо обработать заготовку

Прежде чем импортировать пуансон, матрицу и прижим штампа для вытяжки полуфабриката из заготовки необходимо определиться с тем, на каком прессе будет осуществляться вытяжка:

1) на прессе простого (одинарного) действия;

2) на прессе двойного действия.

На современных автоматических и полу-автоматических листоштамповочных линиях, состоящих из 4 или 5 отдельных прессов для штамповки крупногабаритных кузовных деталей (панели капота, крышки багажника, двери, крылья, пол, крыша и т.д.), 1-й головной пресс обычно является прессом простого действия и примерно в 2 раза более мощным, чем остальные прессы в линии.

1-й головной пресс имеет под столом прессы мощную гидро или пневмо-подушку, служащую для создания через толкатели силу прижатия краевой части (фланца) заготовки с помощью кольцевого прижима, надетого на пуансон. При перемещении ползуна прессы вниз матрица, закреплённая на ползуне, перемещает фланец заготовки вместе с прижимом вниз, одновременно деформируя заготовку.

При ходе ползуна прессы вверх, прижим также перемещается вверх и под действием подушки снимает отштампованный полуфабрикат с пуансона, который удаляется со штампа средствами автоматизации штамповки.

Аналогично мощные листоштамповочные многопозиционные автоматы являются прессы простого (одинарного) действия. На таком прессе на позиции для выполнения операции вытяжки также под столом прессы имеется пневмо-подушка, служащая для прижатия краевого участка (фланца) заготовки от складкообразования при деформировании заготовки в штампе для вытяжки.

В данном примере операция вытяжки заготовки будет проектироваться на прессе простого (одинарного) действия.

Для проектирования операции вытяжки мы будем импортировать пуансон в виде имеющегося файла детали, которая задана математической моделью типа файла формата *.igs, полученного, например, после сканирования на координатно-измерительной машине мастер-модели этой детали.

Выше было дано изображение (в каком-либо графическом редакторе, в данном примере, в Ansys, DesignModeler) закруглённых краёв детали как пуансона штампа для вытяжки полуфабриката из листовой заготовки на первой операции штамповки.

Вытяжка осуществляется за 2 этапа:

1) при перемещении ползуна прессы с матрицей вниз сначала осуществляется обтяжка заготовки по неподвижному пуансону с помощью прижимных поверхностей матрицы и прижима штампа; при обтяжке краевая часть (фланец) заготовки вытягивается из-под прижимных поверхностей матрицы и прижима штампа, обеспечивая обтяжку без разрыва заготовки:

2) при дальнейшем перемещении ползуна прессы с матрицей вниз выполняется формовка центральной части обтянутой заготовки центральной частью матрицы с образованием поверхности заданной детали, в данном примере, капота автомобиля.

Было видно, что края инструмента (пуансона) закруглены, и при обтяжке заготовки по пуансону и последующей формовке центральной части заготовки матрицей закруглённые края пуансона не будут разрывать заготовку.

Описываем подробную инструкцию импорта файла детали формата *.igs; этот файл мы будем использовать как пуансон штампа для вытяжки.

1. Открываем в панели Ansys Forming созданный в предыдущей главе проект с импортированной из Ansys DesignModeler заготовкой и щёлкаем кнопку Import.

На панели Ansys Forming слева появляется вкладка Import (рис. 14.1) с разделами (после тире размещён перевод с английского на русский язык текста из Справки (Help) по Ansys Forming):

Surface – to define the surfaces of tools (определить поверхности детали и инструментов, обрабатывающих заготовку).

Curve – to define blank, drawbead, and trimming outlines (определить заготовку, перетяжное ребро и линии обрезки).

Point – to define various geometry positions in the process (for example, locations of constrained springback, guide pins, and clamping tools) – определить различные положения геометрии в процессе (например, местоположения ограниченного пружинения, направляющих штифтов и прижимающих заготовку инструментов.

Coordinate System or Local Coordinate System (LCS) - to define a coordinate system. Depending on the orientation of the imported geometries, you may need to tip the model to align it with the forming tools in the press direction. (See Tip the Model Geometries to the Press Position for details on tipping the model)

Coordinate System or Local Coordinate System (LCS) – определить систему координат. В зависимости от ориентации импортированных конфигураций, Вы, возможно, должны снабдить подсказкой модель для выравнивания модели с инструментами обработки в направлении обработки. См. в Справке: Геометрии модели относительно позиции прессы для получения дополнительной информации о модели.

Mesh – сетка (из конечных элементов).

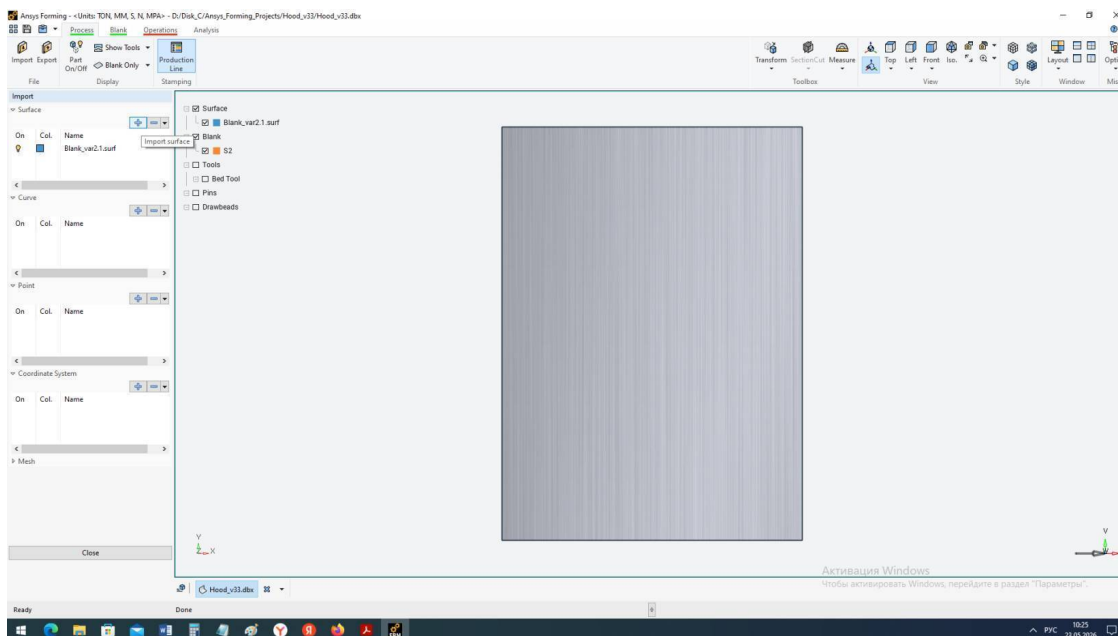


Рис. 14.1. На панели Ansys Forming слева появляется вкладка Import.

Если по какой-то причине на вкладке Import в таблице Surface отсутствует строка с импортированным выше именем Blank, то щёлкаем кнопку “+”, в появившейся панели Select files выделяем файл с именем Blank и щёлкаем кнопку Открыть.

2. На панели Ansys Forming на вкладке Import в таблице Surface щёлкаем кнопку “+”. Появляется панель Select files (рис. 14.2).

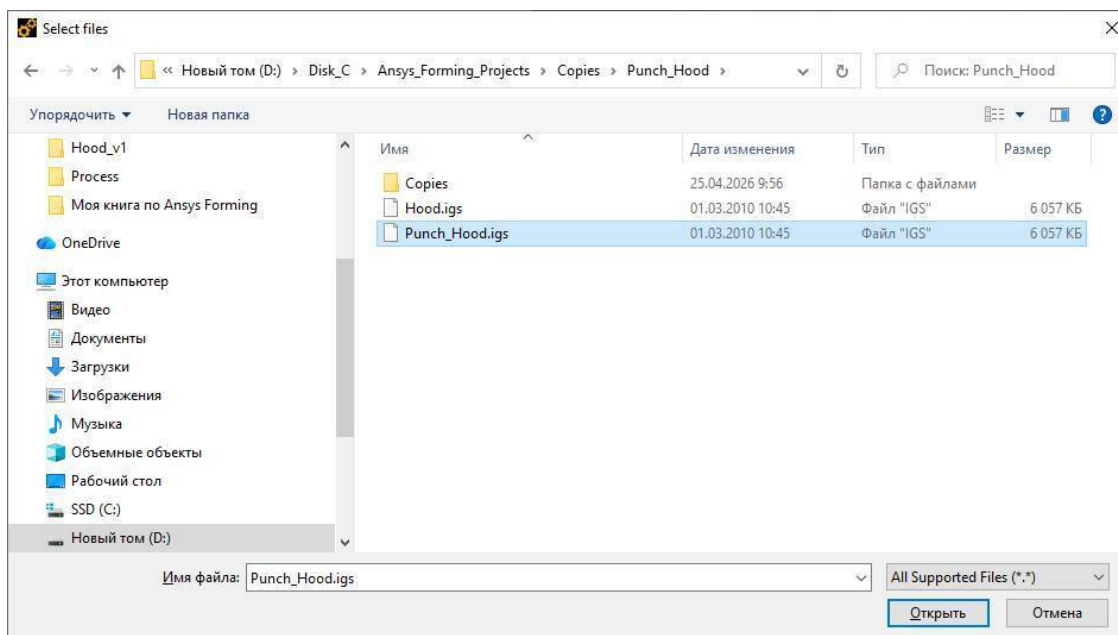


Рис. 14.2. Панель Select files.

10. В панели Select files выделяем имя нужного нам файла формата, для примера, *.igs. Это имя добавляется в окно “Имя файла:”.

Важно отметить, что в пути к расположению Location этого файла должны быть только английские буквы. Если будет, например, русская буква, то файл *.igs не откроется.

11. В панели Select files щёлкаем кнопку Открыть и ждём, когда в нижнем левом углу появится сообщение Ready.

В окне проектирования появляется внешний вид (аксонометрическая, точнее, изометрическая проекция, как после щелчка кнопки Iso) этой детали формата *.igs, в данном примере, это – панель капота автомобиля (наружная и внутренняя панели капота в сборе) в положении, в котором панель находится на автомобиле (рис. 14.3).

Для наглядности, на рис. 14.4 панель показана на виде сверху после щелчка кнопки Top, а на рис. 14.5 панель показана на виде слева после щелчка кнопки Left.

Эту панель мы будем использовать в качестве инструмента, точнее, пуансона, по которому будет обрабатываться заготовка.

Конфигурации, которые будут использоваться в операциях обработки, включают поверхности для инструментов и кривые для заготовки, перетяжного ребра и линий обрезки. Стандартные файлы данных CAD поддерживаются, включая:

IGES (*.iges, *.igs) data files

Step (*.step, *.stp) data files

Unigraphics (*.prt, *.asm) data files

Solidworks (*.SLDPRT, *.sldasm, *.psm, *.pwd) data files

SolidEdge (*.par, *.asm) data files

Inventor (*.iam, *.ipt) data files

Catia V5 (*.catpart, *.catproduct, *.crg) data files

Comma Separated Values (*.csv) files for curves and points

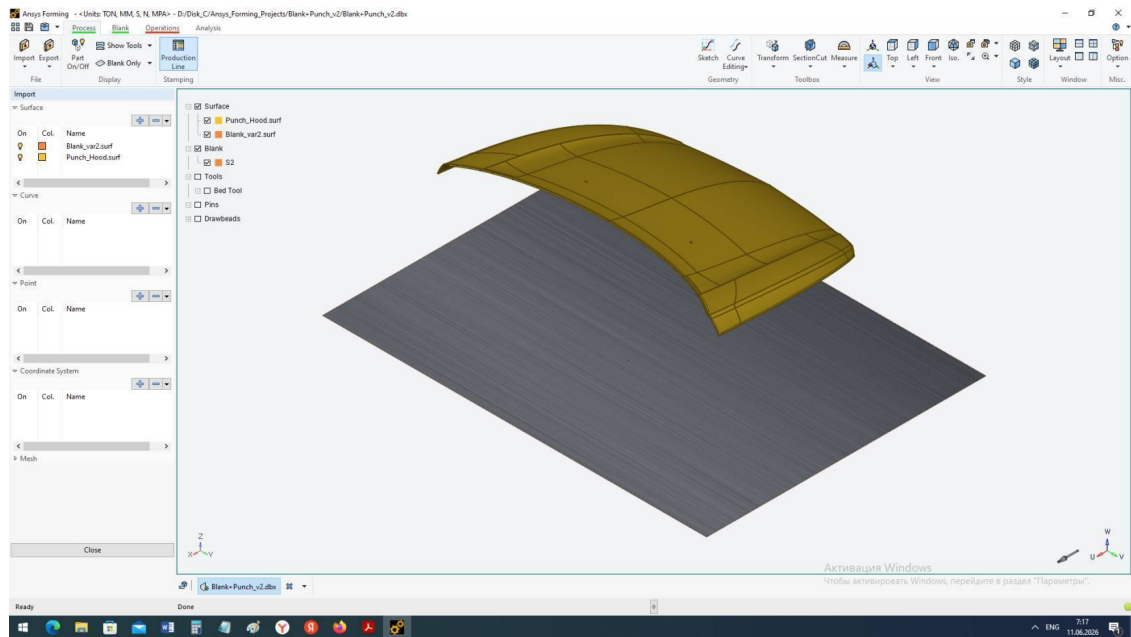


Рис. 14.3.

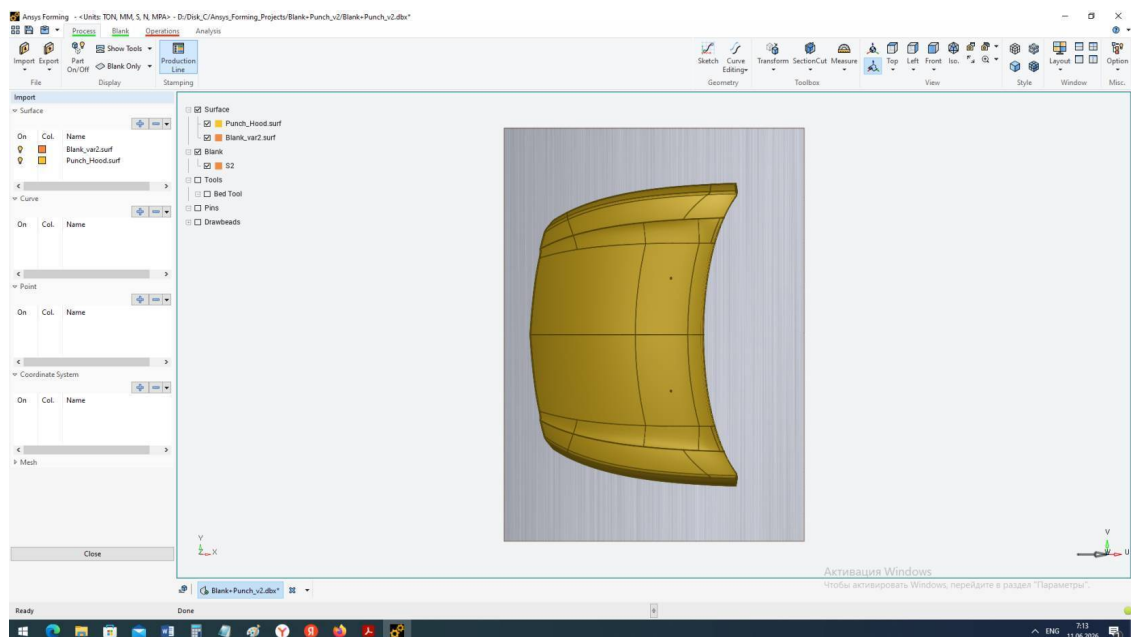


Рис. 14.4.

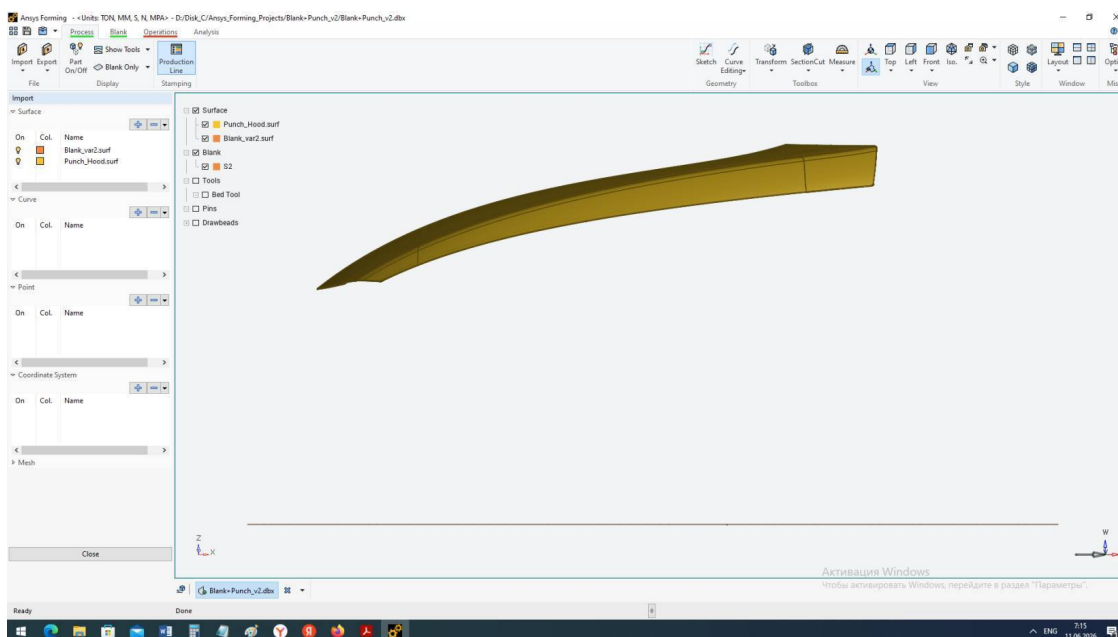


Рис. 14.5.

14.2. Поворот инструмента относительно направления обработки заготовки

Если мы импортировали модель инструмента в исходном, не повернутом виде, то для улучшения штампуемости заготовки по этому инструменту необходимо повернуть инструмент по инструкции, уже приводимой выше, но для цельности изложения приведём эту инструкцию ещё раз для другого проекта.

1. На рабочем столе Ansys Forming на определённой по умолчанию вкладке Process кнопкой Left получаем вид слева на модель (см. рисунок выше), изображённый на основной плоскости проекции X, Z, а также получаем положение глобальных осей X, Y, Z и положение локальных осей U, V, W.

2. Вверху справа в строке инструментов Viewing Tools щёлкаем стрелку в значке Transform с изображением перемещения кубика.

Появляется список возможных вариантов перемещений модели (рис. 14.6).

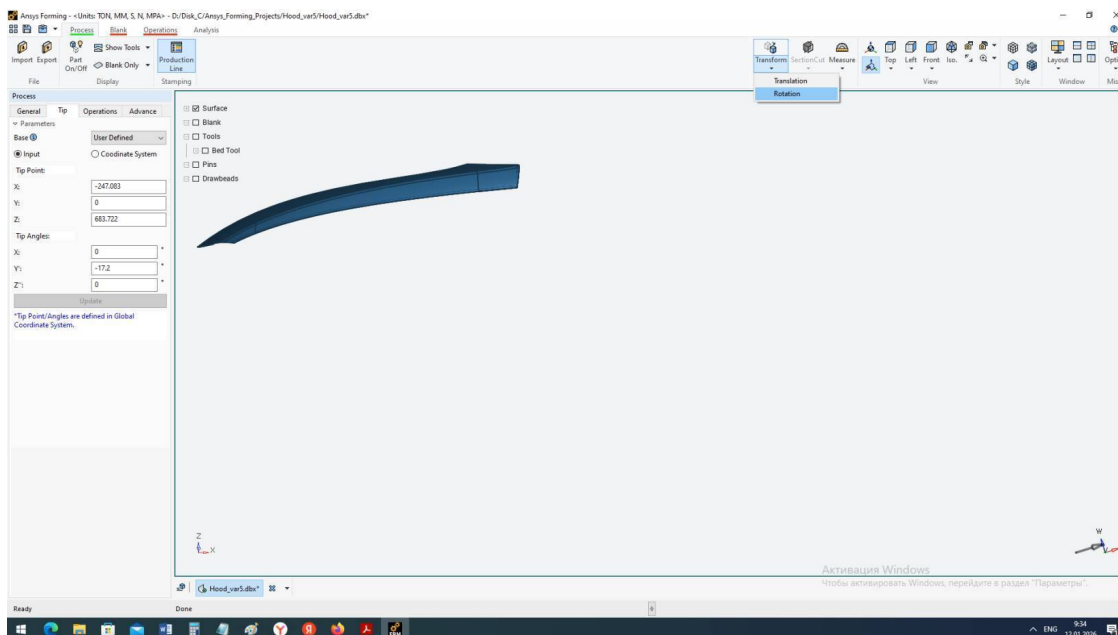


Рис. 14.6. Список возможных вариантов перемещений модели.

3. Выбираем вариант Rotation для поворота модели на рассчитанный выше угол.

Появляется таблица Part Transform (рис. 14.7) с нулевыми значениями для углов: X Degree 0, Y Degree 0, Z Degree 0.

Если в этой таблице кнопка Apply для поворота модели недоступна, то выполняем следующий этап данной инструкции.

4. В таблице Part Transform щёлкаем кнопку Select Parts.

Появляется таблица Pick Part (рис. 14.8).

5. В таблице Pick Part ставим флажок в ячейке State в строке поверхности модели *.surf. Строка поверхности модели *.surf и сама модель выделяются.

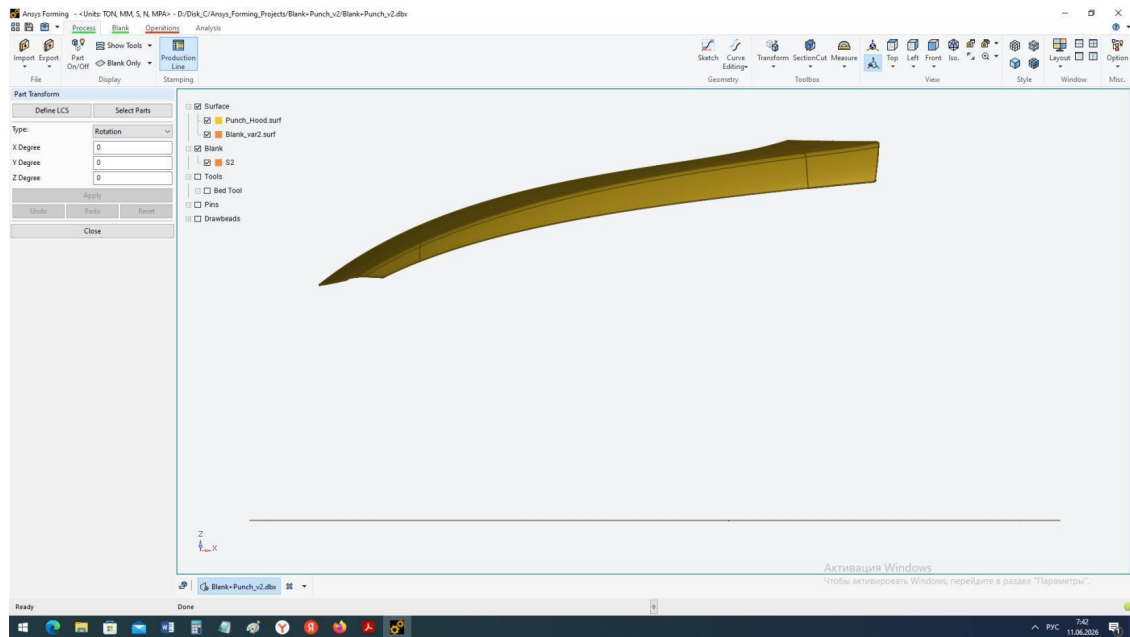


Рис. 14.7. Таблица Part Transform.

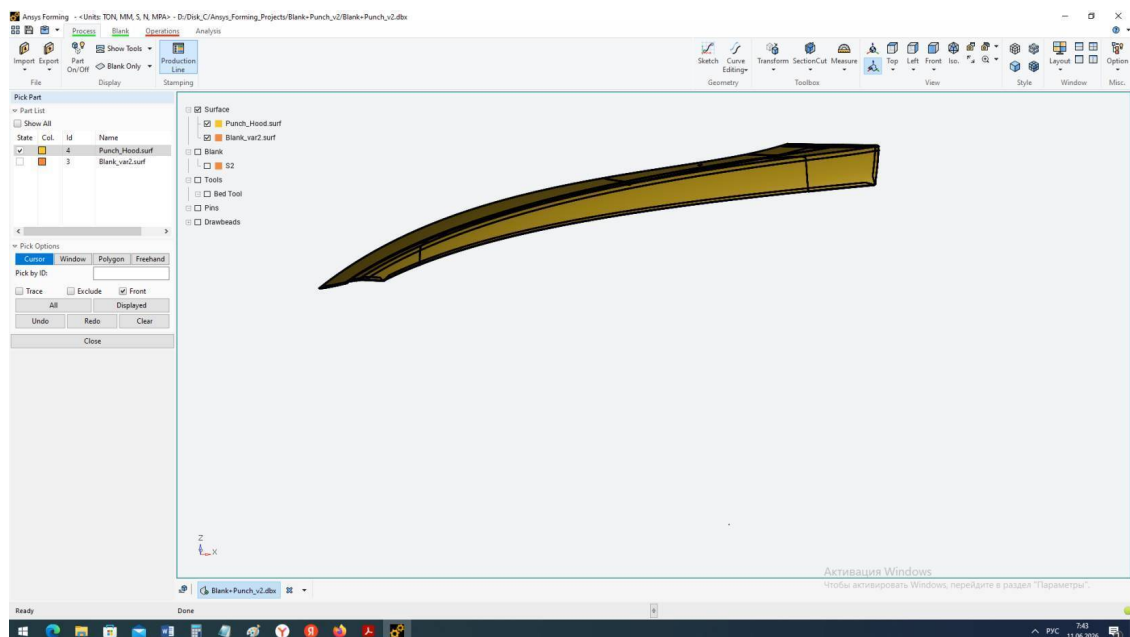


Рис. 14.8. Таблица Pick Part.

6. Щёлкаем кнопку Close.

Снова появляется таблица Part Transform, на которой теперь доступна кнопка Apply.

7. В таблице Part Transform, в окно напротив оси Y и параллельной этой оси Y другой оси, вокруг которой будем поворачивать модель, записываем рассчитанный выше угол поворота $\alpha^0 = 10^0$ (рис. 14.9):

X Degree 0, Y Degree 10, Z Degree 0,

и щёлкаем кнопку Apply.

Модель поворачивается на записанный нами угол по часовой стрелке (рис. 14.10).

Отметим, что если угол записать со знаком минус, то модель повернётся против часовой стрелки.

8. В таблице Part Transform щёлкаем кнопку Close.

Появляется первоначальная таблица Progress.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.