

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

Моделирование процессов с большими интенсивными деформациями в кузнечно-штамповочном производстве

Электронный учебно-методический комплекс
дисциплины

Работа выполнена по мероприятию блока 1 «Совершенствование образовательной деятельности» Программы развития СГАУ на 2009 – 2018 годы по проекту «Разработка магистерской программы и образовательных контентов «Структурирование сплавов до наноуровневого размера в металлургических циклах с применением инновационных технологий способов литья и обработки металлов давлением с воздействием электромагнитных источников» Соглашение № 1/11 от 03 июня 2013 г.

УДК 662.2.8
М 744

Автор-составитель: **Николенко Константин Анатольевич**

Моделирование процессов с большими интенсивными деформациями в кузнечно-штамповочном производстве [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины / М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. К. А. Николенко. Электрон. текстовые и граф. дан. - Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В состав учебно-методического комплекса входят:

1. Курс лекций.
2. Методические указания к практическим занятиям

УМКД «Моделирование процессов с большими интенсивными деформациями в кузнечно-штамповочном производстве» предназначен для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по направлению подготовки магистров 150400.68 «Металлургия» в V семестре.

УМКД разработан на кафедре обработки металлов давлением.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
(СГАУ)

К. А. НИКОЛЕНКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ С БОЛЬШИМИ
ИНТЕНСИВНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ В КУЗНЕЧНО-
ШТАМПОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Электронный конспект лекций

Самара 2013

Автор: **Николенко Константин Анатольевич**

Николенко, К.А. Моделирование процессов с большими интенсивными деформациями в кузнечно-штамповочном производстве [Электронный ресурс]: электрон. конспект лекций / К.А. Николенко; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т) - Электрон. текстовые и граф. дан. (1,21 Мбайт). - Самара, 2013.

Рассмотрены компьютерные системы, предназначенные для выполнения инженерных расчетов, в частности моделирования процессов с большими интенсивными деформациями для кузнечно-штамповочного производства. Приведены основные этапы моделирования процессов объемной штамповке в конечно-элементном комплексе ANSYS-LS/DYNA. Рассмотрены два способа объемной штамповки с большими интенсивными деформациями.

Предназначено для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по магистерской программе «Структурирование сплавов до наноуровневого размера в металлургических циклах с применением инновационных технологий способов литья и обработки металлов давлением и воздействия электромагнитных источников» по направлению подготовки 150400.68 «Металлургия», изучающих дисциплину «Моделирование процессов с большими интенсивными деформациями в кузнечно-штамповочном производстве» в В семестре.

Подготовлено на кафедре обработки металлов давлением.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2013

Содержание

Лекция 1 Компьютерные системы, предназначенные для выполнения инженерных расчетов, в частности моделирования процессов с большими интенсивными деформациями для кузнечно-штамповочного производства.....	4
Западная классификация систем автоматизированного проектирования.....	4
Краткий обзор CAE системы.....	4
Конечно-элементный комплекс ANSYS-LS/DYNA.....	5
Лекция 2 Кузнечно-штамповочное производства.....	7
Маршрутная технология изготовления детали в кузнечном цехе ковкой и горячей объемной штамповкой.	7
Ковка.....	7
Оборудование для свободной ковки.....	7
Горячая объемная штамповка (ГОШ).....	8
Лекция 3 Операции свободной ковки.....	9
Процесс осадка.....	9
Процесс протяжки.....	10
Прошивка.....	12
Гибка.....	12
Разгонка.....	12
Кузнечная сварка.....	12
Рубка.....	13
Лекция 4 Горячая объемная штамповка (ГОШ).....	14
Характеристики поковки ГОШ (ГОСТ 7505—74).	14
Назначение припусков.	14
Назначение напусков.....	14
Назначение допусков.....	14
Величина смещения поволоки по поверхности разъема штампа.	15
Допускаемую величину заусенцев, остающихся после обрезки облоя.....	15
Штамповка в подкладных и секционных штампах.....	15
Лекция 5 Штамповка на молотах.....	17
Штамповочные ручки.....	20
Лекция 6 Штамповка на КГШП.....	21
Штампы КГШП.....	22
Лекция 7 Моделирование процессов объемной штамповки в конечно-элементном комплексе ANSYS-LS/DYNA.....	24
Основные способы объемной штамповки с большими интенсивными деформациями.....	24
Основные этапы моделирования в конечно-элементном комплексе ANSYS-LS/DYNA.....	25
Способы построения геометрической модели.....	26
Построение сетки конечных элементов.....	27
Приложение нагрузок и получение решения.....	28
Постпроцессорная обработка.....	28
Список использованных источников.....	29

Лекция 1

Компьютерные системы, предназначенные для выполнения инженерных расчетов, в частности моделирования процессов с большими интенсивными деформациями для кузнечно-штамповочного производства

Западная классификация систем автоматизированного проектирования

В западных странах существует классификация систем проектирования и производства. В соответствии с этой классификацией выделяют следующие системы:

- CAD (Computer Aided Design) – системы конструкторского проектирования геометрии изделия (Solid Works, Solid Edge, Power Shape и др.).
- CAM (Computer Aided Manufacturing) – системы проектирования технологии обработки (Power Mill, Simatron и др.).
- CAE (Computer Aided Engineering) – системы автоматизированного инженерного анализа деталей машин и процессов (Ansys, Nastran и др.).
- PDM (Product Data Management) – системы автоматизированного управления базами данных об изделии (IMAN, Optegra, Enovia и др.).
- Project Management – автоматизированные системы управления процессом проектирования и системы планирования (WorkFlow, DocFlow).
- MRP (Material Requirements Planing) – автоматизированные системы управления производством (SAP R/3, BAAN, Галактика и др.).

В соответствии с данной классификацией каждая система может быть использована на различных этапах жизненного цикла изделия (например, CAE-система Ansys может быть использована как для конструкторских расчетов прочностных свойств деталей обшивки фюзеляжа летательного аппарата, так и для расчета технологических параметров процесса изготовления данной обшивки способами листовой штамповки).

Разные классы систем вне зависимости от системы классификации используют вариации одних и тех же наборов информации. Для того, чтобы вся система автоматизации действовала как единое целое, необходимо обеспечить устойчивый информационный обмен между ее отдельными частями.

Краткий обзор CAE системы

MSC. Marc

MSC.Marc представляет собой универсальную конечно-элементную программу для анализа высоконелинейного поведения конструкций. MSC.Marc широко используется для компьютерного моделирования технологических процессов прокатки, прессования, листового и объемного формования, производства шин, суперпластического формования и т.д. В MSC.Marc доступны также неструктурные типы анализа:

- электростатический;
 - магнитостатический;
 - электромагнитный;
 - акустический;
 - гидродинамический анализ подшипников;
 - теплопередача
- и ряд других.

MSC.Nastran

MSC.Nastran обеспечивает полный набор расчетов, включая расчет напряженно-деформированного состояния, собственных частот и форм колебаний, анализ устойчивости, решение задач теплопередачи, исследование установившихся и неустойчивых процессов, акустических явлений, нелинейных статических процессов, нелинейных динамических переходных процессов, расчет критических частот и вибраций роторных машин, анализ частотных характеристик при воздействии случайных нагрузок, спектральный анализ и исследование аэроупругости. Предусмотрена возможность моделирования практически всех типов материалов, включая композитные и

гиперупругие. Расширенные функции включают технологию суперэлементов (подконструкций), модальный синтез и макроязык DMAP для создания пользовательских приложений.

Наряду с расчетом конструкций MSC.Nastran может использоваться и для оптимизации проектов. Оптимизацию можно проводить для задач статики, устойчивости, установившихся и неуставившихся динамических переходных процессов, собственных частот и форм колебаний, акустики и аэроупругости. Все это делается одновременно, путем вариации параметров формы, размеров и свойств проекта. Эффективные алгоритмы оптимизации обрабатывают любое количество проектных параметров и ограничений. Вес, напряжения, перемещения, собственные частоты и многие другие характеристики могут рассматриваться либо в качестве целевых функций проекта (в этом случае их можно минимизировать или максимизировать), либо в качестве ограничений. Алгоритмы анализа чувствительности позволяют исследовать влияние различных параметров на поведение целевой функции и управлять процессом поиска оптимального решения.

На основе возможностей автоматического рестарта в MSC.Nastran проводятся сложные многошаговые исследования работы конструкции как при изменении условий нагружения, граничных условий и любых других параметров конструкции, так и при переходе от одного вида анализа к другому.

MSC.Patran

MSC.Patran обеспечивает интеграцию автоматизированных систем проектирования, моделирования, анализа и оценки результатов, необходимых для исследования работоспособности изделий на стадиях проектирования, производства и эксплуатации. Кроме интерфейсов с ведущими системами, MSC.Patran располагает собственными мощными средствами анализа: THERMAL (анализ тепловых процессов и гидравлических цепей), LAMINATE MODELER (проектирование композиционных конструкций), ANALYSIS MANAGER (многофункциональная система, управляющая процессом выполнения задач).

Степень автоматизации и гибкость генерации конечно-элементной сетки в MSC.Patran превосходят возможности любой другой системы. Нагрузочные и граничные условия могут быть увязаны с геометрией, а также с конечно-элементной сеткой. Исоповерхности и другие усовершенствованные средства визуализации помогают ускорить оценку результатов и повысить качество этой оценки. Кроме того, широкие возможности языка Patran Command Language (PCL) позволяют адаптировать все упомянутые функции к требованиям пользователя.

Конечно-элементный комплекс ANSYS-LS/DYNA

В настоящее время система ANSYS является одной из самых мощных и популярных конечноэлементных расчетных систем в мире. Для расчета высоконелинейных кратковременных динамических процессов (в том числе с разрушением) в ANSYS применяется пакет LS_DYNA, входящий в число лучших в своем классе.

Возможности LSDYNA

Пакет LS_DYNA3D разработан корпорацией LSTC (Livermore Software Technology Corporation) под руководством Р.Холлквиста в Ливерморской национальной лаборатории ядерных исследований им. Лоуренса (шт. Калифорния, США).

Первая коммерческая версия датируется 1976 годом. Сфера применения LS_DYNA (а следовательно, и ANSYS/LS_DYNA) очень широка.

Виртуальное моделирование аварий автомобилей (краштесты), как правило, выполняется с помощью LS_DYNA, для чего специально разработаны математические модели человеческого тела, конечные элементы для подушек, ремней безопасности и т.п. Кроме того, конструируются средства индивидуальной бронезащиты и современное вооружение. Анализируются разнообразные производственные процессы: глубокая штамповка, гидроформование, сверхпластическое формование, прокатка, выдавливание,

штамповка, механообработка, сверление, а также иные процессы формообразования. Изучается разрушение лопаток турбин при попадании постороннего предмета либо при столкновении с птицей. Производятся сейсмические расчеты и расчеты конструкций с учетом взаимодействия с жидкостью. Исследуются нелинейная устойчивость, закритическое поведение и прохлопывание, распространение звуковых волн, решаются геомеханические задачи и т.д.

Комплекс ANSYS/LS_DYNA

Пакет ANSYS/LS_DYNA объединяет в себе расчетный модуль LS_DYNA со средствами подготовки исходных данных и обработки результатов в пакете ANSYS. Соответственно, не выходя из сессии ANSYS, можно создавать конечноэлементную модель в препроцессоре ANSYS, получать решение по явной схеме интегрирования, используя LS_DYNA, и просматривать результаты с помощью стандартных постпроцессоров ANSYS.

В принципе, связь с LS_DYNA поддерживается многими популярными препроцессорами. Но лишь в ANSYS/LS_DYNA обеспечена достаточная степень интеграции систем. ANSYS и ANSYS/LS_DYNA имеют единообразный интерфейс, общий перечень команд и общий список элементов. Доступны все команды моделирования ANSYS, возможна оптимизация с учетом результатов LS_DYNA, поддерживаются основные опции постпроцессинга и макросы анимации.

В едином командном файле организуется обмен геометрической моделью и результатами расчетов между ANSYS (неявная схема расчета) и ANSYS/LS_DYNA (явная схема) для выполнения последовательных расчетов. Существует специальная команда переключения явных элементов в соответствующие им неявные (и наоборот) для проведения явнонеявного расчета например:

Линейное обратное пружинение после нелинейной глубокой штамповки.

Или, можно сначала провести нелинейный тепловой расчет (ANSYS/Thermal), затем линейный прочностной расчет начальных напряжений (ANSYS/Structural) от температурных нагрузок (а также, например, от давления или вращения), а уже потом, переключив типы элементов, загрузив начальные напряжения и задав динамические нагрузки, применить ANSYS/LS_DYNA.

Наличие достаточно мощного встроенного препроцессора, не уступающего специализированным решениям (вроде FEMAP или PATRAN), обеспечивает уникальную возможность выполнять и параметрическое моделирование, и разбивку, и собственно решение, и постпроцессинг в рамках одного командного файла.

При работе с ANSYS/LS_DYNA поддерживается внутренний язык программирования APDL (ANSYS Parametric Design Language), мощный и вместе с тем доступный даже начинающему пользователю.

Пользователь может оперировать массивами, запрашивать самую разнообразную информацию из базы данных, применять циклы, условные и безусловные переходы, метки и множество встроенных функций, вводить и выводить данные в текстовом формате.

Нужные процедуры можно достаточно просто запрограммировать с помощью макросов APDL. Пользователь ANSYS может вызывать модуль LS_DYNA в цикле, например с увеличением скорости соударения вплоть до обнаружения в постпроцессоре пробивания конструкции.

Лекция 2

Кузнечно-штамповочное производства

Маршрутная технология изготовления детали в кузнечном цехе ковкой и горячей объемной штамповкой.

1. Резка → 2. Нагрев → 3. Штамповка (Рисунок 1)

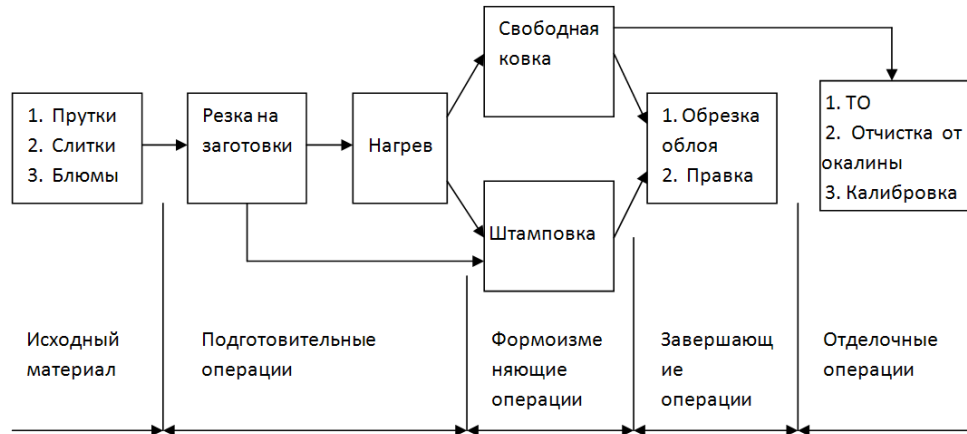


Рисунок 1 - Маршрутная технология изготовления детали в КШП

Ковка

Ковкой называется процесс горячей обработки металлов давлением, при котором путем многократного действия инструмента, например, бойков металл пластически деформируется, постепенно приобретая заданные форму, размеры и свойства.

Изделие, получаемое ковкой, называют поковкой.

Существует два вида ковки: свободная и в штампах.

Свободной ковкой называется процесс, при котором формообразование поковки происходит под ударами молота или нажимом прессы. Течение металла в стороны свободное и не ограничено поверхностями инструмента.

Свободная ковка применяется в мелкосерийном и индивидуальных производствах, а также является единственным способом изготовления тяжелых поволоков (весом 250 тонн и более) – валы гидрогенераторов, турбинные диски и т.д.

Исходным материалом для ковки служат слитки, блюмы и сортовой прокат. Свободная ковка может быть ручная и машинная. Ручная ковка применяется для небольших поволоков при мелких ремонтных работах и выполняется с помощью наковальни и кувалды.

Оборудование для свободной ковки

Машинная ковка производится на ковочных молотах и ковочных гидравлических прессах.

Молоты действуют ударом и характеризуются весом падающих частей. Продолжительность деформации при ковке на молотах порядка 10-3сек, а скорость деформации (6–6,5) м/сек.

Гидравлические прессы развивают статическое усилие и характеризуются усилием в тоннах. Продолжительность деформации доходит до десятков секунд, а скорость деформации составляет 2–3 м/мин.

Для ковки мелких поволоков массой до 20 кг используются пневматические ковочные молоты. Для поволоков средней массы до 2000 кг – паровоздушные ковочные молоты. На молоте верхний боек крепится к падающей части молота – бабе, а нижний боек – к подушке, закрепленной на шаботе, не связанном со станиной молота. Масса шабота превышает массу падающих частей в 10–15 раз. Масса падающих частей молота составляет 50–1000 кг (для пневматического молота) и 1000–8000 кг для паровоздушного).

Для производства крупных поковок применяют гидравлические прессы. Они развивают усилие до 20000 тонн.

Горячая объемная штамповка (ГОШ)

Штамповкой называют ковку в стальных формах-штампах. Течение металла ограничивается поверхностями полостей, вырезанных в штампе.

Горячая объемная штамповка – это процесс изготовления поковок в штампах в горячем состоянии..

По сравнению со свободной ковкой штамповка имеет следующие преимущества:

- в 50–100 раз большая производительность;
- большая однородность и точность поковок (припуски и допуски на поковку в 3–4 раза меньше, чем при ковке);
- возможность получения поковок сложной формы, которые нельзя получить свободной ковкой.

Однако штамповке свойственны и некоторые недостатки:

- ограниченность штампуемых изделий по весу – до 200 кг (иногда до 1500 кг);
- каждая поковка требует свой штамп, а это сложный в изготовлении и дорогой инструмент

Штамповку целесообразно применять в крупносерийном и массовом производстве.

Лекция 3

Операции свободнойковки

Можно выделить следующие основные процессы свободнойковки:

1. Осадка;
2. Протяжка;
3. Прошивка;
4. Гибка;
5. Разгонка;
6. Кузнечная сварка;
7. Рубка.

Процесс осадка

Осадкой называется операция, при которой происходит уменьшение высоты заготовки в направлении действующей силы и с одновременным увеличением ее поперечных размеров.

Осадка применяется:

1. Для получения требуемой формы заготовки.
2. Для получения требуемой структуры в заготовках.
3. Для облегчения последующих операций.
4. Для ликвидации литой структуры и устранения анизотропии механических свойств.

Осадка - самая важная операция из всех технологических операцийковки, поэтому качество заготовки в значительной мере зависит от закономерности деформации при осадке.

Бочкообразование

При осадке плоскости осадочных плит должны полностью перекрывать торцы заготовок от начала до конца осадки. Цилиндрические образцы при осадке принимают одну из 3х форм (Рисунок 2):

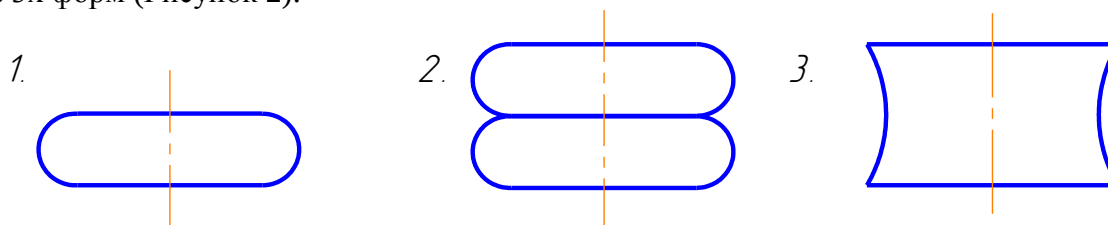


Рисунок 2 – Форма бочкообразования при осадке

1. Одинарная бочка получается при осадке заготовок с отношением высоты к диаметру $H/D \geq 2,5$ (если осадка производится под каким-то мощным прессом или молотом, то дают большую степень деформации за каждый удар).

2. Двойная бочка образуется при осадке высоких заготовок, $H/D > 2,5$ (причем при больших степенях деформации в конце процесса двойная бочка переходит в одинарную бочку).

3. Рюмкообразная форма при осадке получается при деформации под мощным молотом с недостаточной массой, падающих частей, когда степень деформации за каждый последовательный удар незначительна, если осаживать цилиндрическую заготовку, то в процессе осадки изменяются горизонтальные и вертикальные сечения заготовки.

Зоны деформации

Зоны деформации вертикального сечения заготовок (Рисунок 3):

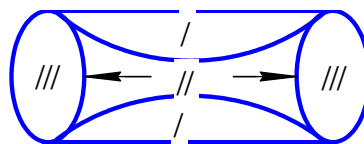


Рисунок 3 – Зоны деформации при осадке

Зона I является зоной затрудненной деформации, в которой напряжение представляет собой всестороннее сжатие. Эти зоны как бы расклинивают зону II, которая интенсивно деформируется в осевом и радиальном направлении. Зона III деформируется менее интенсивно, чем зона II. Здесь наблюдается деформация растяжения. Расчет диаметра заготовки проводят без учета бочкообразования, если расстояние между зонами I велико, то зона II деформируется вначале неоднородно почти вблизи зоны I, что приводит к образованию двойного бочкообразования. При близком уменьшении отношение H/D происходит слияние зон I и II – зона затрудненной деформации. Причем равномерность деформации увеличивается, а бочкообразованность уменьшается.

Основные правила осадки

1) Для снижения усилия нагрев заготовки под осадку всегда происходит до максимально допустимой температуры. Для конструкционных углеродистых сталей температура составляет 1200°C , для других сталей 1300°C .

2) У исходной заготовки отношение H/D не должно быть больше 3. При больших отношениях H/D возможен продольный изгиб, такую заготовку трудно осаживать. Чтобы исправить искривление заготовки производят нажатие на площадь торца, а когда искривление исправлено, то контактная площадь увеличивается до полного перекрытия всего торца.

3) При осадке под молотом нужно учитывать, что чем выше заготовка, тем меньше рабочий ход молота, следовательно, меньше энергия удара. Для успешной осадки нужно, чтобы торцы заготовки были возможно более гладкими и перпендикулярными к ее оси. Чем выше заготовка, тем важнее соблюдение этого условия. Выравнивание концов производится легким ударом молота или легким нажатием пресса.

4) Заготовка или слиток перед осадкой необходимо прокатать до цилиндрической формы.

5) Для получения возможно меньшей бочкообразованности нужно применять следующую смазку: жидкости стекло 15-20%, графит 5-10%, вода 5-10% (эмульсия).

6) При осадке следует учитывать критические степени деформации (нужно знать диаграмму рекристаллизации).

Виды осадки

1. Высадка – осадка на части высоты заготовки. Осуществляется нагревом определенной части заготовки или ограничением деформации кольцевым инструментом.

2. Осадка на вогнутых или выгнутых плитах.

3. Осадка на кольцах.

Процесс протяжки

Протяжка – увеличение длины заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения. Протяжку производят последовательными ударами или нажатиями на отдельные прилегающие друг к другу участки заготовки с подачей заготовки вдоль оси и поворотами ее на 90° вокруг этой оси (Рисунок 4). Протяжку можно выполнять плоскими и фигурными бойками.

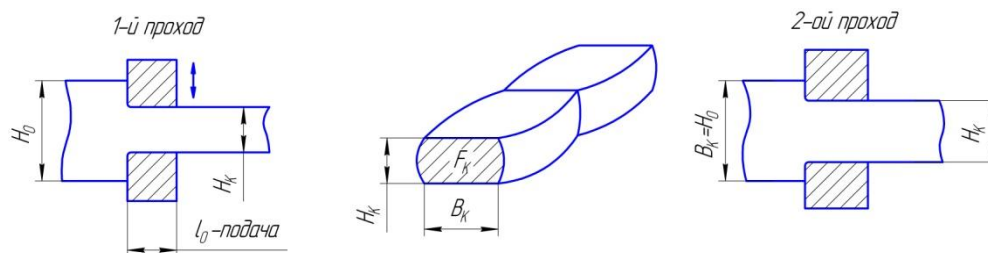


Рисунок 4 – Схема протяжки

Деформация при протяжке выражается величиной уковки

$$y = \frac{F_1}{F_2}; \quad F_1 > F_2,$$

где F_1 – площадь поперечного сечения заготовки до протяжки;

F_2 – площадь поперечного сечения заготовки после протяжки.

Чем больше уковка, тем лучше прокован металл, тем выше его механические свойства. Поэтому часто протяжку применяют в чередовании с осадкой для большей уковки металла заготовки.

Протяжкой получают поковки с удлиненной осью (валы, оси, тяги и т.п.).

Виды протяжки.

Протяжка с оправкой – операция увеличения длины пустотелой заготовки за счет уменьшения толщины ее стенок (Рисунок 5). Протягивают в одном направлении – к расширяющему концу оправки 1, что облегчает ее удаление из поковки.

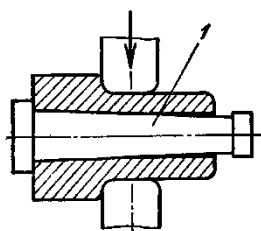


Рисунок 5 – Протяжка с оправкой

Применяется для получения пустотелых длинных поковок, таких как толстостенная труба, колонна, оружейный ствол.

Раскатка на оправке (Рисунок 6) – увеличение диаметра кольцевой заготовки 1 при вращении за счет уменьшения ее толщины с помощью бойка 3 и оправки 2. Оправка устанавливается в люнете 4.

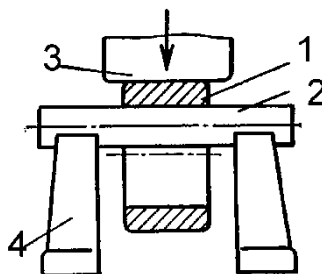


Рисунок 6 – Протяжка с оправкой

Процесс является разновидностью протяжки.

Раскатка на оправке используется для увеличения наружного и внутреннего диаметра, в основном прошивой заготовки, за счет уменьшения толщины стенки. Раскатку ведут узкими верхними бойками, располагая длинной стороной параллельно

цилиндрической оправке, которая опирается на две стойки, после каждого удара кольцо поворачивают, и вместе с кольцом поворачивается оправка.

Прошивка

Прошивка – получение сквозного или глухого отверстия в заготовке (Рисунок 7). Для выполнения этой операции применяют сплошные или пустотелые прошивни. Часть металла, удаляемая в отход вместе с прошивнем, называют выдрой.

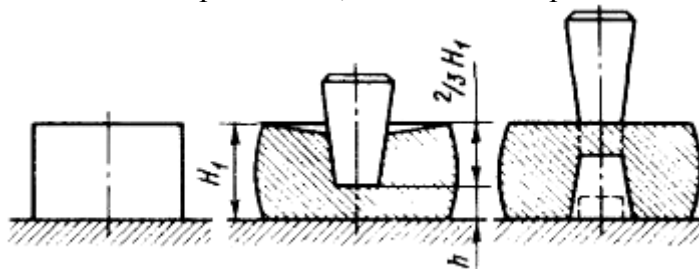


Рисунок 7 – Схема прошивки

Отверстия при прошивке получают с помощью конического прошивня и цилиндрических надставок. Заготовку устанавливают на нижнюю плиту, а сверху устанавливают конический прошивень и внедряют его усилием в заготовку, далее заготовку переворачивают и оставшуюся часть прошивают.

Гибка

Гибка – образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы. Применяется для изготовления крюков, коленчатых валов, скоб и т.д.

Закручивание – поворот части заготовки относительно другой на заданный угол. Применяется при изготовлении коленчатых валов, сверл и т.п. При закручивании используют воротки, лебедки, ключи.

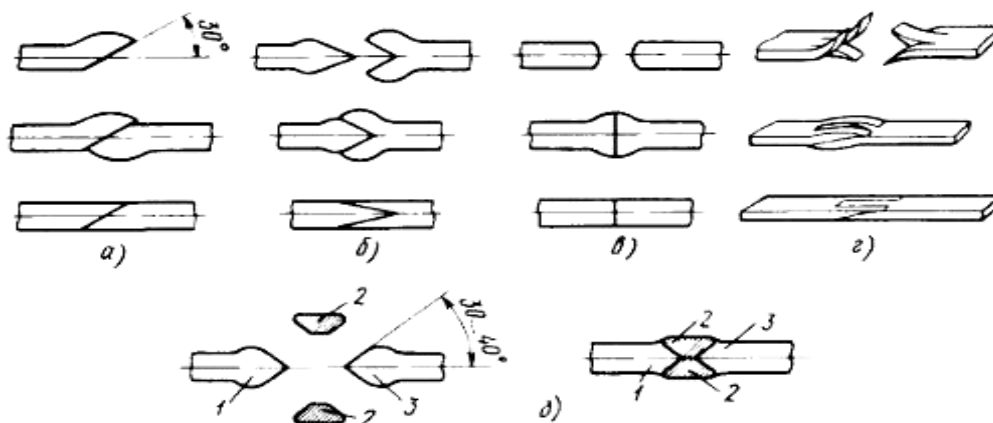
Разгонка

Операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины.

Кузнечная сварка

Кузнечная сварка служит для соединения в одно целое отдельные части заготовки (Рисунок 8).

Сварка внахлест. Наиболее распространенный способ. Концы заготовок сплющивают, затем накладывают один на другой и соединяют сильными ударами молота.



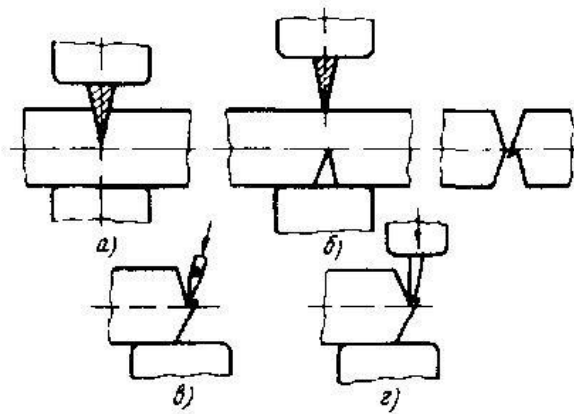
Подготовка свариваемых концов и основные способы кузнечной сварки (а ... д):

1, 3 – свариваемые концы, 2 – вспомогательные шашки

Рисунок 8 – Разновидности кузнечной сварки

Рубка

Рубка – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру (Рисунок 9). Инструментом служат топоры.



Схемы отрубки с двух сторон
(а, б) и удаления заусенца (в, г)

Рисунок 9 – Схема рубки

Отрубка служит для отделения части заготовки по незамкнутому контуру, а также для разделения прутков на мерные заготовки и удаление излишков металла. Нагретую заготовку укладывают на нижнюю плиту, затем надрубают ее (кузнечным топором) почти на всю длину, оставляя небольшую перемычку во избежание порчи лезвия кузнечного топора. После этого топор вынимают и подрубленную часть подводят и ударом верхнего байка разрубают заготовку.

Лекция 4

Горячая объемная штамповка (ГОШ)

Характеристики поковки ГОШ (ГОСТ 7505—74).

Поковки в зависимости от назначения изготавливаемых из них деталей подразделяют:

по точности изготовления:

повышенной точности — I класс;

нормальной точности — II класс;

при более высоком (чем I класс) специальном классе точности поковки калибруют с соответствующими припусками и допусками; класс точности поковок устанавливают в зависимости от требований, предъявляемых к поковке, и типа производства (серийное или массовое); допускается назначать различные классы точности на размеры одной и той же поковки; класс точности согласуется между потребителем и изготовителем поковок и указывается в технических условиях на чертеже поковки;

по группам стали: группа M1 — поковки из углеродистой и легированной (с содержанием углерода до 0,45 % и легирующих элементов до 2,0%)

группа M2 — поковки из легированной стали (кроме стали, указанной для группы M1);

по конфигурации поверхности разъема используемого штампа: с плоской поверхностью — П, и изогнутой — И;

по степени сложности: первой степени сложности — C1, второй — C2, третьей — C3 и четвертой — C4.

Степень сложности C поковки равна отношению массы (объема) поковки $G_{\text{п}}$ к массе (объему) геометрической фигуры $G_{\text{ф}}$, в которую вписывается поковка.

$$C = G_{\text{п}} / G_{\text{ф}}$$

Фигура может быть цилиндром или параллелепипедом; в расчете используют ту из фигур, объем которой меньше.

Назначение припусков.

Припуск — предусмотренное одностороннее увеличение размера поковки по сравнению с номинальным размером детали, обеспечивающее после обработки резанием требуемые, проставленные на чертеже размеры детали и шероховатость ее поверхностей.

Припуски на обработку резанием назначают в зависимости от класса точности поковки, группы стали, степени сложности, массы поковки, а также шероховатости и размеров поверхностей и размеров детали, на которые эти припуски назначают.

Назначение напусков.

Напуск — увеличение припуска в целях упрощения конфигурации поковки из-за невозможности или нерентабельности ее изготовления с контуром, соответствующим контуру детали. К кузнечным напускам относят штамповочные уклоны, внутренние радиусы закруглений и перемычки отверстий.

Штамповочные уклоны облегчают извлечение поковки из ручья штампа. Их назначают на все поверхности детали, располагающиеся параллельно движению инструмента. При изготовлении поковок на горизонтально-ковочных машинах штамповочные уклоны назначают на поверхности, располагающиеся перпендикулярно движению главного ползуна, а также на поверхности выступов и углублений, располагающиеся параллельно движению ползуна и выполняемые пуансонами.

Штамповочные уклоны (как и все другие виды напусков) приводят к увеличению массы поковки, а следовательно, и к увеличению расхода металла и затрат на обработку резанием.

Назначение допусков.

Допуск — отклонение размера поковки от номинального, обусловленное неточностью изготовления, недоштамповкой, износом ручья штампа и т. д. Допуск зависит от массы поковки, степени ее сложности, группы стали и размеров поверхностей.

Существуют следующие виды допусков:

Допуски на изогнутость, неплоскостность и непрямолинейность (для плоских поверхностей), а также на радиальные биения (для цилиндрических поверхностей)

Допуски на угловые отклонения

Допуски на радиусы закруглений

Величина смещения поковок по поверхности разъема штампа.

Смещение m определяют в месте наибольшего смещения контуров поковки (Рисунок 10).

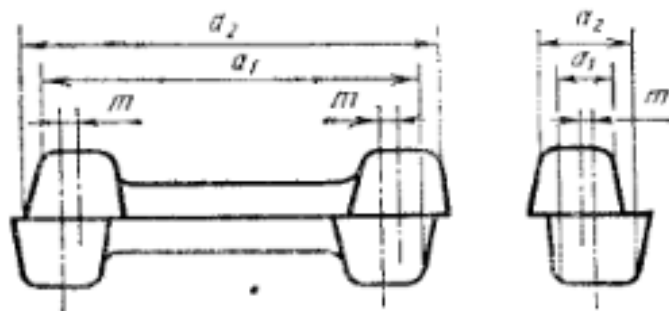


Рисунок 10 – Смещения поковок по поверхности разъема штампа

Для расчетов используют формулу

$$m = 0,5 (a_2 - a_1), C$$

где m — смещение, мм; a_1 — наименьшая длина (ширина) поковки, измеряемая параллельно поверхности разъема штампа, мм; a_2 — наибольшая длина (ширина) поковки, измеряемая параллельно поверхности разъема штампа.

Допускаемую величину заусенцев, остающихся после обрезки облоя.

Величина заусенцев не зависит от других допусков и является дополнением к ним. Принцип измерения заусенцев показан ниже (Рисунок 11).

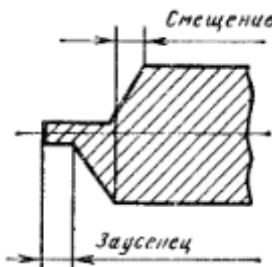


Рисунок 11 – Принцип измерения заусенцев

Заусенцы на необрабатываемых поверхностях поковок удаляют по требованию потребителя.

Штамповка в подкладных и секционных штампах

Штамповка в подкладных штампах.

С целью уменьшения отходов металла и повышения точности получаемой поковки применяют подкладные штампы, устанавливаемые на ковочном оборудовании.

Подкладным штампом называют инструмент, в котором имеется полость, представляющая собой точную копию поковки или отдельного ее участка.

Подкладные штампы обычно состоят из верхней и нижней частей, центрирующихся относительно друг друга с помощью направляющих колонок или каким-либо другим способом.

Подкладной штамп может состоять из одной нижней части. В этом случае по заготовке наносят сверху удар или осуществляют нажатие бойком молота или пресса.

Последовательность работы при изготовлении поковок: на плоский нижним боем молота или пресса устанавливают нижнюю часть штампа и укладывают в ее полость

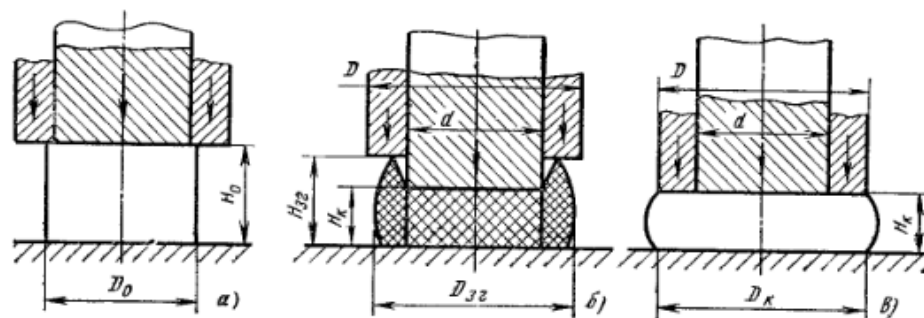
заготовку; по колонкам устанавливают верхнюю часть штампа и нажатием верхнего плоского бойка пресса или ударами молота деформируют заготовку, которая заполняет полость, образуемую в верхней и нижней частях штампа, принимая форму этой полости; снимают верхнюю часть штампа, вынимают поковку из нижней части.

Секционная штамповка.

На ковочных прессах изготавливают большое число поковок дисков турбин и воздуходувок. Обычная технологияковки дисков приводит к большим трудозатратам и большому расходу металла, а при получении поковок крупных дисков обычной горячей штамповкой требуются уникальные прессы с усилиями, исчисляющимися десятками тысяч тонн. Применение секционной штамповки позволяет получать крупные диски при значительно меньших усилиях деформирования (Рисунок 12).

На секционном штампе заготовку деформируют последовательно по отдельным кольцевым участкам за несколько ходов поперечины пресса. В зависимости от размеров заготовки и сопротивления деформированию металла, а также от усилия пресса используют штамп, состоящий из двух, трех или более секций — пуансонов.

Чаще всего применяют двухсекционные штампы как более простые.



а — заготовка; б — деформирование заготовки центральной секцией; в - деформирование наружной секцией

Рисунок 12 – Схема секционной штамповки (осадки) в двухсекционном штампе

При секционной штамповке в некоторых случаях на верхней торцевой поверхности поковок появляются дефекты. Во избежание появления зажимов используют заготовки с относительно большим диаметром, т. е. с $D_0/H_0 \geq 2$. При этом диаметр исходной заготовки должен быть на 10—20 % больше диаметра центрального пуансона.

Порядок изготовления поковок в секционном штампе:

Нагретую заготовку укладывают на матрицу и за первый ход траверсы осаживают ее как в обычном штампе, при этом работают одновременно две секции; величина осадки регламентируется предельным усилием пресса;

Поднимают траверсу и с помощью рукоятки устанавливают диск управления, так чтобы его выступы в виде зубьев находились против соответствующих впадин на пуансоне;

Проводят второй ход траверсы пресса, при этом на заготовку воздействует только центральный пуансон, а дополнительный пуансон свободно перемещается вверх на высоту зуба, не передавая усилия пресса на заготовку;

Диск управления после подъема траверсы снова поворачивают и его выступы устанавливают против соответствующих выступов на пуансоне;

Осуществляют третий ход траверсы, при котором деформируется только наружная кольцевая часть заготовки.

Лекция 5

Штамповка на молотах

Основные этапы проектирования технологии при штамповке на молотах.

При разработке технологического процесса необходимо:

1. сконструировать поковку и рассчитать ее массу;
2. определить способ штамповки (штамповка перпендикулярно оси заготовки или вдоль ее оси), а также группу и подгруппу, к которой принадлежит поковка по классификации молотовых поковок;
3. выбрать переходы штамповки;
4. определить массу, форму и размеры заготовки с учетом отходов;
5. сконструировать ручки и выполнить чертеж штампа;
6. определить массу падающих частей штамповочного молота и выбрать молот;
7. составить технологическую карту штамповки.

Исходной информацией для разработки чертежа поковки является' чертеж детали.

Чертеж детали должен включать:

1. размеры, 2. предельные отклонения размеров, 3. шероховатость поверхностей, 4. маркой материала, 5. установочные базы. Перед конструированием поковки необходимо установить условия эксплуатации детали, технологию обработки после штамповки.

Разработка чертежа поковки состоит в последовательном решении следующих вопросов:

1. выбор положения поверхности разъема;
2. определение ориентировочной массы поковки, назначение припусков на обработку резанием, допусков на изготовление поковки и внешних радиусов поковки;
3. назначение напусков на отверстия и проточки, внутренних радиусов закруглений и штамповочных уклонов;
4. проектирование наметок отверстия и углублений;
5. построение линии разъема;
6. оформление чертежа поковки.

Поверхность разъема - это поверхность, по которой сопрягаются верхняя и нижняя части штампа. В открытом штампе на этой поверхности предусматривают облойную канавку, заполняемую вытекающим из ручья избытком металла, образующим облой.

При выборе положения разъема необходимо выполнить условия;

1. поковка должна свободно удаляться из верхней и .нижней частей штамаа, для чего разъем располагают в плоскости сечения поковки с наибольшим периметром, что обеспечивает наименьшую глубину и наибольшую ширину ручья;
2. взаимное расположение поверхности разъема и поковки должно исключать поднутрения на боковых поверхностях поковки;
3. ручки ориентируют таким образом, чтобы их заполнение осуществлялось за счет осадки, а не выдавливания, при этом полости под тонкие и высокие ребра, бобышки и приливы следует располагать в верхнем положении штампа;
4. предпочтительно, чтобы поверхность разъема пересекалась вертикальными образующими поковки, что упрощает контроль смещения частей штампа,
5. для повышения прочности поковки располагать разъем у поверхности, занимающей крайнее верхнее или крайнее нижнее положение.

Классификация штампов и область их применения.

Типы штампов: открытые и закрытые, закрепленные и незакрепленные (подкладные);

Схемы штампов: одноручьевые и многоручьевые;

Области применения:

1. Открытые закрепленные одноручьевые и многоручьевые

Штамповка на штамповочных молотах поковок всех форм согласно классификации в условиях массового и крупносерийного производства.

2. Закрытые закрепленные одноручевые и многоручевые

Штамповка на штамповочных молотах поковок типа тел вращения (II группа) или поковок I группы с вертикальными стенками по их периметру в условиях крупносерийного и массового производства

3. Открытые незакрепленные одноручевые

Штамповка на ковочных молотах в условиях средне- или мелкосерийного производства поковок: относительно простой формы в одном окончательном ручье;

более сложной формы с применением кованой заготовки или заготовки, изготовленной в заготовителемном подкладном штампе.

4. Закрытые незакрепленные одноручевые

То же, но для случаев, когда это обусловлено формой поковки

При штамповке в открытом штампе на поковке по линии разъема образуется облой. В закрытых штампах при штамповке образуется лишь незначительный долево (торцевой) заусенец вследствие затекания металла в зазор между верхней, и нижней частями штампа. В открытых молотовых штампах изготавливают поковки всех форм; в закрытых штампах — преимущественно поковки II группы с вертикальными или почти вертикальными стенками по периметру наружной поверхности. Область применения штамповки в закрытых штампах можно в ряде случаев расширить внесением конструктивных изменений в поковки, а иногда и готовые детали. В закрепленных открытых штампах предусматривают один—шесть ручьев; В закрепленных закрытых — один— три ручья; в подкладных открытых и закрытых — обычно один ручей. Применение того или иного штампа и число ручьев в штампе зависят от серийности производства, формы и размеров поковок, материала поковок и технических условий на поковки.

Классификация молотовых поковок.

Поковки подразделяют на группы и подгруппы по следующим признакам:

1. по способу штамповки: плашмя или осадкой в торец;
2. по форме поковки и соотношению ее основных размеров, влияющих на выбор тех или иных заготовительных ручьев или заготовительно-предварительных ручьев;
3. по форме поперечных сечений поковки, обуславливающей характер формоизменения при заполнении полостей штамповочного ручья и необходимость применения заготовительно- предварительных ручьев;
4. по формам главной оси поковки и линии разъема, предопределяющим применение особых заготовительных ручьев или необходимость уравнивания сдвигающих усилия при штамповке.

В зависимости от выбранного способа штамповки, в значительной степени определяющего характер технологического процесса, различают две группы молотовых поковок:

I группа — удлиненные и изогнутые поковки, штампуемые перпендикулярно оси заготовки (штамповка плашмя); для этих поковок характерна значительная величина отношения их длины к средней ширине в плане; деформация заготовки в штамповочных ручьях, протекает главным образом при формоизменении по двум осям — в направлении высоты и ширины поковки, в направлении же главной оси (длины поковки) деформация весьма незначительна;

II группа — круглые и квадратные поковки или поковки, близкие к ним по форме в плане. (два взаимно перпендикулярных размера в плане приблизительно равны); поковки с отрезками (основные элементы имеют круглую или квадратную форму); штампуются вдоль оси заготовки (штамповка осадкой в торец); деформация в штамповочных ручьях протекает при различных видах формоизменения: осаживании (высадке), выдавливании и прошивке.

Каждой поковке присваивают индекс. Например, индекс П-3-А означает: поковка П группы, третьей подгруппы, типа А, т. е. поковка типа стержня с фланцем с цилиндрическим или коническим стержнем впадин.

Многошточная штамповка.

При изготовлении небольших поковок можно проводить штамповку одновременно двух и более поковок (рис. 15). При этом выбирают такое взаимное расположение фигур — продольное (рис. 15, а) или поперечное (рис. 15, б), при котором потребуется наименьшее число заготовительных ручьев и обеспечится наибольшая экономия металла или наиболее рациональное использование штампов за счет взаимного уравнивания сдвигающих усилий, возникающих при штамповке (рис. 15, в). Общая длина L фигур не должна превышать 350—400 мм, а число одновременно штампуемых поковок 6—8.

Облой и облойные канавки.

Рекомендовано к применению несколько типов облойных канавок (Рисунок 13).

Канавка типа I обеспечивает большую стойкость выступа (мостика), так как верхняя половина штампа прогревается меньше, чем нижняя. Магазин высотой h_1 , можно выполнить в нижней половине штампа. Такой вариант целесообразен при обрезке облоя с поворотом поковки, т. е. в положении, обратном положению поковки в окончательном ручье штампа, так как предпочтительна укладка поковки на матрице плоской стороной облоя, а также в том случае, если поковка целиком размещается в нижней половине штампа.

Канавку типа II рекомендуется использовать в тех случаях, когда поковку нельзя отштамповать с нормальным облоем, например, когда по условиям производства нельзя осуществить точную отрезку заготовки и объем заготовки сильно колеблется. Канавку этого типа применяют для увеличения объема магазина при штамповке сложных поковок. Для поковок удлиненной формы облойную канавку типа II следует применять, если заготовительные ручки не обеспечивают распределения металла в соответствии с площадями поперечных сечений поковки. Поэтому канавку типа II допускается выполнять на отдельных участках контура, где заготовительные операции не обеспечивают удаления избытка металла в исходной заготовке. Основную же часть контура окончательного ручья снабжают канавкой типа I. Ширину мостика в нижней половине штампа увеличивают с целью повышения стойкости мостика и для более удобной укладки поковки на поясok обрезной матрицы.

Канавку типа III применяют в том случае, если необходимо резко повысить сопротивление течению металла на некоторых участках окончательного ручья, с тем чтобы обеспечить заполнение глубоких и сложных полостей штампа. При этом на части заготовки предусматривают увеличенный избыток металла. Канавку этого типа предусматривают на отдельных участках контура фигуры ручья.

В канавке типа IV отсутствует магазин для облоя, а остается только тормозящий мостик с наклоном. Канавку этого типа применяют для круглых в плане поковок, которые обычно штампуют с применением только окончательного ручья (малоотходная штамповка).

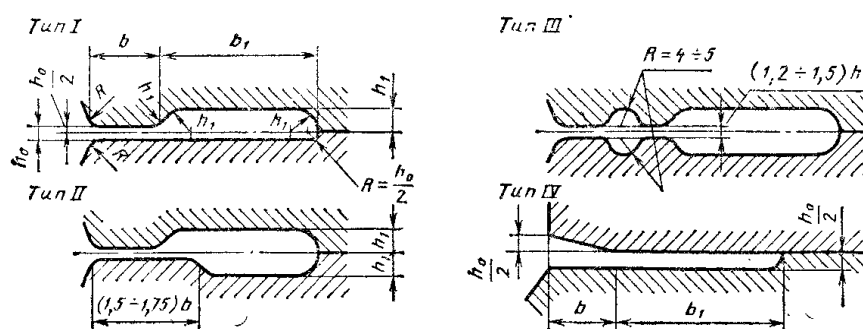


Рисунок 13 – Облойные канавки

Штамповочные ручки.

Окончательный ручей.

Полость окончательного (чистового) ручья выполняют по чертежу поковки для изготовления штампа или чертежу горячей поковки. Так как поковка после штамповки охлаждается и размеры ее уменьшаются, то для получения требуемых размеров поковки необходимо, чтобы размеры полости окончательного ручья были больше размеров холодной поковки на величину предполагаемой усадки.

Предварительный и заготовительно-предварительный ручки.

Предварительный ручей применяют при штамповке сложных поковок с глубокими полостями в штампах, если поковки с трудом извлекаются из штампов. Предварительный ручей имеет несколько упрощенную форму по сравнению с формой окончательного ручья и лучше заполняется металлом. Некоторые участки заготовительно-предварительного ручья значительно отличаются от этих же участков окончательного ручья, так как на этих участках происходит перераспределение металла заготовки.

Клещевую выемку и литниковая канавка.

Эти элементы штамповочных ручьев располагают в передней части штампа и используют их для размещения части прутка или клещей, удерживающих заготовку, а также для облегчения удаления поковки из ручья при штамповке без клещевины. Клещевую выемку и литниковую канавку используют во многих случаях для отливки контрольной фигуры ручья.

Заготовительные ручки.

Заготовительные ручки служат для предварительного грубого деформирования исходной заготовки, для придания ей формы, удобной для штамповки в штамповочных ручьях и обеспечивающей относительно малый отход металла в облой.

Отрубные ручки (ножи).

Отрубной ручей служит для отделения отштампованной поковки от прутка, когда из исходной заготовки получают несколько поковок. Поковку укладывают перемычкой на лезвие ножа и одним ударом отсекают от заготовки. Отрубной ручей располагают на переднем или заднем углу штампа. При размещении ножа на переднем углу штампа предусматривают возможность размещения в ручье поковки с облоем. При расположении ножа на одном из задних углов штампа учитывают возможность свободного размещения в ручье исходной заготовки.

Лекция 6

Штамповка на КГШП

Особенности штамповки на КГШП, преимущества и недостатки.

Преимущества штамповки на КГШП по сравнению с молотами:

1. повышенной точности размеров получаемых на КГШП поковок из-за постоянства хода пресса и определенности нижнего положения ползуна;
поковки не контролируют на сдвиг, так как в конструкции пресса и штампа предусмотрено надежное направление ползуна в направляющих станины;
2. увеличенному коэффициенту использования металла вследствие более совершенной конструкции штампов, снабженных верхним и нижним выталкивателями, что позволяет уменьшить штамповочные уклоны, припуски, напуски и допуски и тем самым приводит к экономии металла;
3. улучшенным условиям труда вследствие меньших шумовых эффектов, это позволяет устанавливать КГШП в зданиях облегченной конструкции;
4. возможности применения автоматических переключателей заготовок;
5. более высокой производительности;
6. более высокому КПД пресса, в 2-4 раза выше, чем у молота;
7. снижению себестоимости продукции за счет снижения расхода металла и эксплуатационной стоимости.

Недостатки штамповки на КГШП по сравнению с молотами:

1. более высокую (в 3—4 раза) стоимость КГШП при сопоставимых мощностях КГШП и молота;
2. возможность заклинивания и поломки прессов при крайнем нижнем положении ползуна, на вывод из которого затрачивается много времени;
3. меньшая универсальность — из-за жесткого хода ползуна не применяют протяжку и подкатку заготовок;
4. необходимость очистки заготовок перед штамповкой от окалины, так как деформация проходит за один ход пресса при плавном безударном нагружении и окалина может быть заштампована в поверхность поковки;
5. необходимость применения большего числа ручьев при получении поковок сложной формы из-за худшего заполнения глубоких полостей;
6. более сложные конструкции штампов и их регулирование.

Отметим, что современные КГШП имеют повышенное число ходов, что позволяет сократить время деформации заготовки; снизить разогрев штампов и увеличить их стойкость. Для облегчения и ускорения расклинивания пресса столы КГШП оборудуют клиновыми подштамповыми плитами, которые служат и для регулирования закрытой высоты пресса. С учетом возможной необходимости расклинивания пресса не рекомендуется работать при максимальной закрытой высоте.

Классификация поковок. Исходные заготовки.

Поковки, штампуемые на КГШП, подразделяют:

в зависимости от характера формоизменения и течения металла при формоизменении — на два класса:

1. поковок, получаемых с преобладанием процесса осадки;
2. поковки, получаемые с преобладанием процесса выдавливания.

в зависимости от конфигурации и сложности изготовления — на пять основных групп, при этом каждая группа разделяется на подгруппы в зависимости от способа штамповки и количества операций.

I группа — осесимметричные поковки, изготавливаемые осадкой в торец или осадкой с одновременным выдавливанием,

II группа — поковки удлиненной формы с небольшой разницей в площадях поперечных сечений.

Блоки для цилиндрических вставок из-за присущих им недостатков (трудность регулирования, ненадежность крепления и др.) применяют редко.

Для штамповки круглых в плане поковок широко используют цилиндрические вкладыши, монтируемые в призматических державках, которые, в свою очередь, закрепляют в блоках для призматических вставок.

Блок состоит из верхней и нижней монтажных плит, связанных между собой направляющими колонками, деталей крепления штамповых вставок и выталкивающего механизма.

Различают универсальные блоки и специальные, предназначенные для одной или нескольких однотипных поковок. Специальные блоки распространены в цнализированном кузнечно-прессовом производстве.

Верхняя плита блока (пакета) крепится болтами к ползуну пресса, нижняя — к столу. Для перемещения блока на столе пресса и фиксации его от бокового сдвига клином в нижней плите блока имеются две скошенные плоскости; в верхней плите выполнен паз, соответствующий выступу ползуна пресса.

Размеры блоков и сменных деталей универсально переналаживаемых штампов для точной объемной штамповки на кривошипных прессах усилием 1,6—4 МН регламентируются ГОСТ 19579—80—ГОСТ 19584—80.

Конструирование ручьев.

В штампах КГШП предусматривают заготовительные и штамповочные ручки; иногда ручки для выполнения операции обрезки облоя и пробивки отверстий.

К заготовительным ручьям штампов КГШП относят пережимной, формовочный, гибочный ручки и площадку для осадки (иногда — подкатные ручки);

к штамповочным ручьям — предварительный, окончательный и заготовительно-предварительный ручей, который применяют не только для удлиненных поковок, но и для симметричных поковок, штампуемых вдоль осн.

Требования при конструировании ручьев.

Ручьи конструируют с учетом основных особенностей горячей штамповки на прессах:

поверхности разъема вставок должны соприкасаться при штамповке;

между верхней и нижней вставками необходим зазор, величину которого при конструировании принимают не меньше толщины заусенца; исключение из этого правила допускается только в отношении некоторых вставок для горячей калибровки поковок;

на вставке, как правило, располагают только один ручей;

размеры ручьев надо взаимно увязать так, чтобы в окончательном ручье деформация, по возможности, шла осадкой, а не выдавливанием;

для вставок с криволинейным разъемом необходимо предусмотреть на наружных боковых поверхностях лыски глубиной 1,5—3 мм с наименьшей шириной 5—10 мм (рис.); это необходимо; чтобы избежать зарубку рядом стоящей вставки при горизонтальной регулировке;

на вставках без толкателей необходимо предусмотреть гнезда для свободного движения выталкивателей блока;

расположение и диаметр гнезд должны быть такими, чтобы при любой регулировке вставок не могло быть поломки (см. рис.);

на каждой половинке вставки должно быть по два транспортировочных отверстия; эти отверстия не должны мешать возобновлению фигур при капитальном ремонте вставок, поэтому их располагают ближе к опорным плоскостям; диаметры отверстий во всех вставках рекомендуется делать одинаковыми.

Окончательный штамповочный ручей изготавливают по чертежу горячей поковки.

Лекция 7

Моделирование процессов объемной штамповки в конечно-элементном комплексе ANSYS-LS/DYNA

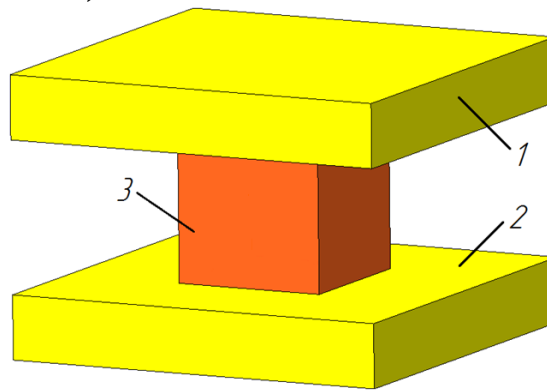
Основные способы объемной штамповки с большими интенсивными деформациями

Рассмотрено два способа:

1. Осадка кубической заготовки;
2. Многократное выдавливание прямоугольной заготовки.

Осадка кубической заготовки

В данном исследовании была произведена осадка прямоугольной заготовки с размерами: длина $a = 19$ мм; ширина $b = 19$ мм; высота $h = 19$ мм. Материал заготовки алюминий марки АД0. Осадка производилась последовательно в трех плоскостях (X,Y,Z) до получения заданной мелкозернистой структуры. После осадки в одной плоскости заготовку переворачивают и осаживают во второй плоскости. После осадки в последней плоскости заготовка приобретает изначальную форму. Ниже представлена схема осадки алюминиевого кубика (Рисунок 15).

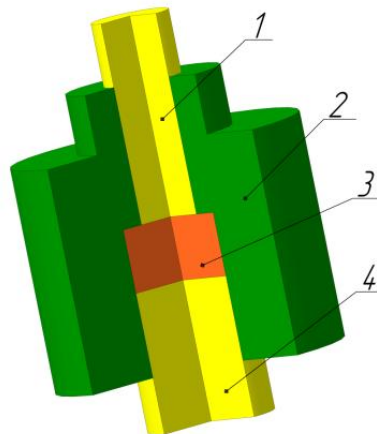


1 – верхняя плита; 2 – нижняя плита; 3 – заготовка.

Рисунок 15 – Осадка алюминиевого кубика

Многократное выдавливание прямоугольной заготовки

В данном исследовании была произведена осадка прямоугольной заготовки с размерами: длина $a = 36$ мм; ширина $b = 36$ мм; высота $h = 18$ мм. Материал заготовки алюминий марки АД0. Деформирование заготовки происходит за счет одновременного движения матрицы и нижней плиты вниз или вверх. Ниже представлена схема выдавливания алюминиевой заготовки (Рисунок 16).



1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – нижняя плита.

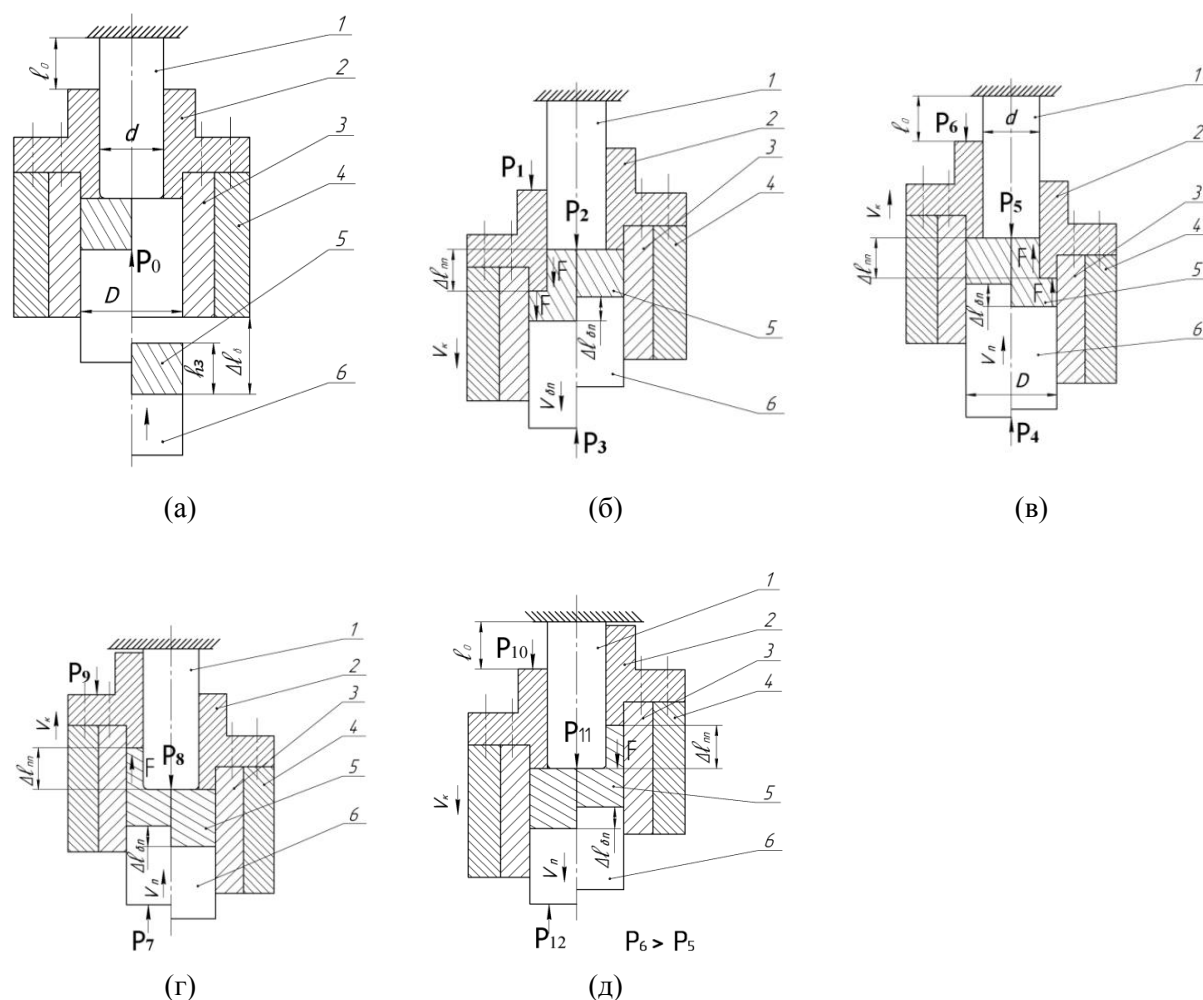
Рисунок 16 – Многократное выдавливание прямоугольной заготовки

Деформирование прямоугольной заготовки.

Один цикл процесса состоит из пяти этапов (Рисунок 17):

- а) Осадка (поджатие) заготовки;
- б) Обратное выдавливание заготовки;
- в) Прямое выдавливание заготовки;
- г) Обратное выдавливание заготовки;
- д) Прямое выдавливание заготовки;

После деформации заготовки с одной стороны ее переворачивают и деформируют с другой стороны для образования необходимой мелкозернистой структуры. Таким образом весь процесс формирования мелкозернистой структуры заготовки состоит из 2 циклов. На рисунке представлены этапы деформирования алюминиевой заготовки на одном цикле.



а – осадка (поджатие) заготовки; б,г – обратное выдавливание; в,д – прямое выдавливание; 1 – неподвижный малый пуансон; 2 – подвижный полый пуансон; 3 – подвижный контейнер; 4 – бандажированная втулка; 5 – заготовка; 6 – подвижная круглая плита.

Рисунок 17 – Этапы многократного выдавливания прямоугольной заготовки

Основные этапы моделирования в конечно-элементном комплексе ANSYS-LS/DYNA

Подготовка задачи в ANSYS/LS-DYNA в рассматриваемом примере осуществляется через меню программы

Анализ моделируемой задачи

При построении физической задачи необходимо определиться со следующими параметрами:

- технологические характеристики процесса (размеры заготовки и инструмента, свойства материала заготовки и инструмента и т.д.);
- тип и поведение кинематических нагрузок.

Основные этапы моделирования

Построение задачи листового формообразования в ANSYS для последующего решения в LS-DYNA будем осуществлять по следующим шагам.

Этап 1: Задание начальных параметров расчета.

Сюда входит: выбор типа и количество математических элементов; при необходимости задание параметров выбранного типа элемента; выбор типа и задание свойств используемых материалов.

Шаг 1 – Выбор типа расчета.

Шаг 2 – Выбор типа элемента.

Шаг 3 – Задание атрибутов элементов.

Шаг 4 – Задание свойств материала.

Этап 2: Построение геометрии.

Здесь следует отметить, что для построения отдельных, «простых», геометрических элементов достаточно использовать возможности ANSYS. Но в некоторых случаях имеет смысл импортировать геометрию, предварительно построенную в какой-либо CAD системе.

Шаг 5 – Построение геометрии.

Этап 3: Создание сетки конечных элементов.

Шаг 6 – Построение сетки конечных элементов.

Шаг 7 – Создание частей.

Этап 4: Задание заключительных параметров расчета.

В зависимости от вариации моделируемой задачи задаются различные типы параметров. В общем случае это время расчета, контактные пары и коэффициент трения, кинематические нагрузки и т.п.

Шаг 8 – Задание контактных пар и коэффициента трения.

Шаг 9 – Задание граничных условий (для симметричной задачи).

Шаг 10 – Задание кинематических нагрузок (скорость, перемещение, усилие и т.д.).

Шаг 11 – Ввод параметров для предотвращения искажения координатной сетки.

Шаг 12 – Задание времени расчета.

Шаг 13 – Выбор типа выходного файла.

Шаг 14 – Задание количества шагов расчета.

Шаг 15 – Выбор записи спецфайлов.

Шаг 16 – Запуск задачи на расчет.

Рассмотрим пошаговое построение задачи для расчета процесса вытяжки.

Способы построения геометрической модели

В препроцессоре ANSYS/LS-DYNA существуют три разных способа построения геометрической модели:

- импорт модели, предварительно построенной другой программой;
- твердотельное моделирование;
- непосредственное создание модели в интерактивном режиме работы.

Можно выбрать любой из этих методов или использовать их комбинацию для построения расчетной модели.

Импорт модели

Программа ANSYS позволяет наносить сетку на модель, импортированную из другой программы, а также имеет возможность менять геометрию модели с целью упрощения расчета. Использование автоматических средств позволяет улучшить модель за счет устранения ненужных зазоров, перекрытий или взаимных внедрений ее частей, а также выполнить слияние объектов и создание объемов. Это дает возможность получить значительно более простую расчетную модель путем ее «подчистки» и получения

приемлемого варианта. Процедуры упрощения позволяют наилучшим образом подготовить модель для нанесения сетки за счет удаления отверстий, полостей и выпуклостей, исключения мелких подробностей. Модель может быть предварительно построена в других специализированных программах, скажем Компас, Solid Works, Unigraphics и пр., а затем импортирована в ANSYS/LS-DYNA для последующего построения конечно-элементной модели.

Твердотельное моделирование

В программе ANSYS доступны следующие два способа моделирования: нисходящий и восходящий. В первом случае пользователь указывает только самый высокий порядок сложности объектов модели. Используемые обычно объекты (такие, как сферы и призмы, т. е. формы, которые называются геометрическими примитивами) могут быть созданы за одно обращение к меню. Например, пользователь определяет объемный примитив, а программа автоматически находит связанные с ним поверхности, линии и ключевые точки. Примитивы позволяют непосредственно указывать геометрические формы. В программе ANSYS можно легко и быстро определить в двумерном случае такие формы, как окружности и прямоугольники, или параллелепипеды, сферы, конусы и цилиндры — в трехмерном.

Непосредственное создание модели в интерактивном режиме работы

В этом случае чаще всего применяется так называемое «восходящее моделирование». При восходящем моделировании пользователь строит модель, начиная с объектов самого низкого порядка. Сначала задаются ключевые точки, затем связанные с ними линии, поверхности и объемы - именно в таком порядке.

Еще одним эффективным методом построения модели в программе ANSYS является построение некоторой поверхности с помощью так называемого метода «обтягивания каркаса». С помощью этого метода можно задать некоторый набор поперечных сечений, а затем дать программе команду построить поверхность, которая будет точно соответствовать указанным сечениям.

После того как построена твердотельная модель, строится ее конечно-элементный аналог (т. е. сетка узлов и элементов).

Построение сетки конечных элементов

В программе ANSYS предусмотрено несколько способов генерации сетки: использование метода экструзии, создание упорядоченной сетки и создание произвольной сетки.

Метод экструзии

Метод экструзии (выдавливания) используется для превращения областей двумерной сетки в трехмерные объекты, состоящие из параллелепипедов, клиновидных элементов или их комбинации. Процесс экструзии осуществляется с помощью процедур смещения из плоскости, буксировки, поступательного и вращательного перемещений.

Создание упорядоченной сетки

Построение упорядоченной сетки требует предварительного разбиения модели на отдельные составные части с простой геометрией, а затем — выбора таких атрибутов элемента и соответствующих команд управления качеством сетки, чтобы можно было построить конечно-элементную модель с упорядоченной сеткой. Создаваемая программой ANSYS упорядоченная сетка может состоять из шестигранных, четырехугольных и треугольных элементов. Для получения треугольной сетки программа выделяет области модели, предназначенные для нанесения упорядоченной сетки, создает сначала четырехугольную сетку, а затем превращает ее в сетку из треугольных элементов.

Создание произвольной сетки (автоматически)

Программа ANSYS имеет в своем составе генераторы произвольной сетки, с помощью которых сетка может наноситься непосредственно на модель достаточно сложной геометрии без необходимости строить сетку для отдельных частей и затем

собирать их в единую модель. Произвольную сетку можно строить из треугольных, четырехугольных и четырехгранных элементов.

Приложение нагрузок и получение решения

После того как при препроцессорной подготовке построена расчетная модель, можно переходить к стадии решения задачи. Этот этап включает в себя задание вида анализа и его опций, нагрузок, шага решения и заканчивается запуском на счет конечно-элементной задачи.

Программа ANSYS/LS-DYNA предусматривает два метода решения задач, связанных с расчетом конструкций (Structural problems): h-метод и p-метод. Первый из перечисленных методов может применяться при любом типе расчетов (статический, динамический, тепловой и т. п.), в то время как второй метод может использоваться только в линейном статическом анализе. При прочих равных условиях, h-метод требует более частой сетки, чем p-метод.

Постпроцессорная обработка

В программе ANSYS стадия постпроцессорной обработки следует за стадиями препроцессорной подготовки и получения решения. С помощью постпроцессорных средств программы имеется возможность обратиться к результатам решения и интерпретировать их нужным образом.

Итогом работы программы на постпроцессорной стадии является графическое и (или) табличное представление результатов. Графическое изображение может быть выведено на монитор в интерактивном режиме во время постпроцессорной обработки или преобразовано в твердую копию.

На стадии получения решения результаты записываются в базу данных программы ANSYS и в так называемый «файл результатов». Результаты, полученные на каждом дополнительном шаге решения, накапливаются как наборы данных.

Количество и тип данных определяются видом выполняемого анализа и выбором опций, установленных на стадии получения решения. Для каждого шага по нагрузке пользователь указывает, сохранять ли результаты для каждого дополнительного шага решения, для последнего из них или для некоторого сочетания промежуточных и финального шагов. Кроме того, можно указать перечень сохраняемых результатов, выбрав, например, перемещения, напряжения, силы реакции и т.п.

Список использованных источников

1. Семенов, Е.И. Ковка и штамповка (справочник в 4-х томах). Том 4 [Текст] / Е.И. Семенов, О.А. Ганаго, Л.И. Живов. - М.: Машиностроение, 1977. -336 с.
2. Маслов, В. Д. Моделирование процессов листовой штамповки в программном комплексе ANSYS/LS-DYNA [Текст] : [учеб. пособие] / В. Д. Маслов, К. А. Николенко ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева. - Самара : Изд-во СГАУ, 2007. - 80 с. - (Приоритетные национальные проекты "Образование").
3. CAE-система ANSYS [Электронный ресурс] 1995-2008 (<http://www.ansys.com>).
4. Электронный журнал для пользователей CAE-системой ANSYS [Электронный ресурс] 1995-2008 (<http://www.ansysolutions.ru>).
5. ANSYS. Help System. Rel. 11.0//ANSYS 11.0 [Электрон. ресурс]/ANSYS Inc. Houston, 2008. CD-ROM. Загл. с этикетки диска.
6. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров. Справочное пособие. -М: Машиностроение, 2004. -512 с.
7. Шкляев, С. Э. Современные возможности компьютерного моделирования металлургических процессов [Текст] / С. Э. Шкляев, Л. Н.Маркова, Л. Т. Афанасьева, Б. М. Шлякман // Электрометаллургия. -2012. -№12. -С. 39-43.
8. Скрипаленко М.М. К вопросу выбора программных продуктов для моделирования процессов обработки металлов давлением [Текст] / М.М. Скрипаленко, М.Н. Скрипаленко // Металлург. -2013. -№ 1. -С. 20-23.
9. Вишняков, А. И. Алгоритмы поэтапного метода конечных элементов [Текст] / А. И. Вишняков // Вестник гражданских инженеров. -2009. -№4. -С. 25-29.
10. Губанова, Н.В. Исследование процесса прокатки в геликоидальных валках методом математического моделирования в программе DEFORM 3D [Текст] / Н.В. Губанова, Ф.Р. Карелин, В.Ф. Чопоров, В.С. Юсупов // Металлы. -2011. -№2. -С. 24.
11. Колмогоров, В. Л. Напряжения, деформации, разрушение. [Текст] / В.Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1970. -229 с.
12. Колмогоров, В. Л. Пластичность и разрушение [Текст] / В.Л. Колмогоров, А.А. Богатов, Б.А. Мигачев и др. - М.: Металлургия, 1977. -336 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОСАДКИ С БОЛЬШИМИ
ИНТЕНСИВНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ

Электронные методические указания
к практическим занятиям

Самара 2013

Составитель: **Николенко Константин Анатольевич**

Расчет параметров процесса осадки с большими интенсивными деформациями
[Электронный ресурс]: электрон. метод. указания к практ. занятиям / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); -сост. К.А. Николенко. – Электрон. текстовые и граф. дан. (2,42 Мбайт). - Самара, 2013.

Указания направлены на выполнение расчетов параметров процесса многоциклового осадки прямоугольной заготовки с различной степенью деформации и свойствами материала. Представлены методики: моделирования процессов ОМД в ANSYS/LS-DYNA. Расчет предельной степени деформации по критерию Колмогорова.

Указания предназначены для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по магистерской программе «Структурирование сплавов до наноуровневого размера в металлургических циклах с применением инновационных технологий способов литья и обработки металлов давлением с воздействием электромагнитных источников» по направлению подготовки 150400.68 «Металлургия» (ФГОС-3), изучающих дисциплину «Моделирование процессов с большими интенсивными деформациями в кузнечно-штамповочном производстве» в В семестре.

Подготовлено на кафедре обработки металлов давлением.

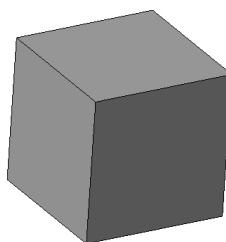
© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

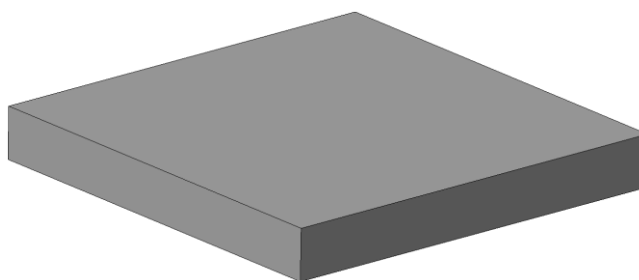
1 Выполнить расчет параметров процесса осадки прямоугольной заготовки с различной степенью деформации и свойствами материала..	4
2 Общая методика моделирования процесса ОМД в конечно-элементном комплексе ANSYS/LS-DYNA.....	7
2.1 Рабочее пространство ANSYS.....	7
2.2 Начало работы в ANSYS.....	7
2.3 Управление изображением.	10
2.4 Основные команды работа с системой координат.	11
2.5 Основные операции выбора «элементов» на экране (включая элементы и узлы).....	12
3 Типовая последовательность построения задачи в ANSYS/LS-DYNA.	15
Размерность задач.	15
3.1 Построение и редактирование геометрии.	15
3.2 Начальные параметры расчета.	15
3.3 Построение конечно-элементной сетки и создание частей.	21
3.4 Заключительные параметры расчета.	26
4 Постпроцессорная обработка результатов моделирования в ANSYS.....	33
4.1 Загрузка рассчитанной базы данных.....	33
4.2 Отображение эпюр интенсивности напряжений и деформаций.....	34
5 Методика расчета предельной степени деформации с использованием критерия Колмогорова.....	37

1 Выполнить расчет параметров процесса осадки прямоугольной заготовки с различной степенью деформации и свойствами материала

Выполнить анализ процесса трехцикловой осадки прямоугольной заготовки в холодном состоянии. Размеры заготовки: длина $a = 19$ мм; ширина $b = 19$ мм; высота $h = 19$ мм.



заготовка



верхняя и нижняя плита

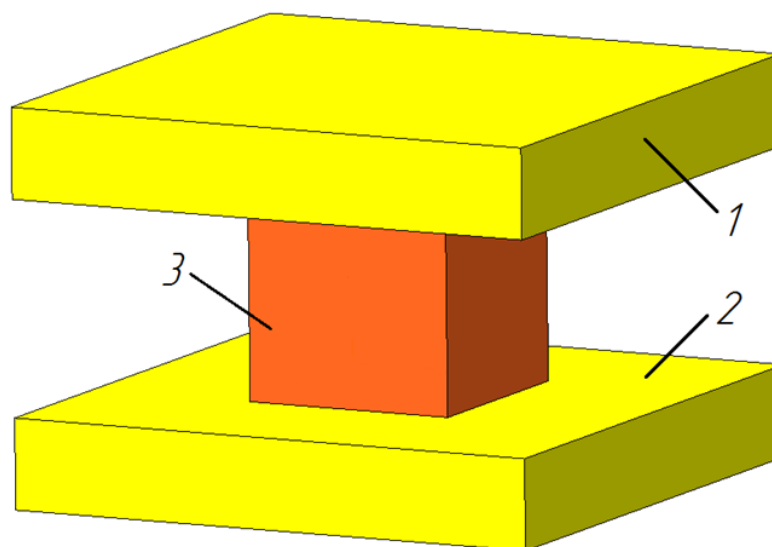
Таблица 1 - Материал заготовки

Материал	№1 Сталь 12X18H10T	№2 Сталь 20	№3 Сплав Д16
Плотность, кг/м ³	7900	7859	2800
Модуль упругости, Па	195e9	212e9	270e9
Коэффициент Пуассона	0.3	0.3	0.3
Предел текучести, Па	210e6	250e6	330e6
Тангенциальный модуль, Па	709e6	850e6	260e6

Таблица 2 - Степень деформации первого цикла

Задание	№1	№2	№3
Степень деформации первого цикла, %	15	30	40

Осадка производилась последовательно в трех направлениях (X,Y,Z). При моделирование выполняется 3 цикла осадки (один цикл – осадка в одном из направления). После осадки в одном направлении заготовку переворачивают и осаживают во втором направлении. После третьего цикла осадки заготовка приобретает прежние размеры. На рисунке представлен процесс осадки кубика.



1 – верхняя плита; 2 – нижняя плита; 3 – заготовка.

Решение задачи осуществляется в следующей последовательности:

1. Выполнить моделирование процесса осадки в конечно-элементном комплексе ANSYS/LS-DYNA. Выполнить осадку в направлении оси X – первый цикл.

Моделирование процесса выполнить по методике изложенной в п.2 (с учетом рекомендаций преподавателя).

2. Выполнить анализ результатов моделирования. Определить значения интенсивности напряжений и деформация.

Рассчитать значения кинематических нагрузок для осадки на втором цикле – осадка в направлении оси Y.

3. Определить значение предельной степени деформации с использованием критерия Колмогорова. Методика расчета представлена п.5. Сделать выводы о возможном разрушении материала при штамповке.

4. Выполнить моделирование второго цикла осадки (осадка в направлении оси Y).

5. Выполнить пункт 2. Рассчитать значения кинематических нагрузок для осадки на третьем цикле – осадка в направлении оси Z. Выполнить пункт 3.

6. Выполнить моделирование третьего цикла осадки (осадка в направлении оси Z).

7. Определить общую степень деформации заготовки и вероятность ее разрушения по критерию Колмогорова.

8. Обобщить результаты моделирования для заготовки из различных материалов (см. таблицу 1). Сделать вывод о влиянии свойств материала на процесс формообразования.

9. Обобщить результаты моделирования для заготовки с различной степенью деформации первого цикла (см. таблицу 2). Сделать вывод о влиянии интенсивности деформации на процесс формообразования.

2 Общая методика моделирования процесса ОМД в конечно-элементном комплексе ANSYS/LS-DYNA

2.1 Рабочее пространство ANSYS.

Выделим основные рабочие зоны, необходимые для моделирования в ANSYS (рисунок):

- 2.1.1.1.a.** «ANSYS Utility Menu» – меню утилит;
- 2.1.1.1.b.** «ANSYS Main Menu» – главное меню;
- 2.1.1.1.c.** Командная строка;
- 2.1.1.1.d.** «ANSYS Toolbar» – панель инструментов;
- 2.1.1.1.e.** Информационная строка;
- 2.1.1.1.f.** Набор рабочих иконок;
- 2.1.1.1.g.** Набор иконок управления изображением;
- 2.1.1.1.h.** Рабочее окно ANSYS.

2.2 Начало работы в ANSYS.

2.2.1 Запуск Ansys с указанием ссылки на рабочую папку и измененным рабочем именем.

На диске «С» создать папку с именем «AnsysLsDynaRashet».

Зайти в «Пуск → Все программы → ANSYS ED 9.0 → ANSYS Product Launcher»;

2.2.1.1.a. В открывшемся окне «9.0 ED Launcher [Profile: *** Last AE-ED Run ***]» выбрать вторую закладку «File Management»;

2.2.1.1.b. В строке «Working Directory:» нажать «Browse...». В появившемся окне «Обзор папок» выбрать созданную рабочую папку с именем «AnsysLsDynaRashet». Нажать «ОК». В результате в строке «Working Directory:» прописывается путь к созданной папке «C:\AnsysLsDynaRashet»;

2.2.1.1.c. Изменить рабочее имя. В строке «Job Name:» написать рабочее имя - «AnsysLsDynaRashet».

2.2.1.1.d. Нажать «Run».

2.2.2 Завершение работы в ANSYS.

Выйти из программы без сохранения базы данных.

2.2.2.1.a. ANSYS Utility Menu → File → Exit ...

2.2.2.1.b. В появившемся окне «Exit from ANSYS» поставить точку «Quit – No Save!».

2.2.2.1.c. Нажать «OK».

2.2.3 Сохранение базы данных.

В ANSYS нет возможности вернуться к предыдущим шагам построения. Поэтому рекомендуется сохранять «промежуточные» базы данных с текущими шагами построения задачи.

2.2.3.1.a. ANSYS Utility Menu → File → Save as ...;

2.2.3.1.b. В появившемся окне «Save DataBase» в строке «Save Database to» вместо звездочки поставить имя сохраняемой базы данных. В результате - ««имя базы».db»;

2.2.3.1.c. Нажать «OK».

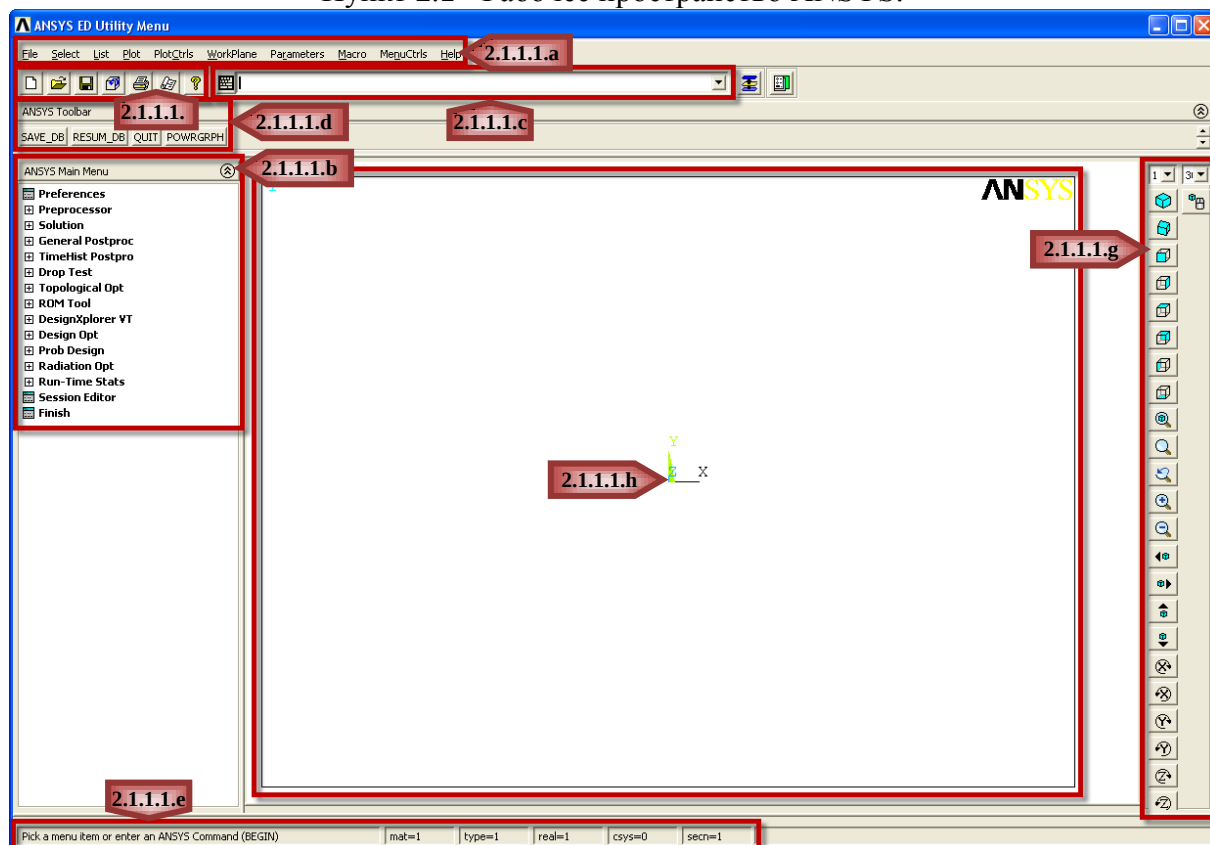
2.2.4 Загрузка базы данных.

2.2.4.1.a. В наборе рабочих иконок (поз. 2.1.1.1.f) выбрать иконку «Open ANSYS File» (иконка с изображением открытой папки);

2.2.4.1.b. В открывшемся окне «Open ANSYS File» выбрать файл с именем открываемой базы данных (для примера показана база данных с именем «0»);

2.2.4.1.c. Нажать «Открыть».

Пункт 2.1 - Рабочее пространство ANSYS.



Пункт 2.2.1 - Запуск Ansys с указанием ссылки на рабочую папку и измененным рабочем именем.

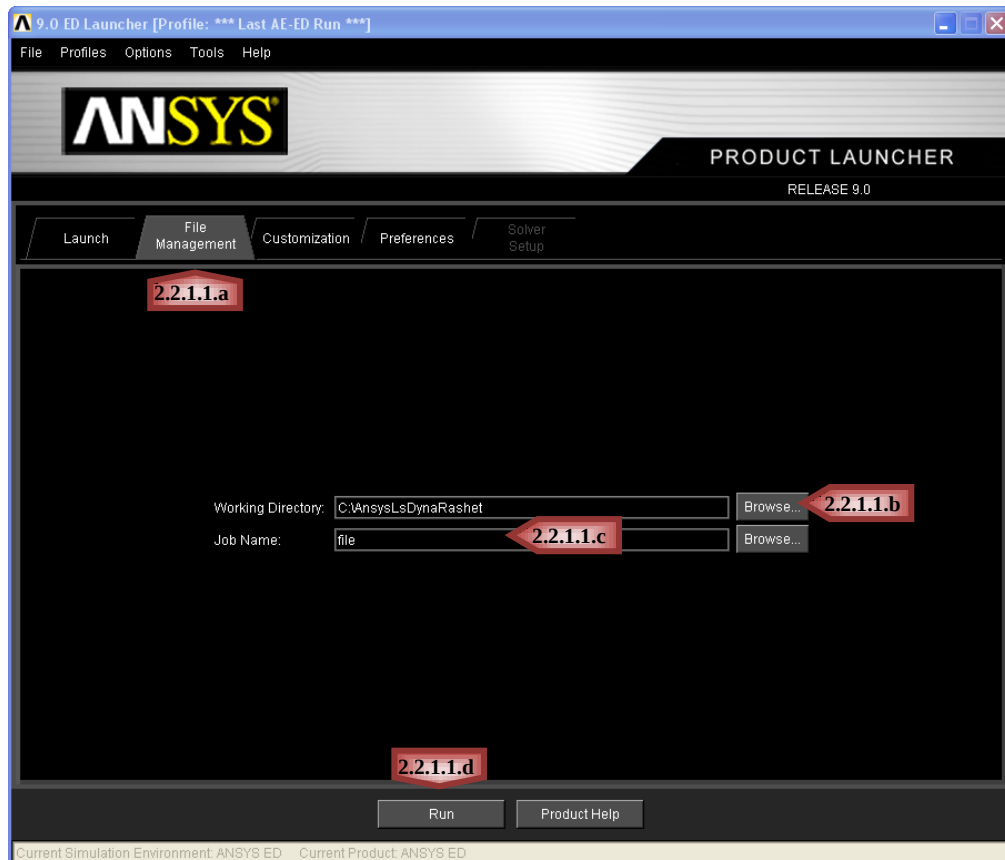


Рисунок 2.1 – Рабочее пространство ANSYS. Начало работы в ANSYS.

2.3 Управление изображением.

2.3.1 Отображение элемента геометрии.

2.3.1.1.a. Отображение точек: ANSYS Utility Menu → Plot → Keypoints
→ Keypoints;

2.3.1.1.b. Отображение линий: ANSYS Utility Menu → Plot → Lines;

2.3.1.1.c. Отображение поверхностей: ANSYS Utility Menu → Plot → Areas;

2.3.1.1.d. Отображение объемов: ANSYS Utility Menu → Plot → Volumes;

2.3.1.1.e. Отображение элементов: ANSYS Utility Menu → Plot
→ Elements;

2.3.1.1.f. Отображение узлов: ANSYS Utility Menu → Plot → Nodes;

2.3.1.1.g. Перезагрузка изображения: ANSYS Utility Menu → Plot → Replot.

2.3.2 Отображение имени и номера элемента геометрии.

2.3.2.1.a. ANSYS Utility Menu → PlotCtrls → Numbering ...;

В появившемся окне «Plot Numbering Controls» поставить галочку напротив нужного элемента. Основные элементы «Plot Numbering Controls»:

2.3.2.1.b. KP Keypoint numbers – номера точек;

2.3.2.1.c. LINE Line numbers – номера линий;

2.3.2.1.d. AREA Area numbers – номера поверхностей;

2.3.2.1.e. VOLU Volume numbers – номера объемов;

2.3.2.1.f. Нажать «ОК».

2.3.3 Основные элементы меню рабочих иконок.

2.3.3.1.a. Перемещение, вращение, масштабирование изображения:
Меню рабочих иконок → Dynamic Model Mode (иконка с изображением «компьютерной мыши»);

Включения команды «Dynamic Model Mode» позволяет управлять изображением на экране с помощью «компьютерной мыши»:

Нажать и удерживать ЛКМ – перемещение изображения;

Нажать и удерживать ПКМ – вращение изображения;

Вращение колеса «компьютерной мыши» – масштабирование изображения.

2.3.3.1.b. Отображение трехмерного изображения модели: Меню рабочих иконок → выбрать одну из трехмерных проекций:

1. Isometric View – изометрическая проекция;
2. Oblique View – наклонная изометрическая проекция.

2.3.3.1.c. Отображение одной из шести проекций модели: Меню рабочих иконок → выбрать одну из проекций:

1. Front View – фронтальная проекция (вид спереди);
2. Right View – правая проекция;
3. Top View – верхняя проекция;
4. Back View – задняя проекция;
5. Left View – левая проекция;
6. Bottom View – нижняя проекция;

2.3.3.1.d. Вписать модель в рабочее окно: Меню рабочих иконок → Fit View;

2.3.3.1.e. Выбрать область модели: Меню рабочих иконок → Zoom Model → выбор области осуществляется удерживанием ЛКМ с перемещением от центра выбираемой области.

2.4 Основные команды работа с системой координат.

Перемещение и вращение ЛСК осуществляется относительно ГСК.

2.4.1.1.a. Отображение ЛСК: ANSYS Utility Menu → WorkPlane → Display Working Plane;

2.4.1.1.b. Работа с ЛСК (перемещение, вращение) осуществляется при помощи окна «Offset WP»: ANSYS Utility Menu → WorkPlane → Offset WP by Increments ...;

2.4.1.1.c. Перемещение ЛСК по осям. В строке «Snaps X, Y, Z Offsets» задать координаты перемещения – «x, y, z».

2.4.1.1.d. Нажать «Apply»;

2.4.1.1.e. Вращение ЛСК. В строке «Degrees XY, YZ, ZX Offsets» задать координаты вращения – «x, y, z». (Осуществляется вращение указанной в строке «Degrees XY, YZ, ZX Offsets» плоскости относительно перпендикулярной данной плоскости оси. Положительный угол – вращение против часовой стрелки, отрицательный угол – вращение по часовой стрелке). Нажать «Apply»;

2.4.1.1.f. Перемещение ЛСК в ГСК (без вращения): ANSYS Utility Menu → WorkPlane → Offset WP to → Global Origin;

2.4.1.1.g. Совместить ЛСК с ГСК: ANSYS Utility Menu → WorkPlane → Align WP With → Global Cartesian.

2.5 Основные операции выбора «элементов» на экране (включая элементы и узлы).

Режиме выбора или снятия выбора «элемента»:

Курсор указывает в верх – режим выбора элемента (геометрического – точки, линии, поверхности, объемы; элемента сетки – узел, элемент).

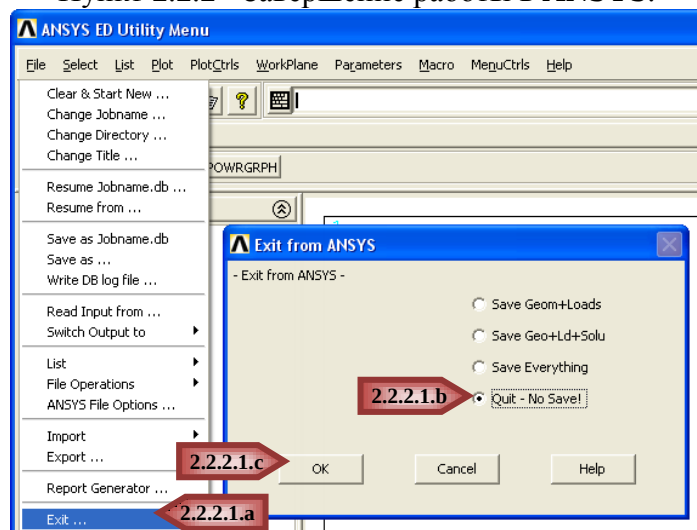
Курсор указывает в низ – режим снятия выбора с элемента.

Смена режимов осуществляется нажатие ПКМ.

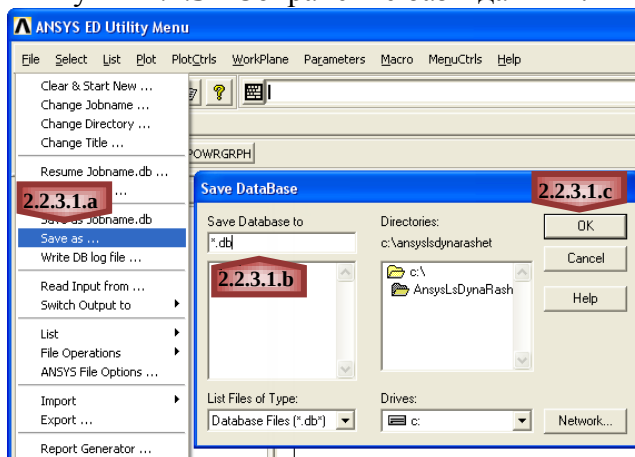
В режиме выбора элементов (курсор указывает в верх) нажать и удерживать ЛКМ. Переместить курсор в рабочем окне ANSYS. В результате автоматически изменяется выбор элементов. Выделяется тот элемент, на номер которого в данный момент указывает курсор (или тот, номер которого находится ближе к курсору). Остановиться после выбора нужного элемента. Отпустить ЛКМ.

В режиме снятия выбора элементов (курсор указывает вниз) нажать и удерживать ЛКМ. Переместить курсор в рабочем окне ANSYS. В результате автоматически осуществляется снятие выбора с одного из элементов, на номер которого в данный момент указывает курсор. Остановиться после выбора нужного элемента. Отпустить ЛКМ.

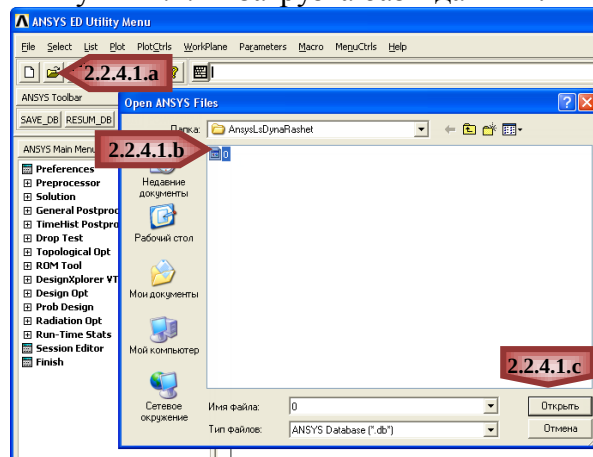
Пункт 2.2.2 - Завершение работы в ANSYS.



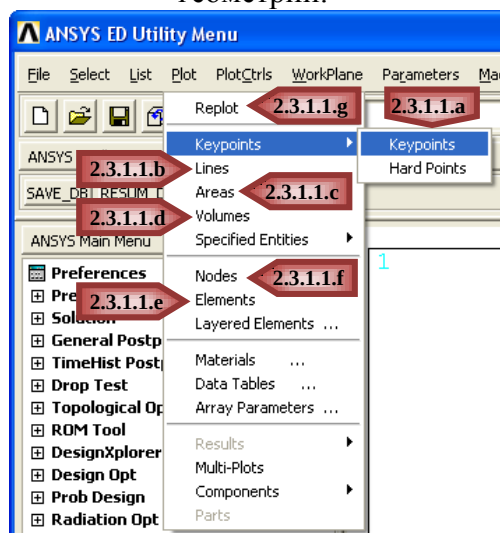
Пункт 2.2.3 - Сохранение базы данных.



Пункт 2.2.4 - Загрузка базы данных.



Пункт 2.3.1 - Отображение элемента геометрии.



Пункт 2.3.2 - Отображение имени и номера элемента геометрии.

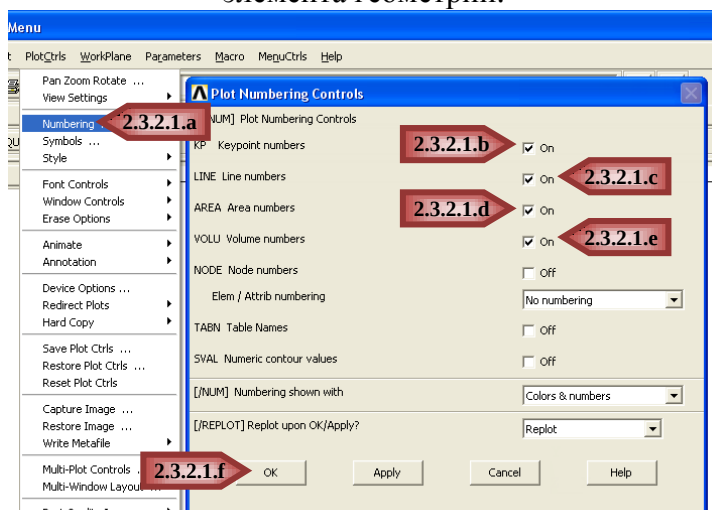
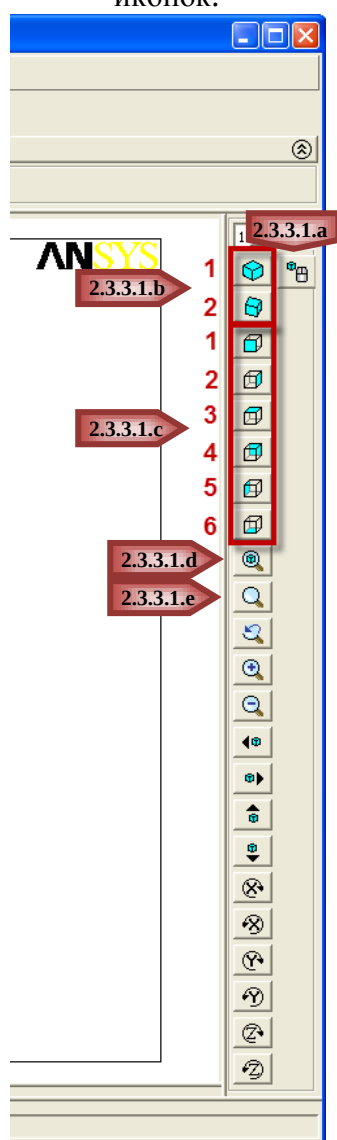


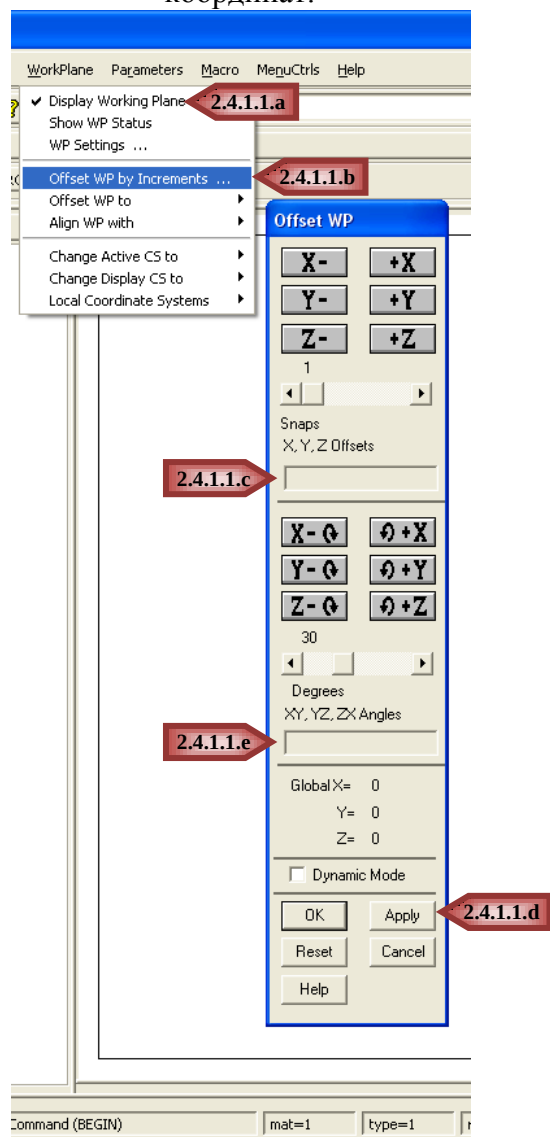
Рисунок 2.2 – Завершение работы в ANSYS. Работа с базой данных.

Визуализация геометрических элементов.

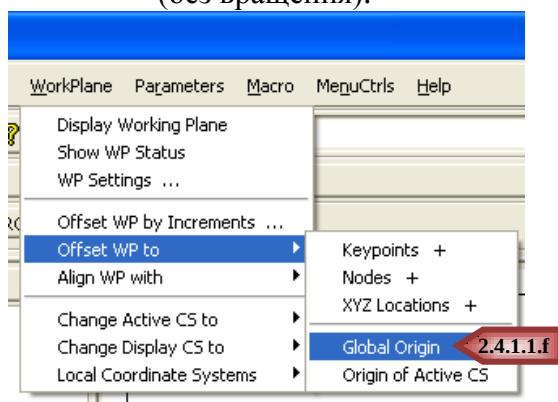
Пункт 2.3.3 - Основные элементы меню рабочих иконок.



Пункт 2.4 - Основные команды работа с системой координат.



Пункт 2.4.1.1.f - Перемещение ЛСК в ГСК (без вращения).



Пункт 2.4.1.1.g - Совместить ЛСК с ГСК.

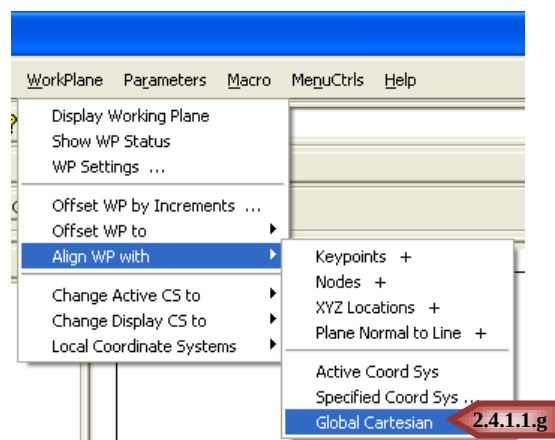


Рисунок 2.3 – Работа с изображением. Работа с системой координат.

3 Типовая последовательность построения задачи в ANSYS/LS-DYNA.

Описана последовательность построения для моделирования операций холодной листовой штамповки.

Построение задачи осуществляется в четыре этапа:

Этап 1: Построение и редактирование геометрии;

Этап 2: Начальные параметры расчета;

Этап 3: Построение конечно-элементной сетки;

Этап 4: Заключительные параметры расчета.

В моделируемых ниже задачах используется система «СИ» для задания свойств материала, кинематических нагрузок и построения геометрических объектов.

Размерность задач.

Длина – м (метр); Сила – Н (Ньютон); Время – с (секунда).

3.1 Построение и редактирование геометрии.

Средствами ANSYS/LS-DYNA моделируется геометрия прямоугольной заготовки с размерами по заданию. Методика моделирования геометрии определяется преподавателем.

3.2 Начальные параметры расчета.

К начальным параметрам расчета относятся: выбор типа решателя, выбор типа элемента, задание констант для выбранного типа элемента, выбор модели материала и задание свойств материала.

3.2.1 Выбор типа решателя.

3.2.1.1.a. ANSYS Main Menu → Preferences;

3.2.1.1.b. В появившемся окне «Preferences for GUI Filtering» поставить галочку «Structural»;

3.2.1.1.c. Поставить точку «LS-DYNA Explicit»;

3.2.1.1.d. Нажать «OK».

3.2.2 Выбор типа элемента.

3.2.2.1.a. ANSYS Main Menu → Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete;

3.2.2.1.b. В появившемся окне «Element Types» нажать «Add...»

3.2.2.1.c. В появившемся окне «Library of Element Types» в левой части выбрать наборов элементов «LS-DYNA Explicit»;

3.2.2.1.d. В правой части выбрать тип элемента для моделируемой задачи.

В рассмотренных ниже задаче используется объемный и оболочковый тип элемента;

3.2.2.1.e. Нажать «OK».

3.2.2.1.f. В оставшемся окне «Element Types» появился выбранный тип элемента;

3.2.2.1.g. Выбор типа элемента завершен. Нажать «Close».

3.2.3 Задание констант для выбранного типа элемента.

3.2.3.1.a. ANSYS Main Menu → Preprocessor → Real Constants;

3.2.3.1.b. В появившемся окне «Real Constants» нажать «Add...»;

3.2.3.1.c. В появившемся окне «Element Types for Real Constants» сделать выбор типа элемента;

3.2.3.1.d. Нажать «OK»;

3.2.3.1.e. В появившемся окне «Real Constants Set Number 1, for «имя типа элемента»» в строке «Real Constants Set No.» поставить номер набора констант для выбранного типа элемента.

Оставить поставленный по умолчанию номер – «1».

3.2.3.1.f. Нажать «OK».

3.2.3.1.g. В появившемся окне «Real Constants Set No. 1, for «название выбранного типа элемента»» задать значения для типа элемента:

Shear Factor SHRF – «5/6»;

No. of integration pts. NIP – задать количество рассчитываемых узлов по толщине оболочки. (В зависимости от модели материала, используемой в задачи, поставить: для деформируемого материала – «5»; для жесткого материала – «3»).

Thickness at node 1 T1 – задает толщину оболочки. (Толщина определяется в зависимости от толщины заготовки или оснастки. В случае одинаковой толщины во всех узлах элемента достаточно задать толщину в одной строке «Thickness at node 1 T1»).

3.2.3.1.h. Нажать «OK»;

3.2.3.1.i. В оставшемся окне «Real Constants» появилась строка с заданными атрибутами. (Для первого набора констант - «Set 1». Для второго и последующих - «Set 2», «Set «номер набора констант»»).

3.2.3.1.j. Закрыть окно «Real Constants». Нажать «Close».

3.2.4 Выбор материала.

Выбор материала осуществляется в следующей последовательности:

- **задать «номер» модели материала;**
- **выбрать модель материала и задать свойства материала.**

3.2.4.1 Задать «номер» модели материала.

3.2.4.1.a. ANSYS Main Menu → Preprocessor → Material Props → Material Models. (Появилось окно «Define Material Models Behavior»);

3.2.4.1.b. В появившемся окне «Define Material Models Behavior» в левой части «Material Models Defined» по умолчанию задан номер для модели материала «Material Model Number 1»;

3.2.4.1.c. В задачах могут использоваться несколько моделей материалов, как следствие, необходимо несколько «номеров» модели материала.

Задать номер модели материала: окно «Define Material Models Behavior» → Utility Menu (строка в верхней части окна) → Material → New Model...;

3.2.4.1.d. Появилось окно «Define Material ID». В строке «Define Material ID» задать номер для модели и свойств материала - «2» (Номер задается по умолчанию).

3.2.4.1.e. Нажать «ОК»;

3.2.4.1.f. В левой части «Material Models Defined» появляется «номер» для второй модели материала «Material Model Number 2».

3.2.4.2 Выбрать модель материала и задать свойства материала.

В окне «Define Material Models Behavior» в левой части выбрать созданный номер материала («Material Model Number 1» для заготовки, «Material Model Number «номер материала»» - номер материала «2» и последующие для второго и последующих деформируемого материала и оснастки);

3.2.4.2.a. В окне «Define Material Models Behavior» в правой части «Material Models Available» открыть папку «LS-DYNA» и выбрать модель материала.

Выбор модели материала зависит от моделируемой задачи. В рассмотренных ниже задачах используется три модели материала:

«Bilinear Kinematic» и «Transverse Anisotropic» - для деформируемого геометрического элемента - заготовка;

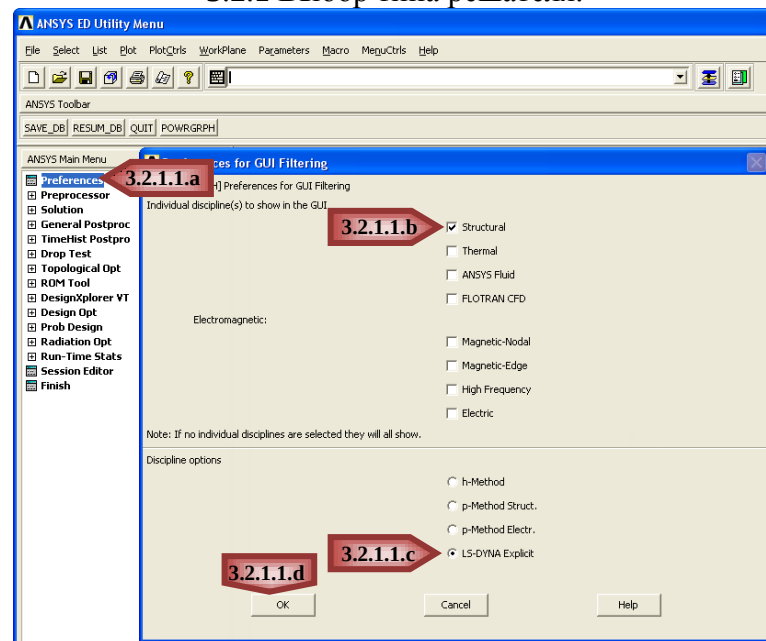
«Rigid Material» – для жесткого геометрического элемента - оснастка.

В зависимости от выбранной модели материала задаются свойства материала. (В моделируемых ниже задачах используется система «СИ» для задания свойств материала).

3.2.4.2.b. Закрывать окно «Define Material Models Behavior»: окно «Define Material Models Behavior» → Utility Menu (строка в верхней части окна) → Material → Exit;

Второй этап завершен.

3.2.1 Выбор типа решателя.



3.2.2 Выбор типа элемента.

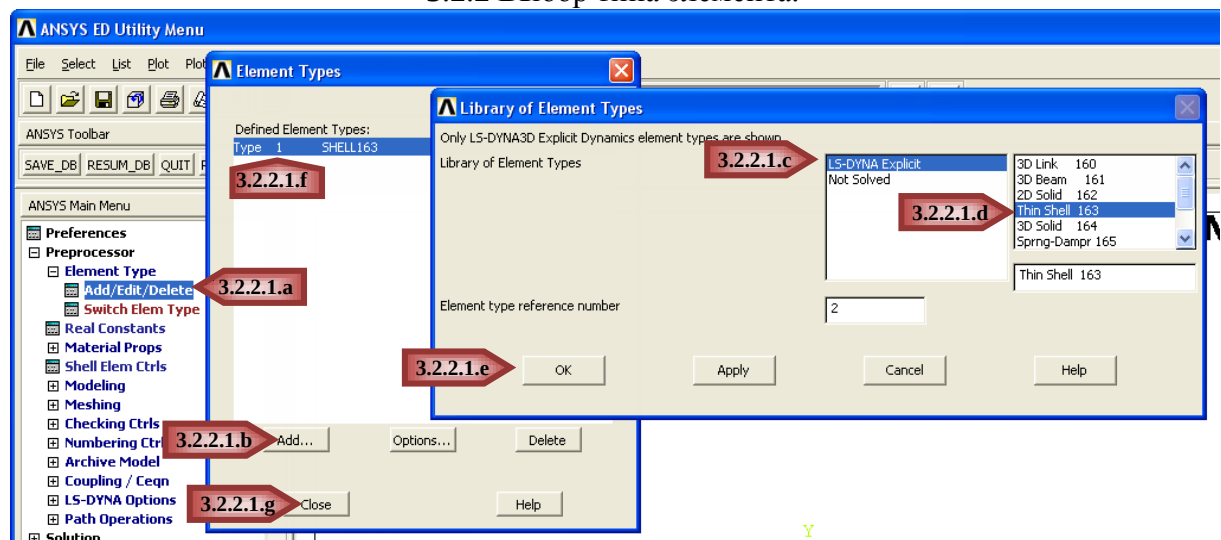
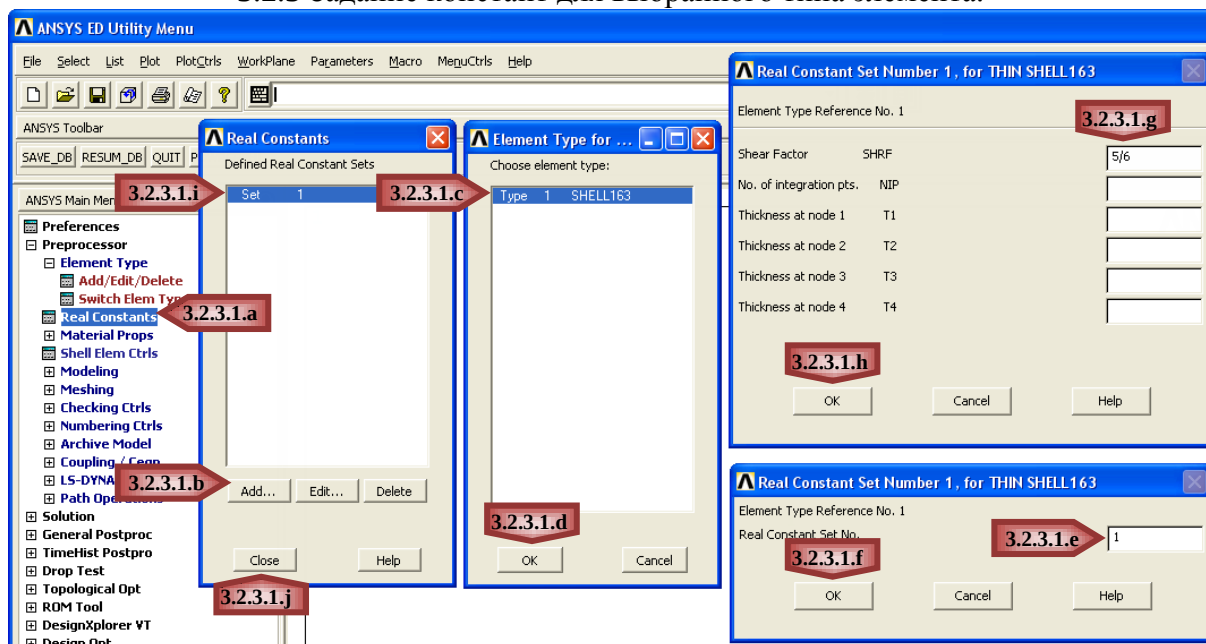


Рисунок 3.1 – Выбор типа решателя и типа элемента.

3.2.3 Задание констант для выбранного типа элемента.



3.2.4.1 Задать «номер» модели материала.

3.2.4.2 Выбрать модель материала и задать свойства материала.

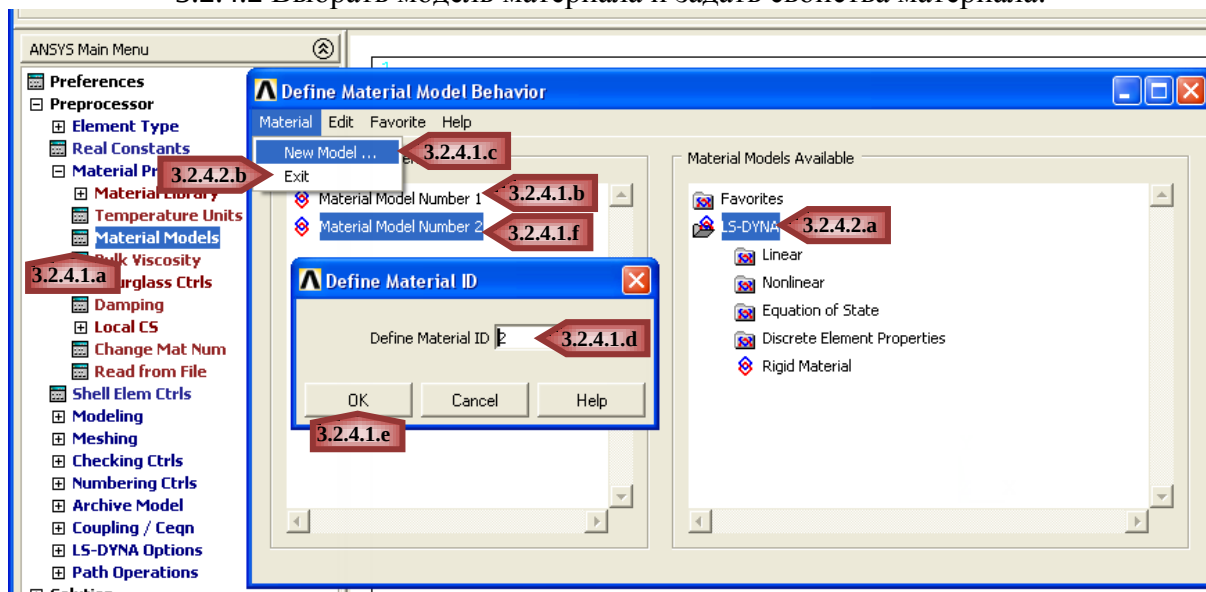


Рисунок 3.2 – Задание констант для выбранного типа элемента. Задание номер материала, выбор модели материала, задание свойств материала.

3.3 Построение конечно-элементной сетки и создание частей.

Построение конечно-элементной сетки осуществляется в два этапа:

- **Построения конечно-элементной сетки;**
- **Создание частей.**

3.3.1 Построения конечно-элементной сетки.

Команды для построения конечно-элементной сетки представлены в окне «Mesh Tool».

3.3.1.1 Окно «Mesh Tool».

3.3.1.1.a. ANSYS Main Menu → Preprocessor → Meshing → Mesh Tool;

3.3.1.1.b. Окно «Mesh Tool» разделено на шесть разделов (разделы отделены друг от друга линиями):

Раздел №1: «Element Attributes:»;

Раздел №2: «Smart Size»;

Раздел №3: «Size Controls:»;

Раздел №4: «Mesh:»;

Раздел №5: «Refine at:»;

Раздел №6: Раздел «управления» окном «Mesh Tool».

3.3.1.1.c. Закрыть окно «Mesh Tool», в разделе №6 нажать «Close».

Построение сетки осуществляется в следующей последовательности:

- **задать размеры ячейки сетки;**
- **выбрать атрибуты сетки;**
- **построить сетку.**

3.3.1.2 Задать размеры ячейки сетки.

В рассмотренных ниже задачах используется два способа задания размеров сетки:

- **глобальные размеры для всей геометрии:**
- **построение сетки через разбиение линий.**
- **глобальные размеры для всей геометрии:**

3.3.1.2.a. Окно «Mesh Tool» → раздел №3 «Size Controls:» → Global → Set;

3.3.1.2.b. В появившемся окне «Global Element Sizes» в первой строке «SIZE Element edge length» поставить значение размера координатной сетки;

3.3.1.2.c. Нажать «OK»;

• **построение сетки через разбиение линий:**

3.3.1.2.d. Окно «Mesh Tool» → раздел №3 «Size Controls:» → Lines → Set;

3.3.1.2.e. В появившемся окне «Element Size on Picked...» в строке поставить номер разбиваемой линии (можно выбрать линию в рабочем окне (см. п. 2.1.1.1.h));

3.3.1.2.f. Нажать «OK»;

3.3.1.2.g. В появившемся окне «Element Sizes on Picked Lines» во второй строке «NDIV No. of element divisions» поставить число отрезков, на которое будет разбита линия;

3.3.1.2.h. Нажать «OK».

3.3.1.3 Выбор атрибутов сетки.

3.3.1.3.a. Окно «Mesh Tool» → раздел №1: «Element Attributes:» → нажать «Set»;

В появившемся окне «Meshing Attributes»:

3.3.1.3.b. в строке «[TYPE] Element type number» выбрать тип элемента;

3.3.1.3.c. в строке «[MAT] Material number» поставить номер материала;

3.3.1.3.d. в строке «[REAL] Real constant set number» поставить номер набора констант для выбранного типа элемента.

3.3.1.3.e. Нажать «OK».

3.3.1.4 Построение сетки.

Окно «Mesh Tool» → раздел №4: «Mesh:» → выполнить настройку раздела №4:

3.3.1.4.a. в строке «Mesh:» выбрать тип геометрического элемента для разбиения;

3.3.1.4.b. в строке «Shape:» поставить точки «Quad» и «Mapped».

3.3.1.4.c. Для построения сетки нажать «Mesh»;

3.3.1.4.d. После появления окна «Mesh «тип геометрического элемента»» в «рабочем окне» выбрать геометрический элемент или прописать промер геометрического элемента в строке;

3.3.1.4.e. Нажать «ОК».

3.3.2 Создание частей.

Создание частей осуществляется в три этапа:

- **выбрать элемент геометрии, для которого создается часть;**
- **создать часть для выбранного элемента геометрии;**
- **создать все части.**

3.3.2.1 Выбрать элемент геометрии, для которого создается часть.

3.3.2.1.a. ANSYS Utility Menu → Select → Entities...

3.3.2.1.b. В появившемся окне «Select Entities» в первой строке (вместо «Nodes») выбрать «Elements»;

3.3.2.1.c. Во второй строке (вместо «By Num/Pick») выбрать «By Attributes»;

3.3.2.1.d. В появившейся третьей строке «Min,Max,Inc» поставить «номер» выбираемого элемента;

3.3.2.1.e. Нажать «ОК».

Перезагрузить отображаемую геометрию – см. п. 2.3.1.1.g. В результате должен появиться выбираемый элемент геометрии.

3.3.2.2 Создать часть для выбранного элемента геометрии.

3.3.2.2.a. ANSYS Main Menu → Preprocessor → Parts Options;

3.3.2.2.b. В появившемся окне «Parts Data Written for LS-DYNA» поставить точку «Add Part»;

3.3.2.2.c. Нажать «ОК».

3.3.2.2.d. В появившемся окне «Parts Data Written for LS-DYNA» поставить в строке «Part ID Number» поставить номер-название создаваемой части;

3.3.2.2.е. Нажать «ОК».

В результате появляется текстовое окно с атрибутами выбранного элемента геометрии.

3.3.2.3 Создать все части.

3.3.2.3.а. Выбрать все геометрические элементы: ANSYS Utility Menu → Select → Everything;

3.3.2.3.б. Прописать все части: ANSYS Main Menu → Preprocessor → Parts Options → в появившемся окне «Parts Data Written for LS-DYNA» поставить точку «Create all parts».

3.3.2.3.с. Нажать «ОК».

В результате появляется текстовое окно с атрибутами для всех элементов геометрии.

Третий этап завершен.

Пункт 3.3.1.1 - Окно «Mesh Tool».
Пункт 3.3.1.2 - Задать размеры ячейки сетки.

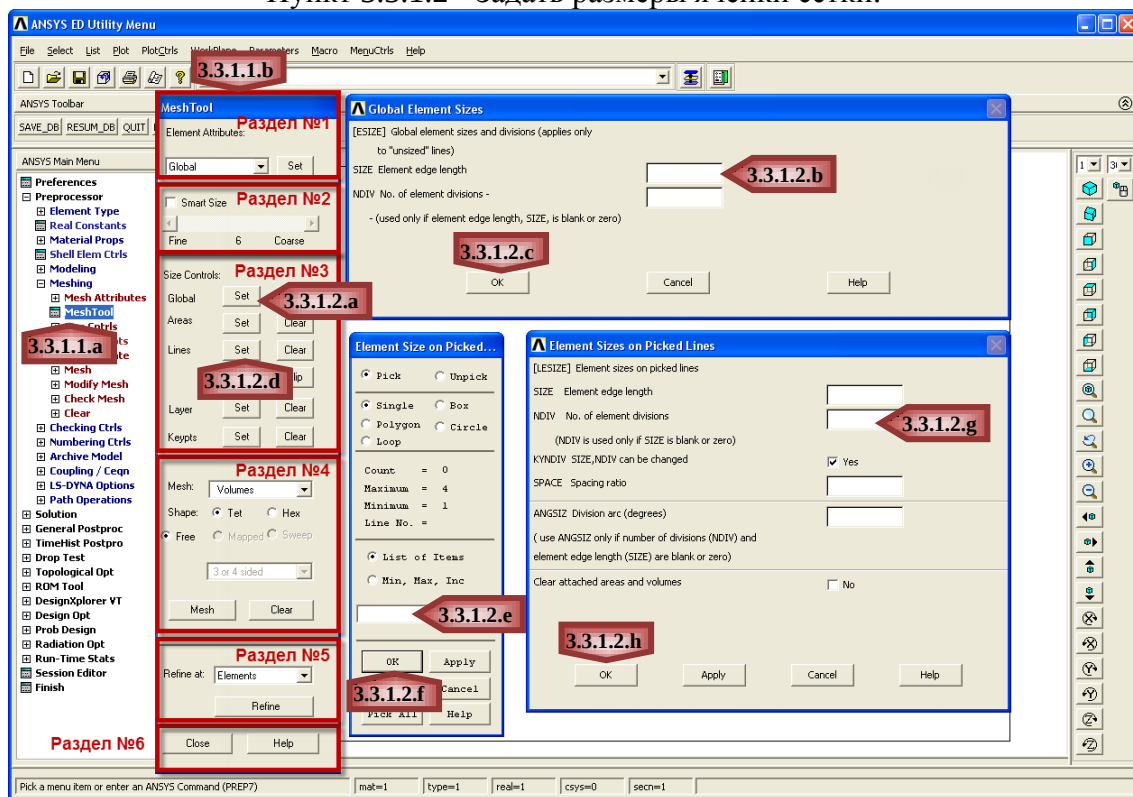
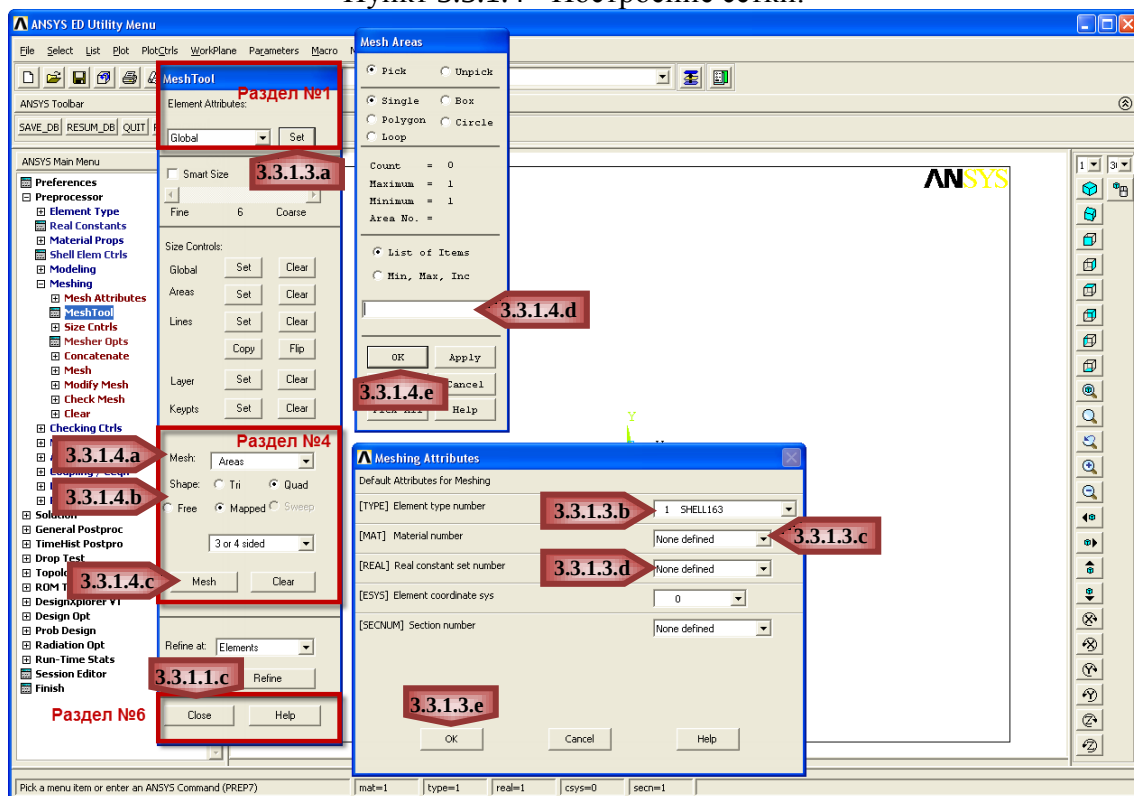


Рисунок 3.3 – Окно «Mesh Tool». Задать размеры ячейки сетки.

Пункт 3.3.1.3 - Выбор атрибутов сетки.

Пункт 3.3.1.4 - Построение сетки.



Пункт 3.3.2.1 - Выбрать элемент геометрии, для которого создается часть.

Пункт 3.3.2.2 - Создать часть для выбранного элемента геометрии.

Пункт 3.3.2.3 - Создать все части.

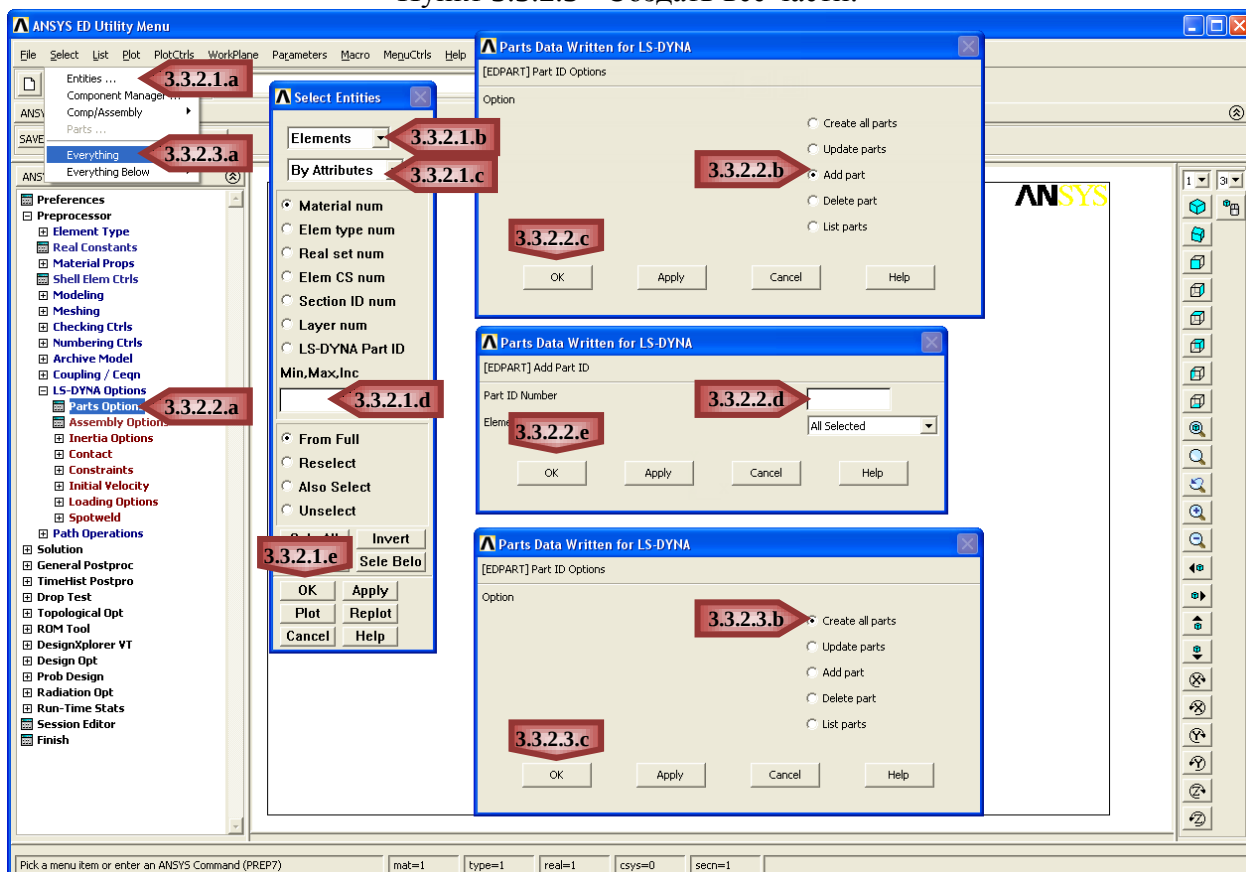


Рисунок 3.4 – Построение сетки. Создание частей.

3.4 Заключительные параметры расчета.

К заключительным параметрам расчета относятся: определение контактной пары и задание коэффициента трения, задание нагрузок, определение времени расчета и т.п.

3.4.1 Задание контактной пары.

3.4.1.1.a. ANSYS Main Menu → Preprocessor → LS-DYNA Options → Contact → Define Contact;

3.4.1.1.b. В появившемся окне «Contact Parameter Definitions» в разделе «Contact Type» в левой части выбрать «Surface to Surf»;

3.4.1.1.c. В правой части выбрать «Automatic (ASTS)»;

3.4.1.1.d. В строке «Static Friction Coefficient» задать статический коэффициент трения;

3.4.1.1.e. В строке «Viscous Friction Coefficient» задать коэффициент вязкостного трения (вычисляется как отношение предела текучести материала на корень из трех - $k = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}}$);

3.4.1.1.f. В строке «Viscous Damping Coefficient» задать коэффициент демпфирования вязкостного трения (задать процент от критического значения, рекомендовано – 20 %);

3.4.1.1.g. Нажать «OK».

3.4.1.1.h. В появившемся окне «Contact Options» в строке «Contact Component or Part no.» выбрать номер части для контакта;

3.4.1.1.i. В строке «Target Component or Part no.» выбрать номер части для контакта;

3.4.1.1.j. Нажать «OK» или «Apply», в зависимости от задачи.

Дополнительные свойства контакта.

3.4.1.1.k. ANSYS Main Menu → Preprocessor → LS-DYNA Options → Contact > Advanced Controls;

3.4.1.1.l. В появившемся окне «Advanced Controls» в строке «SS Shell Thickness Change Opt» выбрать «Thk Change Incl».

3.4.1.1.m. Нажать «ОК».

3.4.2 Задание нагрузок.

Задание нагрузок осуществляется в два этапа:

- **задать имя параметра нагружения и значение параметра нагружения;**
- **объединить параметры в график.**

3.4.2.1 Задать имя и значения параметра нагружения.

3.4.2.1.a. ANSYS Utility Menu → Parameters → Array Parameters → Define/Edit ...;

3.4.2.1.b. В появившемся окне «Array Parameters» нажать «Add ...»;

3.4.2.1.c. В появившемся окне «Add New Array Parameter» в строке «Parameter name» задать имя параметра;

3.4.2.1.d. Нажать «ОК»;

3.4.2.1.e. В окне «Array Parameters» выбрать имя параметра;

3.4.2.1.f. Нажать «Edit...»;

3.4.2.1.g. В появившемся окне «Array Parameter «имя параметра»» в разделе «Selected: NONE» в ячейке с номером поставить значения параметра;

3.4.2.1.h. В окне «Array Parameter «имя параметра»» в выпадающем меню «File» выбрать «Apple/Quit»;

3.4.2.1.i. В окне «Array Parameter» нажать «Close».

3.4.2.2 Объединение параметров в график.

3.4.2.2.a. ANSYS Main Menu → Preprocessor → LS-DYNA Options → Loading Options → Specify Loads

3.4.2.2.b. В разделе «Load Labels» выбрать параметр для задаваемой нагрузки;

3.4.2.2.c. В строке «Component name or PART number:» выбрать номер части или имя компонента, на который накладывается нагрузка;

3.4.2.2.d. В строке «Parameter name for time values:» выбрать параметр, обозначающий время (ось X на создаваемом графике);

3.4.2.2.e. В строке «Parameter name for data values:» выбрать параметр, обозначающий нагрузку (ось Y на создаваемом графике);

3.4.2.2.f. Нажать «ОК».

3.4.3 Учет «Hourglass».

Учет «Hourglass» позволяет избежать искривления сетки в процессе расчета.

3.4.3.1.a. ANSYS Main Menu → Solution → Analysis Options → Hourglass Ctrl → Local;

3.4.3.1.b. В появившемся окне «Define Hourglass Material Properties» в строке «Material Reference number» поставить номер материала деформируемого элемента – «1»;

3.4.3.1.c. В строке «VAL1 Hourglass control type» поставить рекомендуемый коэффициент. Для типа элемента «Thin Shell 163» рекомендуемый коэффициент – «4».

3.4.3.1.d. В строках «VAL5 Shell bending coefficient» и «VAL6 Shell warping coefficient» поставить рекомендуемый коэффициент – «0.1».

3.4.3.1.e. Нажать «ОК».

3.4.4 Задание времени расчета.

3.4.4.1.a. ANSYS Main Menu → Solution → Time Controls → Solution Time;

3.4.4.1.b. В появившемся окне «Solution Time for LS-DYNA Explicit» в строке «[TIME] Terminate at Time:» поставить время расчета;

3.4.4.1.c. Нажать «ОК».

3.4.5 Выбор формата записи решения.

3.4.5.1.a. ANSYS Main Menu → Solution → Output Controls → Output file Types;

3.4.5.1.b. В появившемся окне «Specify Output File Types for LS-DYNA Solver» в строке «Produce output for...» выбрать выходной формат для записи результатов решения;

3.4.5.1.c. Нажать «ОК».

3.4.6 Задание количества шагов расчета.

3.4.6.1.a. ANSYS Main Menu → Solution → Output Controls → File Output Freq → Number of Steps;

3.4.6.1.b. В появившемся окне «Specify File Output Frequency» в разделе «[EDHTIME] Specify Time-History Output Interval:» в строке «Number of Output Steps» ввести количество шагов;

3.4.6.1.c. Нажать «OK».

3.4.7 Запуск задачи на расчет.

3.4.7.1.a. ANSYS Main Menu → Solution → Solve;

3.4.7.1.b. В появившемся окне «Solve Current Load Step» нажать «OK».

Созданная база передается на расчет в модуль LS-DYNA. Окончание расчета – окно «Solution is done!».

3.4.1 Задание контактной пары.

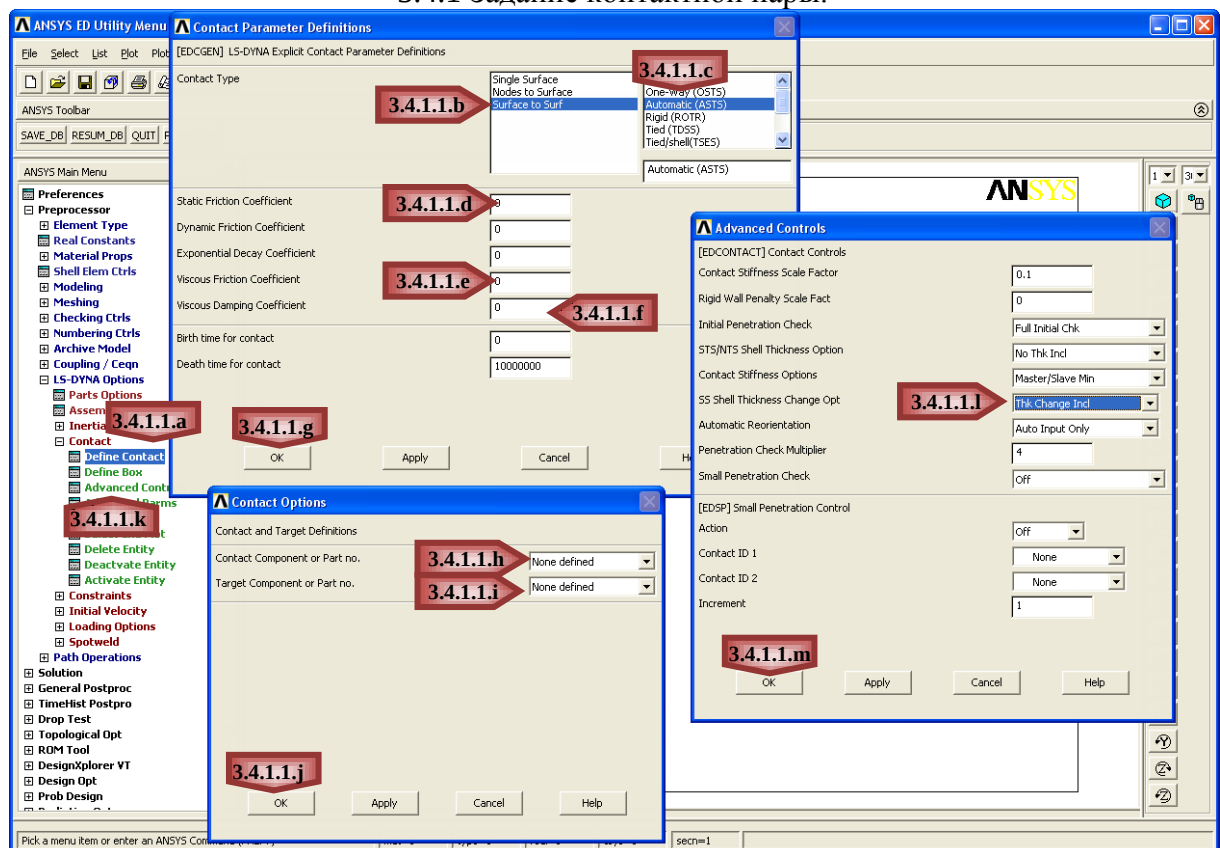


Рисунок 3.5 – Задание контактной пары.

3.4.2.1 Задать имя и значения параметра нагружения.

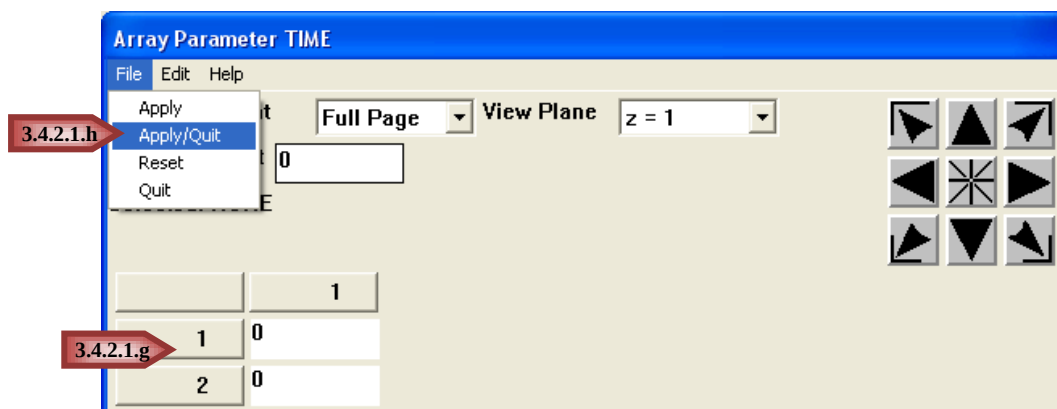
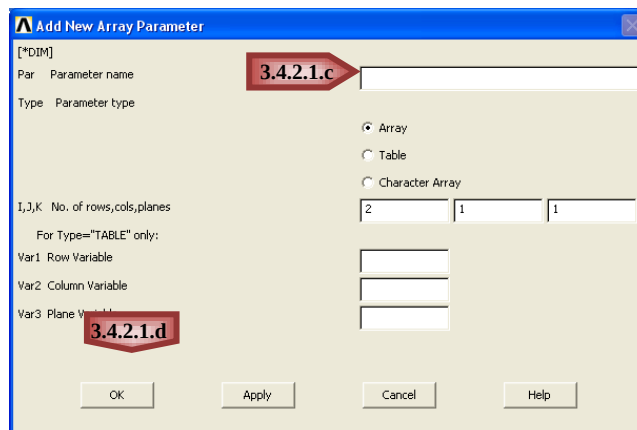
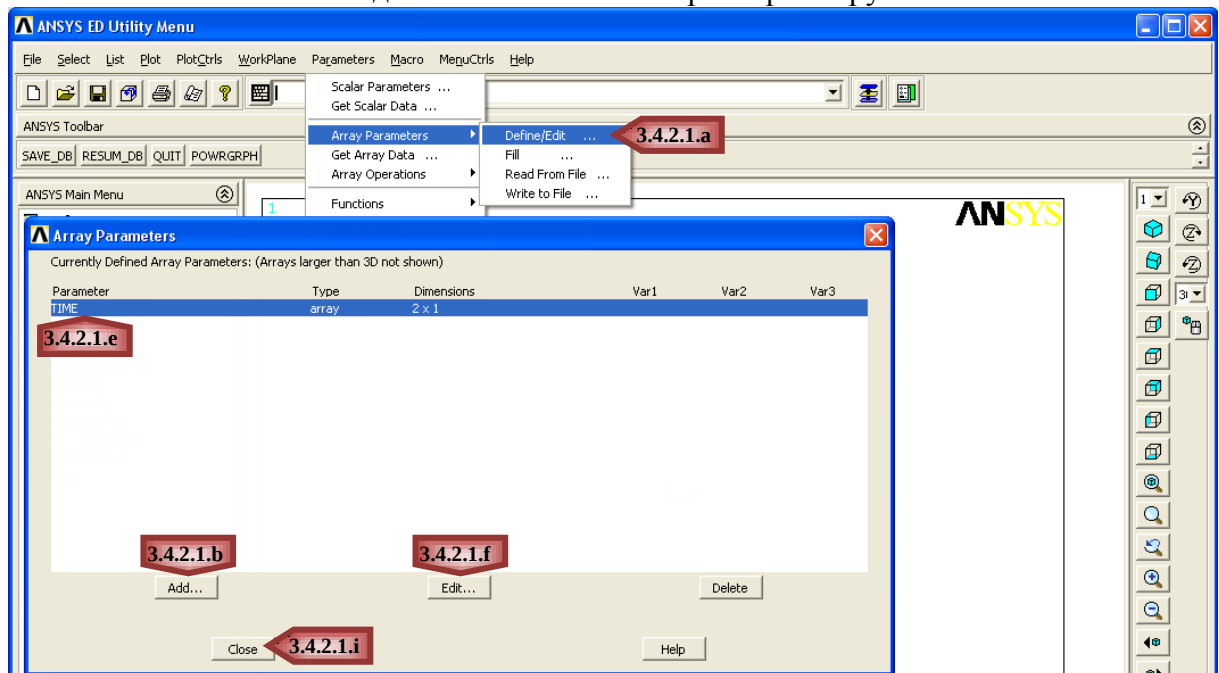
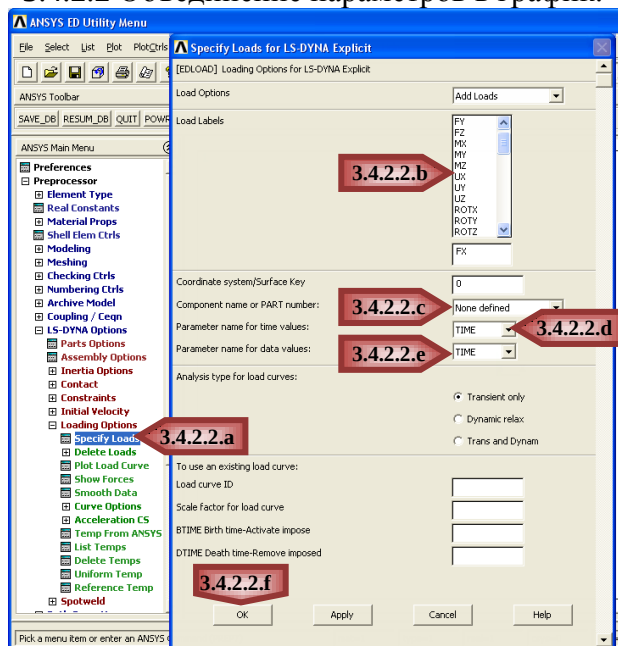
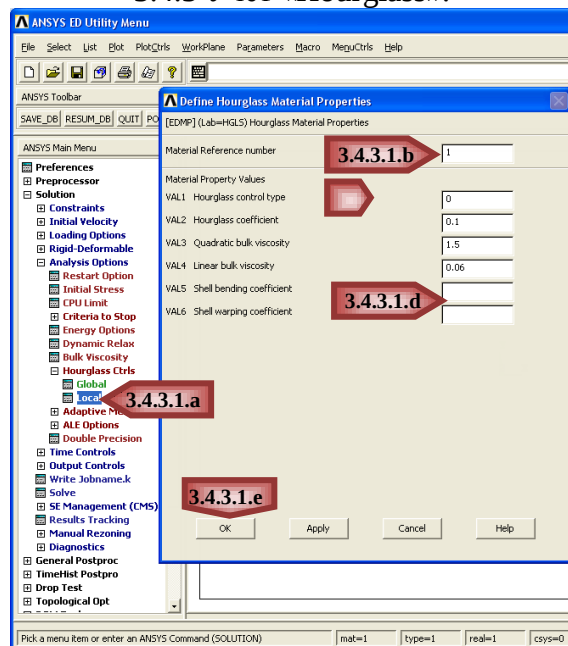


Рисунок 3.6 – Задание контактной пары.

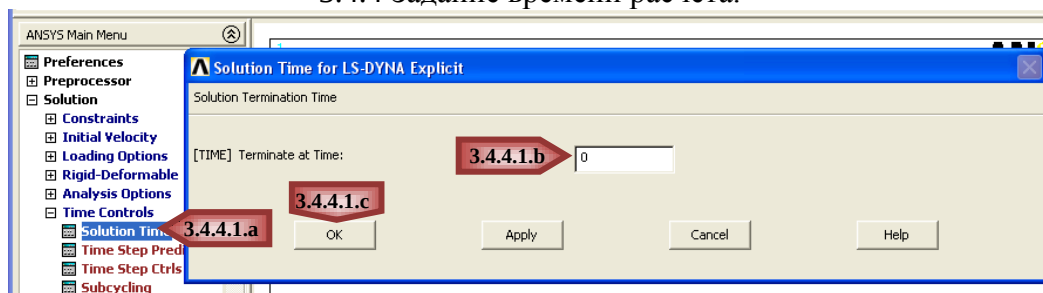
3.4.2.2 Объединение параметров в график.



3.4.3 Учет «Hourglass».



3.4.4 Задание времени расчета.



3.4.5 Выбор формата записи решения.

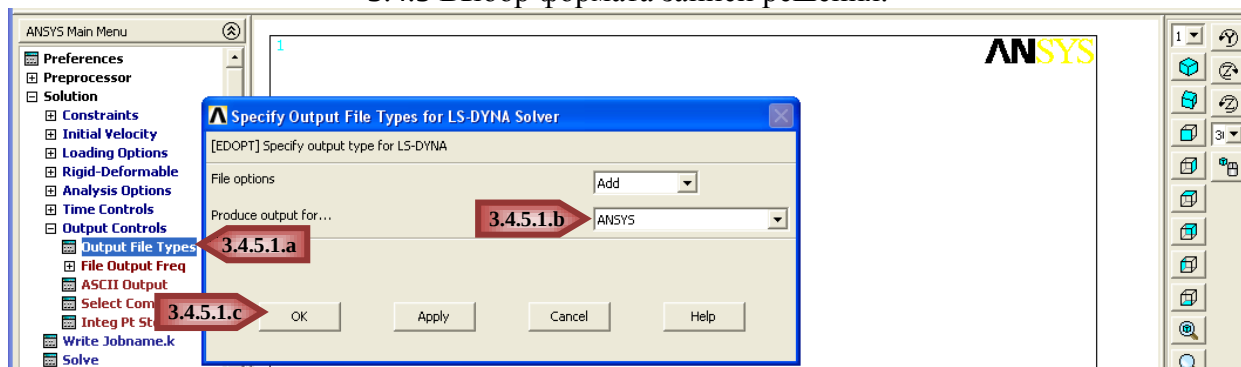
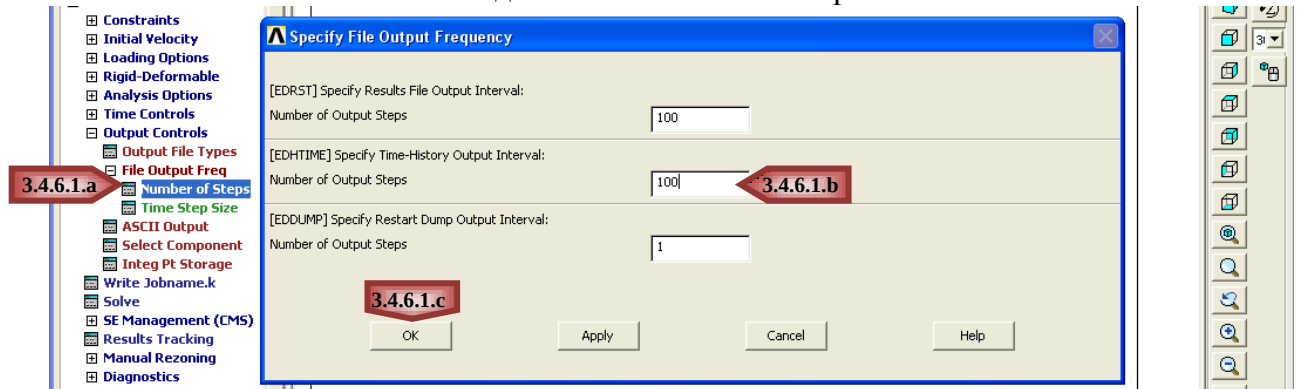


Рисунок 3.7 – Объединение параметров в график. Учет «Hourglass». Задание времени расчета. Выбор формата записи решения.

3.4.6 Задание количества шагов расчета.



3.4.7 Запуск задачи на расчет.

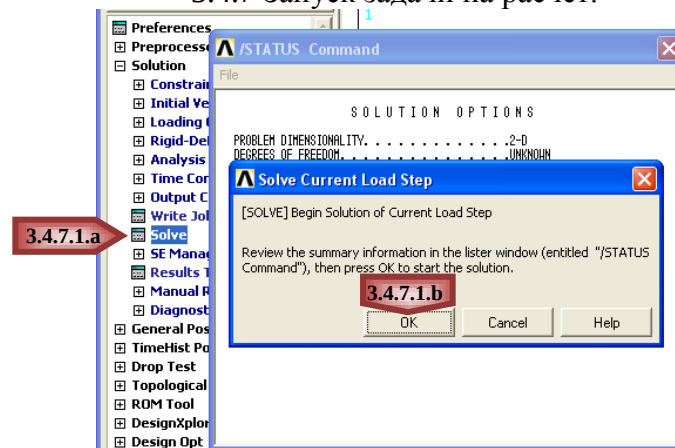


Рисунок 3.8 – Задание количества шагов расчета. Запуск задачи на расчет.

4 Постпроцессорная обработка результатов моделирования в ANSYS.

Показана постпроцессорная обработка результатов моделирования в ANSYS.

Загрузка рассчитанной базы, масштабирование изображения, захват изображения, создание анимации.

Показано отображение основных параметров:

эпюры интенсивности напряжений, эпюры интенсивности деформаций.

4.1 Загрузка рассчитанной базы данных.

4.1.1 Загрузка рассчитанной базы данных.

4.1.1.1.a. ANSYS Main Menu → General Postproc → Data & File Options;

4.1.1.1.b. В появившемся окне «Data and File Options» в строке «Results file to be read» «Read single result file» нажать «...»;

4.1.1.1.c. В появившемся окне «Открыть» выбрать файл с расширением ««имя файла».rst» (для примера показана база результатов расчетов с именем «0»);

4.1.1.1.d. Нажать «Открыть»

4.1.1.1.e. Нажать «ОК».

4.1.2 Просмотр шагов расчета и времени каждого шага.

4.1.2.1.a. ANSYS Main Menu → General Postproc → Results Summary;

4.1.2.1.b. В появившемся текстовом окне «SET.LIST Command» в первом столбце «SET» прописано количество шагов, во втором столбце «TIME/FREQ» прописано время каждого шага.

4.1.2.1.c. Закрыть окно «SET.LIST Command».

4.1.3 Чтение результатов с указанием шага расчета.

4.1.3.1.a. ANSYS Main Menu → General Postproc → Read Results → By Pick;

4.1.3.1.b. В окне «Results File: «имя результатов расчета»» выбрать шаг загрузки;

4.1.3.1.c. Нажать «Read»;

4.1.3.1.d. Нажать «Close».

4.1.4 Отображение геометрии деформированной детали и заготовки.

4.1.4.1.a. ANSYS Main Menu → General Postproc → Plot Results → Deformed Shape;

4.1.4.1.b. В появившемся окне «Plot Deformed Shape» поставить точку «Def + undeformed»;

4.1.4.1.c. Нажать «OK».

4.1.5 Отображение величины истинных перемещений.

4.1.5.1.a. ANSYS Utility Menu → PlotCtrls → Style → Displacement Scaling ...;

4.1.5.1.b. В появившемся окне «Displacement Display Scaling» в разделе «DMULT Displacement scale factor» поставить точки «1.0 (true scale)»;

4.1.5.1.c. Нажать «OK».

4.2 Отображение эпюр интенсивности напряжений и деформаций.

4.2.1 Отображение эпюры интенсивности напряжений.

4.2.1.1.a. ANSYS Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu;

4.2.1.1.b. В появившемся окне «Contour Nodal Solution Data» в разделе «Item to be contoured»: папка «Nodal Solution» → Stress → von Mises stress;

4.2.1.1.c. Нажать «OK».

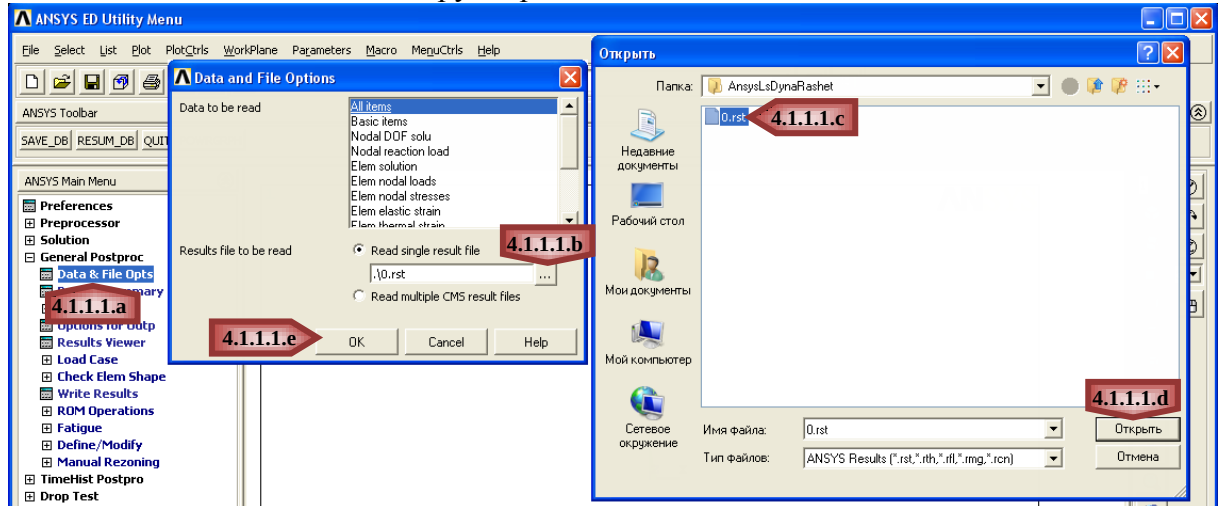
4.2.2 Отображение эпюры интенсивности деформаций.

4.2.2.1.a. ANSYS Main Menu → General Postproc → Plot Results → Contour Plot → Nodal Solu;

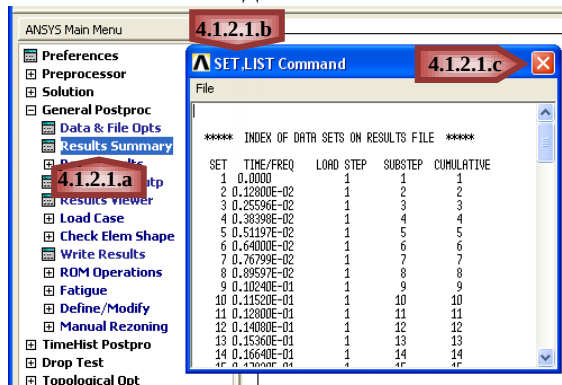
4.2.2.1.b. В появившемся окне «Contour Nodal Solution Data» в разделе «Item to be contoured»: папка «Nodal Solution» → Plastic Strain → von Mises plastic strain;

4.2.2.1.c. Нажать «OK».

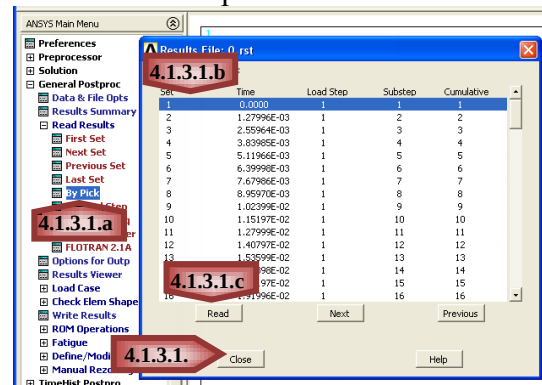
4.1.1 Загрузка рассчитанной базы данных.



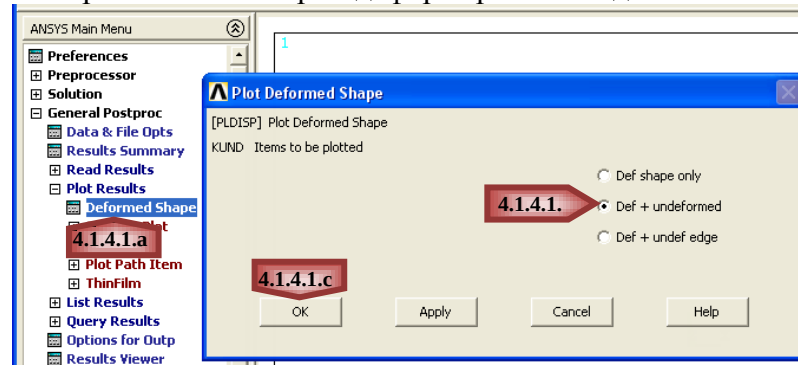
4.1.2 Просмотр шагов расчета и времени каждого шага.



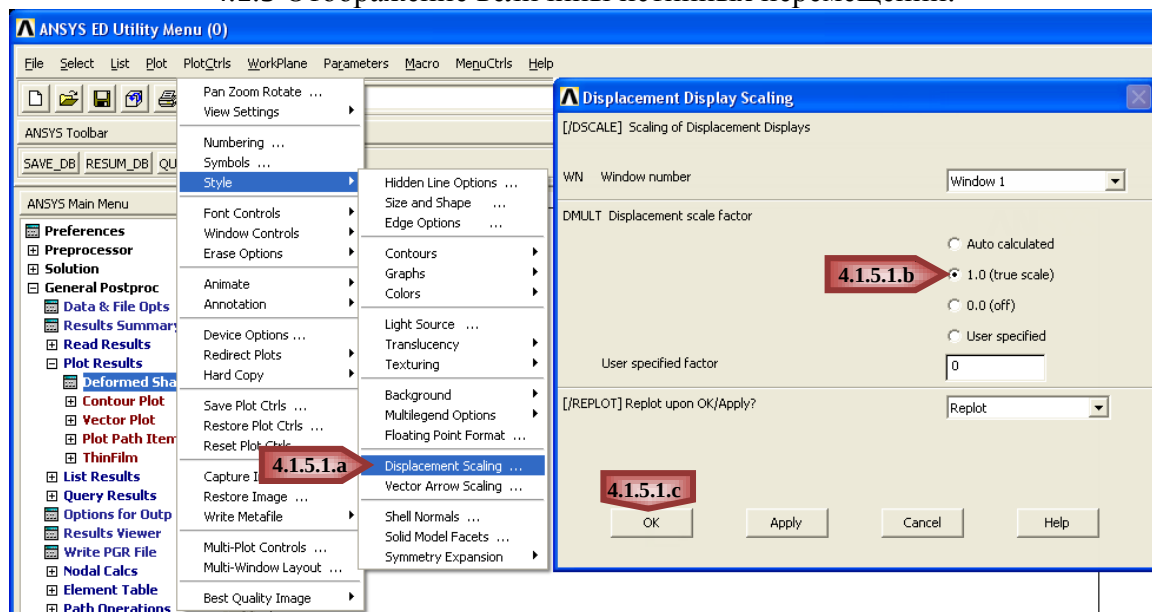
4.1.3 Чтение результатов с указанием шага расчета.



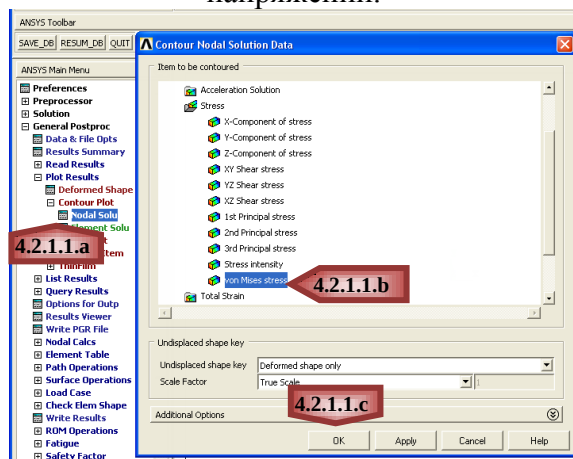
4.1.4 Отображение геометрии деформированной детали и заготовки.



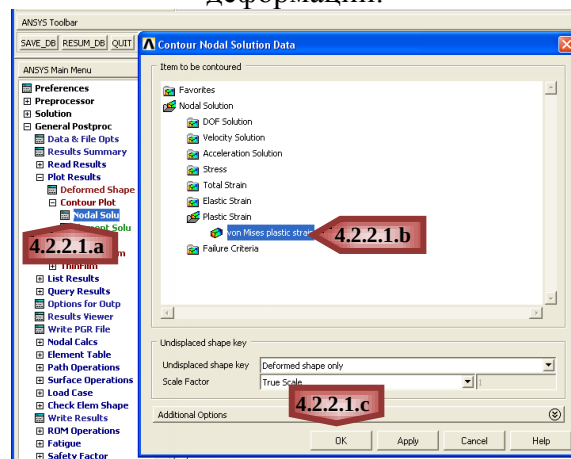
4.1.5 Отображение величины истинных перемещений.



4.2.1 Отображение эпюры интенсивности напряжений.



4.2.2 Отображение эпюры интенсивности деформаций.



5 Методика расчета предельной степени деформации с использованием критерия Колмогорова

Предельная степень деформации это деформация, после которой наступает разрушение материала. В качестве критерия оценки предельной степени деформации используется критерий Колмогорова. Выполняется сравнение интенсивность накопленной деформации на данной стадии процесса с предельной степенью деформации, при которой наступает разрушение материала.

По Колмогорову образование трещины происходит при условии, когда интенсивность накопленной деформации достигает величины критической деформации, при данной схеме напряженного состояния.

$$\psi = \frac{\int_0^t d\varepsilon_i}{\varepsilon_p^{кр}} = 1$$

где:

ψ – критерий Колмогорова;

ε_i – интенсивность деформаций;

$\int_0^t d\varepsilon_i$ – накопленная интенсивность деформаций;

σ_i – интенсивность напряжения;

σ_o – среднее напряжение в очаге деформации.

$$\sigma_o = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3},$$

Предельная степень деформации рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon_p^{кр} = 2\delta_p \exp \left[-2.16 \frac{\sigma_o}{\sigma_i} \right],$$

где

$\varepsilon_p^{кр}$ – предельная степень деформации для данной схемы напряженного состояния, %;

δ_p – значение относительного удлинения образца, полученное при испытаниях на растяжение, %.