

20МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»  
(КНИТУ-КАИ)

Институт авиации, наземного транспорта и энергетики (ИАНТЭ)

(наименование института (факультета), филиала)

Кафедра производства летательных аппаратов

(наименование кафедры)

Направление подготовки

24.03.04 «Авистроение»

(шифр и наименование направления подготовки)

Профиль

«Технология производства ЛА»

**К защите допустить**

**Зав. каф. ПЛА**

**В.И. Халиулин**

«12» 06 2020 г.

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА


на тему «Исследование процессов соединения

листового металла различной твердости клинчеванием»

ОБУЧАЮЩИЙСЯ

М.А. Еранов

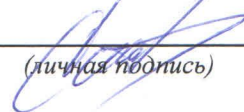
(инициалы, фамилия)

  
(личная подпись)

РУКОВОДИТЕЛЬ

к.т.н., доцент, А.В. Сосов

(ученая степень, звание, инициалы, фамилия)

  
(личная подпись)

Казань 2020

THE MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION  
OF THE RUSSIAN FEDERATION

federal state budgetary educational institution of higher education  
«Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI»  
(KNRTU-KAI)

Institute of Aviation, Land Transportation and Power Engineering

Department for Aircraft Manufacturing

Direction of training 24.03.04 «Aircraft building»  
(code and name of the direction of preparation)  
Major «Aircraft manufacturing technology»

**Approved for diploma protection**

**Head of Department**

**Khaliulin V.I.**

«12» 06 2020 г.

## GRADUATION QUALIFICATION WORK

on the topic « Research of connection processes sheet metal of various hardness by lynching»

STUDENT M. A. Eranov

(инициалы, фамилия)

(личная подпись)

SUPERVISOR Associate professor A. V. Sosov

(ученая степень, звание, инициалы, фамилия)

(личная подпись)

Kazan 2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»  
(КНИТУ-КАИ)

Институт (факультет), филиал Авиации, наземного транспорта и энергетики  
Кафедра Производство летательных аппаратов  
Направление/специальность 24.03.04 «Авиастроение»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ПЛА

В.И.Халиулин

«04» 06 2020г.

ЗАДАНИЕ

выпускной квалификационной работы

Еранов Максим Андреевич

(фамилия, имя, отчество)

1 Тема выпускной квалификационной работы

Разработка способа образования клинч-соединения различных по твердости металлов

утверждена приказом по университету от " 06 " 02 2020 г.  
№ 543-с

2 Срок сдачи обучающимся законченной выпускной квалификационной работы 15.06.2020

3 Исходные данные к выпускной квалификационной работе:

3.1 Отчет о научно-исследовательской работе по договору № 2496/17/07-10 от 16.07.2010 выполняемый в рамках комплексного проекта «Перспективные экологические колесные транспортные средства с высокими потребительскими свойствами и низким уровнем эксплуатационных затрат». Раздел «Технология клинч-соединения». Этапы № 1 – 5. Руководитель договора от КНИТУ-КАИ В.М.Гуреев. Руководители раздела от КНИТУ-КАИ: Н.И.Акишев, И.М.Закиров, А.В.Сосов.

3.2 Моделирование в программном комплексе DEFORM-2D

4 Содержание расчётно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов и исходные данные к ним):

4.1 Анализ состояния разработок в области соединения листовых деталей методом клинчевания и постановка задачи исследования

4.2 Патентный поиск

4.3 Разработка новых схем формирования клинч-соединений

4.4 Моделирование процесса клинчевания в программном комплексе DEFORM-2D

4.5 Определение параметров процесса клинчевания

4.6 Модернизация штампа для формирования клинч-соединений, разработка 3D моделей и конструкторской документации модернизированного штампа

4.7 Отладка штампа

4.8 Изготовление тест-образцов клинч-соединений

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

5.1 Обзор существующих схем клинчевания и постановка задачи исследования

5.2 Новые схемы формирования клинч-соединений

5.3 Результаты моделирования формирования клинч-соединений в программном комплексе DEFORM-2D


5.4 Модернизированный штамп для формирования клинч-соединения

5.5 Тест-образцы клинч-соединений

## Календарный план

№ п/п	Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов выпускной квалификационной работы	Примечание
1	Начало прохождения преддипломной практики.	9.02.2020	
2	Окончание преддипломной практики и сдача отчетов.	8.06.2020	
3	Сдача руководителю основной части выпускной квалификационной работы.	9.06.2020	
4	Новые схемы формирования клинч-соединений	10.06.2020	
5	Моделирование процесса клинчевания в программном комплексе DEFORM-2D	11.06.2020	
6	Модернизация штампа для формирования клинч-соединений	12.06.2020	
7	Оформление пояснительной записки выпускной квалификационной работы	13.06.2020	
8	Сдача выпускной квалификационной работы на антиплагиат.	15.06.2020	
9	Предзащита выпускной квалификационной работы.	17.06.2020	
10	Защита выпускной квалификационной работы.	20.06.2020	

Обучающийся \_\_\_\_\_



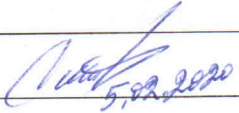
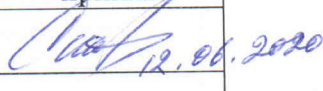
М.А.Еранов

Руководитель \_\_\_\_\_



А.В.Сосов

6 Консультанты по проекту (работе) (с указанием относящихся к ним разделов):

Раздел	Консультант (фамилия и инициалы)	Подпись, дата	
		Задание выдал	Задание принял
Общий	Сосов А.В	 05.02.2020	 12.06.2020

7 Дата выдачи задания 05.02.2020

Руководитель проекта \_\_\_\_\_

(подпись)



Сосов А.В.

(фамилия и инициалы)

Задание к исполнению принял \_\_\_\_\_

(подпись)



Примечание.

1 Задание прилагается к законченному выпускной квалификационной работы и вместе с пояснительной запиской представляется в ГЭК.

2 Перед началом выполнения выпускной квалификационной работы обучающийся разрабатывает календарный план работы с указанием очередности выполнения отдельных этапов, согласовывает его с руководителем выпускной квалификационной работы.

## АННОТАЦИЯ

К выпускной квалификационной работе на тему «Исследование процессов соединения листового металла различной твердости клинчеванием».

Работа включает в себя: 73 – страниц, 4 – таблицы, 9 – использованных источников, 77 – рисунка.

Ключевые слова: клинчевание, соединения, зацеп, пластическая деформация.

Цель работы – разработка новой схемы формирования клинч-соединения обеспечивающего возможность соединения двух пластин существенно разной твердости, а также оптимизация существующего оборудования для исследования технологического исследования клинчевания.

Объектом исследования является технология соединения элементов конструкций из листового металла методом клинчевания, основанная на холодном местном деформировании материала с образованием взаимозацепляемого замка «зацепа».

Проведены теоретические исследования образования оптимального клинч-соединения в программном комплексе DEFORM-2D.

Предложена новая схема формирования клинч-соединения.

## ANNOTATION

To the final qualifying work on the topic "Research of processes of joining sheet metal of different hardness by clinching".

The work includes: 73 pages, 2 tables, 9 references, 71 figures.

Keywords: clinching, connections, hook, plastic deformation.

The aim of the work is to develop a new scheme for forming a clinch joint that allows the connection of two plates of significantly different hardness, as well as to optimize existing equipment for the study of technological research of clinching.

The object of research is the technology of joining elements of sheet metal structures by clinching, based on cold local deformation of the material to form an inter-locking "hook".

Theoretical studies of the formation of an optimal clinch connection in the DEFORM-2D software package are carried out.

A new scheme for forming a clinch connection is proposed.



## Содержание

Введение	10
Анализ возможных способов формирования клинч-соединения на основе литературы и проведения патентного поиска	11
Постановка задачи исследования	21
Разработка способа формирования клинч-соединения существенно разных по твердости материалов и толщины	22
Проведение расчетов клинч соединений по предложенному способу и определение наиболее оптимальных вариантов	27
Параметрические исследования соединений с различной геометрией отверстия в материале большей твердости	52
Экспериментальное исследование клинч-соединения	66
Заключение	70
Список использованной литературы	71

## Введение

Применение метода соединения листового материала способом клинчевания используется в мировой практике уже достаточно длительное время. Имея множество достоинств данного метода, происходит постоянное его совершенствование и развитие.

Наибольший успех в развитии данного метода достигли немецкие фирмы такие как (BTM, Voellhoff, Escold, Tox) Большим количеством патентов подтверждается интерес к данному методу в США. В патентах просматривается тенденция дальнейшего развитие метода [5],[6].

В России также имеются отдельные опытные разработки и внедрения технологии создания клинч-соединения, которые применяются в различных отраслях промышленности [3].

Применительно к авиационной тематике, важно создать технологию клинч-соединения, которая бы максимально отвечала требованиям прочности, надежности и минимума веса. Для решения данной задачи требуется научный подход, основанный на математическом моделировании технологического процесса и проверки адекватности модели на экспериментальных установках.

## **1. Анализ возможных способов формирования клинч-соединения на основе литературы и проведения патентного поиска.**

Клинчевание - это процесс соединения элементов конструкций из листового металла, основанный на холодной местной деформации материала с образованием взаимозацепляемого замка - «зацепа» (клинч-соединения).

Основными достоинствами данного способа соединения, перед другими похожими способами получения неразъёмных соединённых, является:

- формирование соединения холодным прессованием («вхолодную»);
- отсутствие дополнительных соединительных элементов;
- возможность соединения разнородных материалов;
- возможность соединения деталей с наличием герметизирующих материалов между листами;
- отсутствие дополнительных обработок (травление, защита от коррозии);
- высокие прочностные характеристики соединения;
- отсутствие температурных нагрузок в зоне соединения;
- относительно невысокие энергозатраты;
- легкая воспроизводимость процесса;
- возможность автоматизации процесса;
- невысокие расходы на обслуживание;
- отсутствие дополнительной массы от крепежных деталей (замыкающие головки);
- безопасность для окружающей среды (отсутствие выделений газов);
- бесшумность;

- меньшая чувствительность к величине зазора между соединяемыми деталями.

К недостатку данного вида соединения относятся:

Не высокая прочность при работе на срез и отрыв.

При таком обилии положительных качеств данного соединения, различными производствами проявляется безусловный интерес. В результате во всем мире на сегодняшний день выпущено не менее 7 патентов, а также десятки научных трудов посвященных исследованию технологии формирования и внедрения клинч-соединения. Некоторые из них приведены ниже.

Один из первых патентов на технологию создания клинч-соединения был выпущен в США в 1980г (патент US20100018278).

В основу патента US20100018278 было заложено технологическое устройство (рис.1), состоящее из: клинч инструмента (20) для создания соединения первой металлической заготовки (11) со второй металлической заготовкой (12). Инструмент состоит из пуансона (20) и противоинструмента (30), которые вместе образуют соединение путем локального пластического изменения формы или деформации металлических деталей (11, 12) клинч-соединения (13), которое соединяет первую металлическую заготовку (11) и вторую металлическую заготовку (12). Инструмент (20), имеет боковую поверхность (25), расположенную концентрически относительно оси вращения (24). Боковая поверхность (25) имеет переднюю торцевую поверхность (23), перпендикулярную оси вращения (24). Фланец (25) имеет коническую форму, по меньшей мере, в нижней переходной области (21) и имеет угол наклона к боковой поверхности ( $W$ ,  $W_1$ ,  $W_2$ ) не менее или равной 10 градусам, но предпочтительно, меньше или равного 5 градусам.

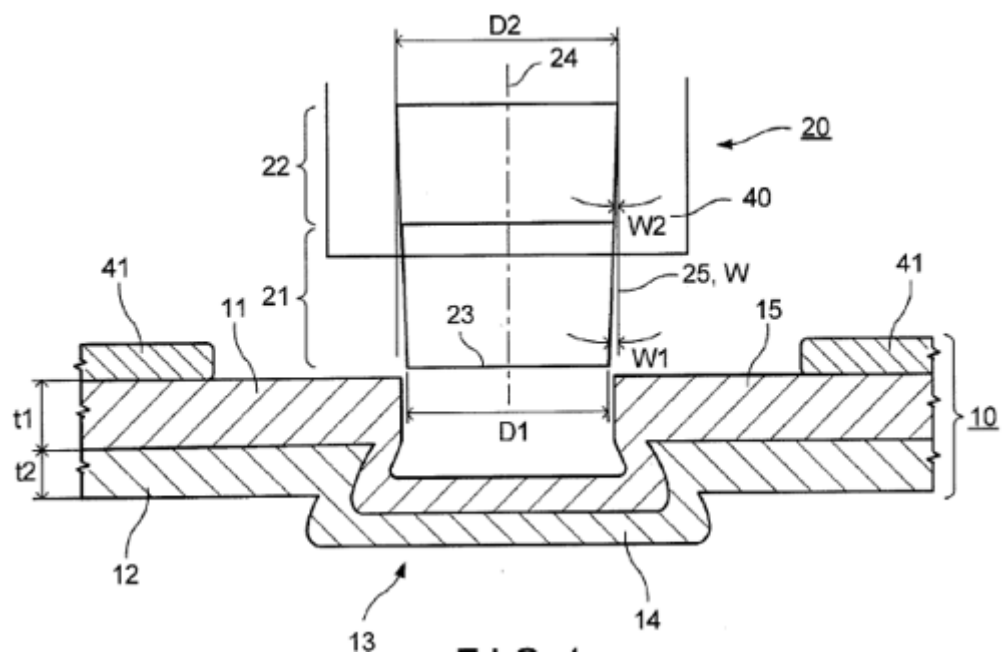


Рис. 1.1 Технологическое устройство для создания клинч-соединения

На рис 1.2 показан процесс получения клинч-соединения.

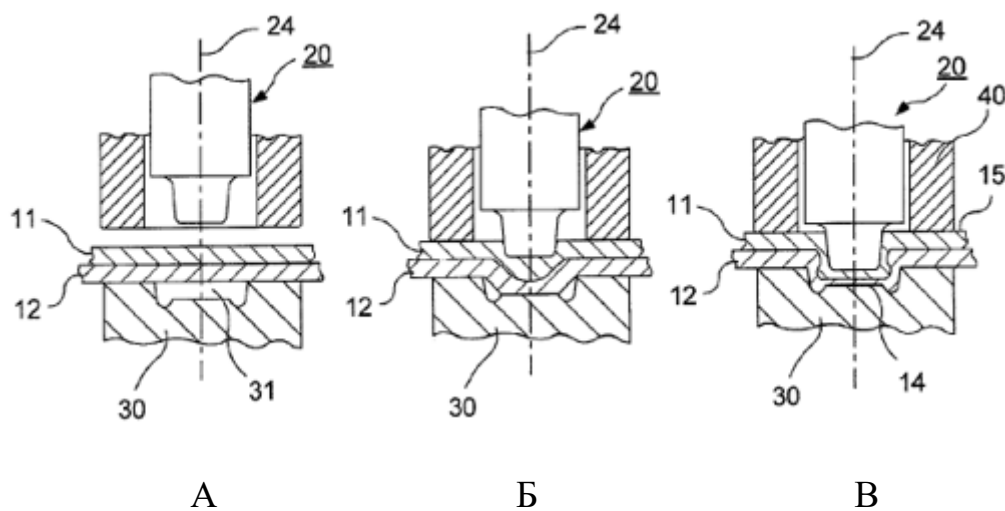


Рис 1.2 Этапы создания клинч-соединения

На схематической иллюстрации показано:

А) первый этап процесса, на котором позиционируются два соединяемых листовых материала;

Б) второй этап процесса сдавливания, в соответствии с патентом, на котором происходит деформация двух листов до полного заполнения углубления в матрице 30.

В) третий, завершающий этап клинчевания на схематической иллюстрации, на которой показано полное заполнение углубления матрицы 30.

Согласно изобретению, пластины, профильные элементы и другие металлические компоненты или металлические заготовки различной толщины и разных материалов могут быть соединены вместе. Соединение двух металлических заготовок происходит исключительно в процессе клинчевания и непосредственно из этого же материала или материалов соединяемых. Элементы, соединенные клинчеванием, называются клинчеванными.

Достоинство изобретения состоит в том, что способ позволяет клинчевать пластину с толщиной более 4 миллиметров, при низких усилиях максимально возможной толщиной шейки, чтобы обеспечить соответственно высокую прочность клинч-соединения. Кроме того, предложен соответствующий инструмент и оптимизировано его использование.

Настоящее изобретение, отличается тем, инструмент, который погружается в металлические заготовки 11 и 12 имеет коническую форму. Пуансон погружается на длину  $L$ , на часть длинны пластин 11, 12. Коническая форма создается из-за того, что боковая поверхность 25 пуансона, см. Рис. 1, имеет коническую форму в нижней переходной области 21 к поверхности 23. Угол  $W1$  боковой поверхности, равен 10 градусам, но предпочтительнее 5 градусов. Угол  $W2$  на Рис. 1 боковой

поверхности верхней части 22 равен нулю градусов, но может быть не более 5 градусов.

К недостатку данного изобретения можно отнести:

- невозможность соединения пластин с существенным различием в механических свойствах (твердости) материалов, поскольку при образовании зацепа быстрее произойдет разрушение менее прочного материала;

- невозможность соединения пластин с существенным различием толщины материалов, поскольку для создания зацепа к толстому материалу необходимо приложить большие усилия для его пластической деформации. Большие усилия для тонкого материала могут оказаться разрушительными;

- зацеп имеет небольшую площадь замыкающей головки, что сказывается на уменьшении несущей способности соединения при работе на отрыв;

- замыкающая головка выступает над плоскостью соединяемого материала, что ухудшает эстетические и конструктивные характеристики изделия;

В другом патенте (RU 2590 424 C1), представляющего интерес для анализа, предлагается видоизмененная конструкция технологического устройства для создания клинч-соединения.

В данном патенте предлагается инструмент для соединения деталей из листового металла клинчеванием, позволяющего расширить технологические возможности его за счет увеличения степени взаимного зацепления соединяемых листов, что позволяет повысить качество и прочность их соединения путем конструктивной рационализации формы элементов инструмента, обеспечивающей более благоприятные условия течения металла в зоне формообразования, позволяющей получить

качественное и прочное, в виде конусообразного элемента, взаимозацепляющееся замковое соединение.

Инструмент для соединения деталей из листового металла клинчеванием, состоит из пуансона и матрицы (фиг. 1). Матрица инструмента включает основание 1 с центральным отверстием, имеющим в верхней части форму конического гнезда для размещения разъемной части матрицы, состоящей из двух губок 2 и 3, содержащих в торцевой части углубления, образующие рабочую полость.

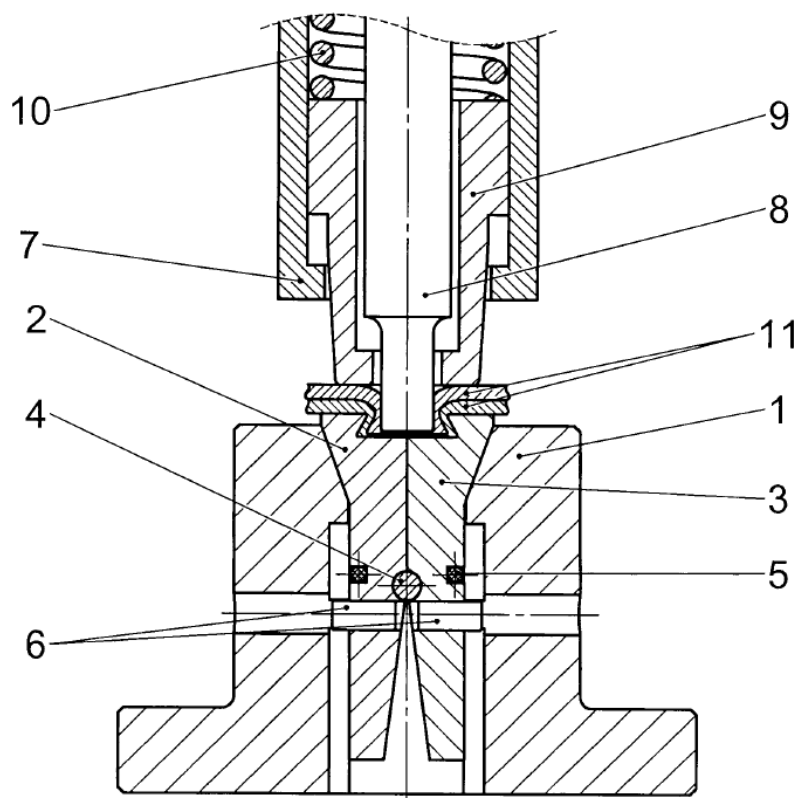


Рис. 1.3 Схема-чертеж иллюстрирующую работу инструмента с разъемной матрицей

На цилиндрическом участке наружной поверхности губок 2 и 3 выполнена проточка, в которой размещен кольцевой упругий элемент 5. В стенке цилиндрической части центрального отверстия основания 1 выполнены диаметрально противоположно ориентированные направляющие пазы, в которых находятся свободные концы штифтов 6, установленных в стенках губок 2 и 3. Пуансон инструмента включает



размещенную в корпусе 7 рабочую часть 8, охватываемую прижимом 9, находящимся под действием пружины 10. В начальной стадии формообразования при опускании пуансона за счет опережающего воздействия прижима 9 через плоские участки соединяемых деталей 11 на наружные торцовые поверхности губок 2 и 3 происходит их фиксация в коническом гнезде основания 1 матрицы с образованием замкнутой жесткой рабочей полости. При дальнейшем ходе рабочей части пуансона 8 осуществляется формирование конусообразного, по форме полости, элемента замкового соединения («пуговицы»). При обратном ходе пуансона прижим 9, исполняя роль съемника, освобождает его рабочую часть 8 от контакта с соединенными деталями 11, остающимися в полости матрицы. Собранный таким образом конструкция может быть извлечена подъемом из полости матрицы известными приемами. При этом она за счет сил трения и конусности «пуговицы» поднимает губки 2 и 3 до положения упора штифтов 6 в торцовые поверхности направляющих пазов. Дальнейший подъем заставляет губки за счет наличия плеча силы поворачиваться вокруг оси шарнира 4, раскрываясь на угол, определенный двойной величиной угла скоса губок. Разведенные при съеме губки 2 и 3 за счет обратной деформации упругого элемента 5 смыкаются и под действием силы тяжести опускаются в коническое гнездо основания 1 матрицы.

Главным достоинством данного патента является повышение прочностных характеристик клинч-соединения при работе на отрыв, за счет увеличения площади головки (пуговицы).

Но, выше упомянутые проблемы, а именно:

- невозможность соединения пластин с существенным различием в механических соединяемых материалов поскольку при образовании зацепа быстрее произойдет разрушение менее прочного материала;

- невозможность соединения пластин с существенным различием толщины материалов, поскольку для создания зацепа из толстого материала необходимо приложить большие усилия для его пластической деформации. Большие усилия для тонкого материала могут оказаться разрушительными;

- замыкающая головка выступает над плоскостью соединяемого материала, что ухудшает эстетические и конструктивные характеристики изделия.

Интересным является другое изобретение (US 4,584,753), которое позволяет решить ряд проблем изложенных выше. Главной отличительной чертой предлагаемого устройства, является наличие концентрического отверстия на одном из соединяемых листов.

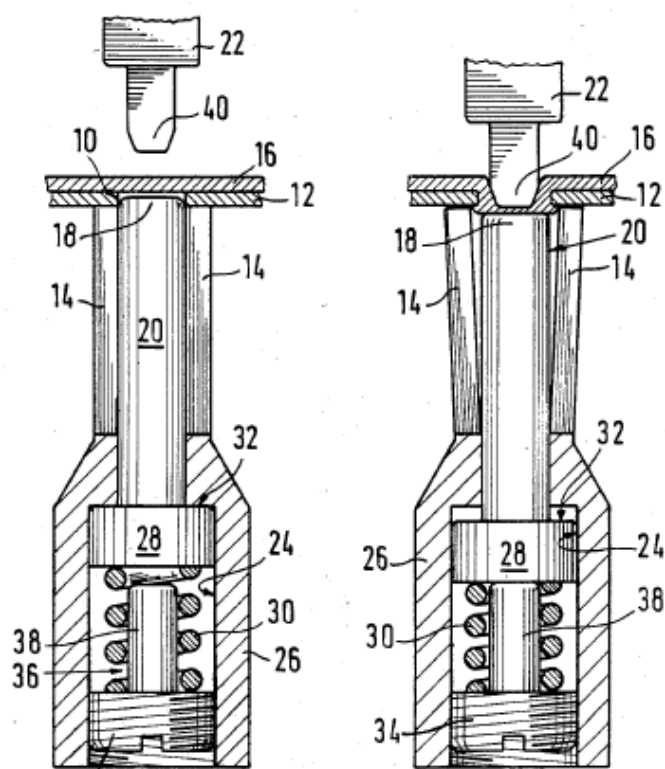


Рис. 1.4 Устройство для создания клинч-соединения листов с отверстием

Как показано на рис. 4, второй или нижний лист 12, который содержит отверстие 10, поддерживается опорными элементами 14 матрицы. Первый или верхний лист 16 опирается на второй лист 12 с поверхностным зацеплением между ними. Головка 18 наковальни 20

входит в отверстие 10, но не более чем на глубину толщины этого нижнего листа 12. Пуансон 18 находится в отверстии 10 образованное в детали. Наковальня 20 имеет основание или корневую часть 28, которая скользящим образом направляется в отверстие 24, которое находится в базовом элементе 26, который образует матрицу. Наковальня 20 смещена наружу от отверстия 24 по направлению к пуансону 22 через отдельное отверстие, для того чтобы получить наковальню 20 с помощью пружины сжатия 30, и для вертикального перемещения вверх останавливаемая кромкой детали 32, когда это часть упирается в кромку, образованную в базовом элементе 26 вокруг цилиндрического отверстия в котором скользит наковальня 20. Другой конец пружины 30, противоположный наковальне 20, поддерживается болтом 34, который имеет наружную резьбу для зацепления по внутренней резьбе, образованной на внешней части 24 базового элемента 26. Ограничивающая часть 38 проходит вверх от болта 34 через внутреннюю часть пружины 30, причем конец вала 38 является упором для наковальни при прохождении вниз наковальни 20. Болт 34 и вал 38 образуют цельный упорный элемент, который можно регулировать.

Главным достоинством предлагаемого устройства является возможность соединения материалов с различной прочностью и твердостью. Отверстие в нижнем листе позволяет верхнему материалу беспрепятственно протекать через нижний материал. При этом нижний материал листа не подвержен пластической деформации.

Количество недостатков у данного устройства уменьшилось, но полностью себя не исчерпали, а именно:

- невозможность соединения пластин с существенным различием толщины материалов, поскольку для создания зацепа из толстого материала необходимо приложить большие усилия для его пластической

деформации. Большие усилия для тонкого материала могут оказаться разрушительными;

- замыкающая головка выступает над плоскостью соединяемого материала, что ухудшает эстетические и конструктивные характеристики изделия.

Для решения оставшихся проблем предлагается модернизировать устройство, представленное в последнем патенте (US 4,584,753).

## **2. Постановка задачи исследования.**

Модернизации способа и устройства должна содержать следующие работы:

- Разработка упруго-пластичной математической модели образования клинч-соединения материалов различной толщины и твердости на базе конечно-элементной программы Deform;
- Исследование напряжённо-деформированного состояния материалов в месте соединения;
- Параметрические исследования соединений с различной геометрией отверстия;
- Разработка конструкторской документации для изготовления технологической оснастки для лабораторных исследований;
- Изготовление оснастки и проведения экспериментальных работ с целью подтверждения адекватности математической модели.

### **3. Разработка способа формирования клинч-соединения существенно разных по твердости материалов и толщины.**

Для реализации идеи соединения материалов с различной твердости и толщины предлагается взять за основу патент (US 4,584,753) и расширить его применением профильного отверстия в соединяемом листе.

Благодаря профильному отверстию в нижнем листе (см рис.5) при пластических деформациях материала верхнего листа, происходит заполнение профильного отверстия практически с первого момента начала процесса клинчевания без стесняющих граничных условий. По этой причине напряжения в деформируемом материале достаточно длительное время будут оставаться на невысоком уровне. Это позволит максимально заполнить профильное отверстие материалом.

При этом при больших пластических деформациях и низком уровне напряжений, вероятней всего не возникнут микротрещины снижающие усталостные характеристики соединения. Также низка вероятность локального разрушения деформируемого материала во время процесса формообразования замыкающей головки.

При соединении относительно небольшого по толщине нижнего листа, профиль отверстия может выглядеть так как указано на Рис.5. В этом случае наковальня имеет плоскую часть, которая формирует замыкающую головку в одной плоскости листа. В этом случае толщина нижнего листа может варьироваться от 2х до 5мм.

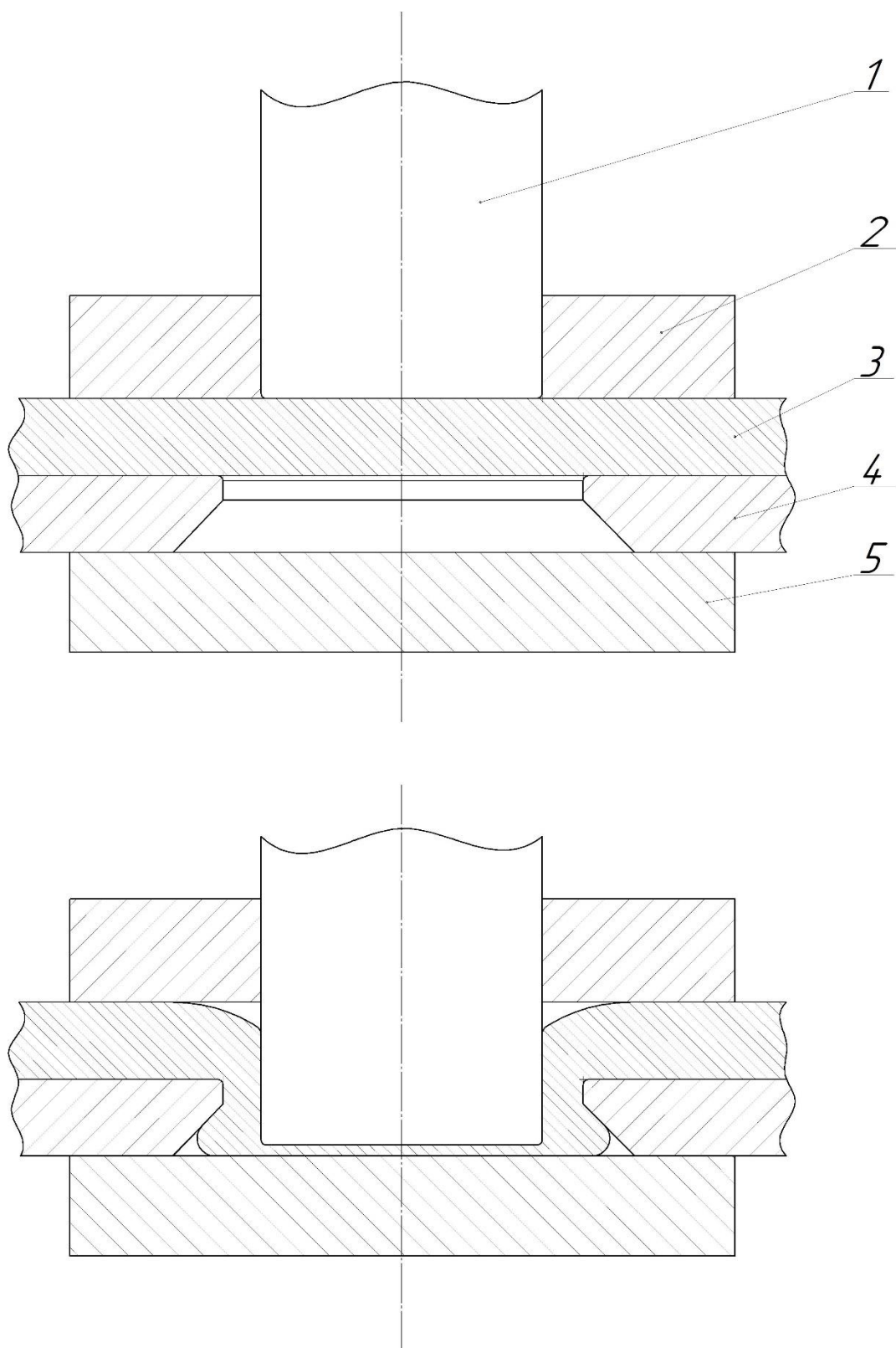


Рис. 3.1 Инструмент и процесс образования замка при толщине нижнего листа от 2х до 5мм

При больших значениях толщины нижнего листа профиль отверстия изменяется. Кроме конической части отверстия появляется цилиндрическая, длиной  $L$  (см. рис. 3.2).

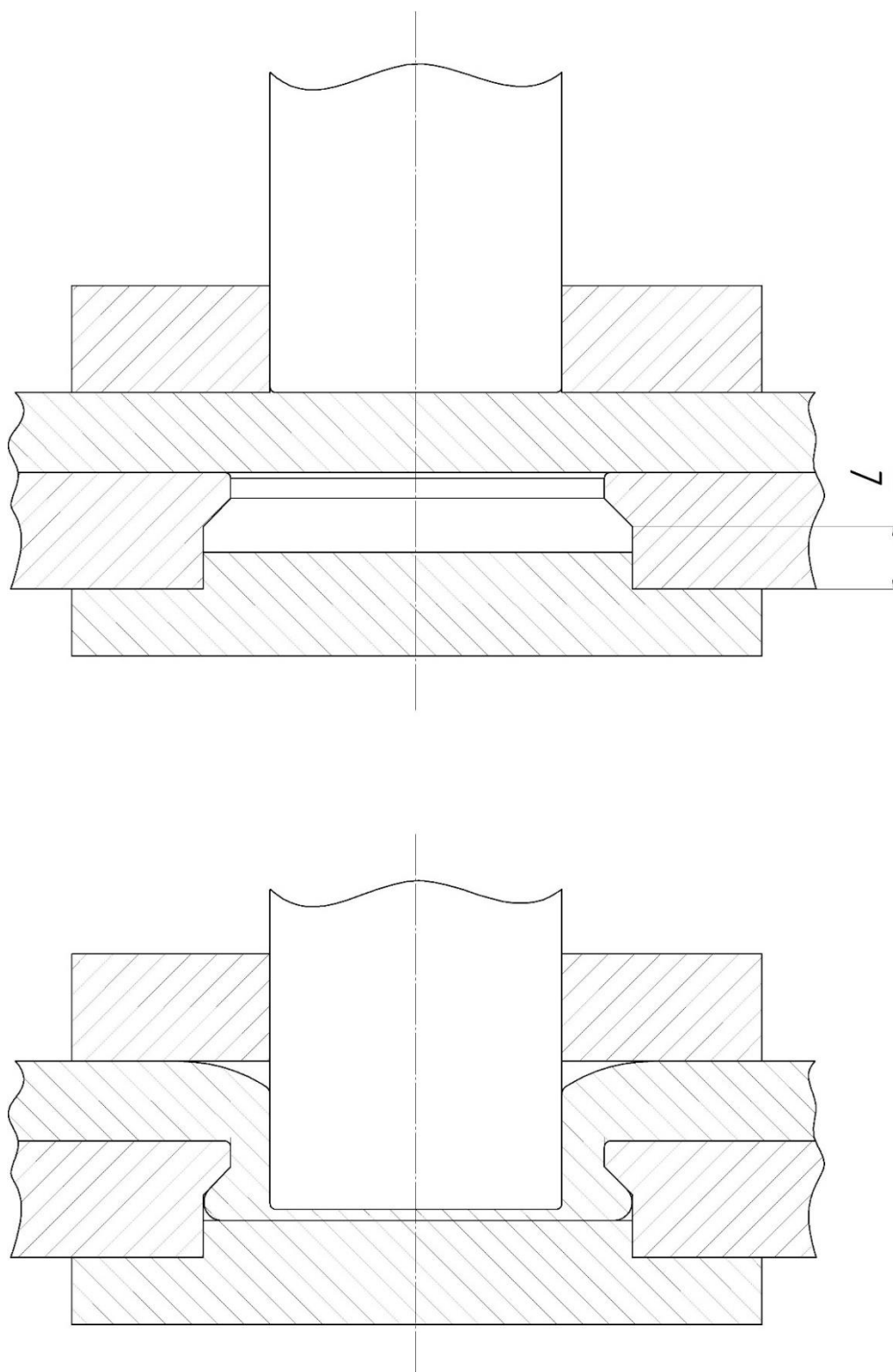


Рис. 3.2 Инструмент и процесс образования замка при толщине нижнего листа от 5мм и более



Наковальня, для этого случая, имеет выступ, высота которого может меняться в зависимости от толщины нижнего листа (рис.7). Высота выступа определяется расчетным путем исходя из достаточности заполнения свободного пространства в отверстии, деформируемом материалом верхнего листа с одной стороны и ограничением напряжений в деформируемом материале в процессе создания замыкающей головки.

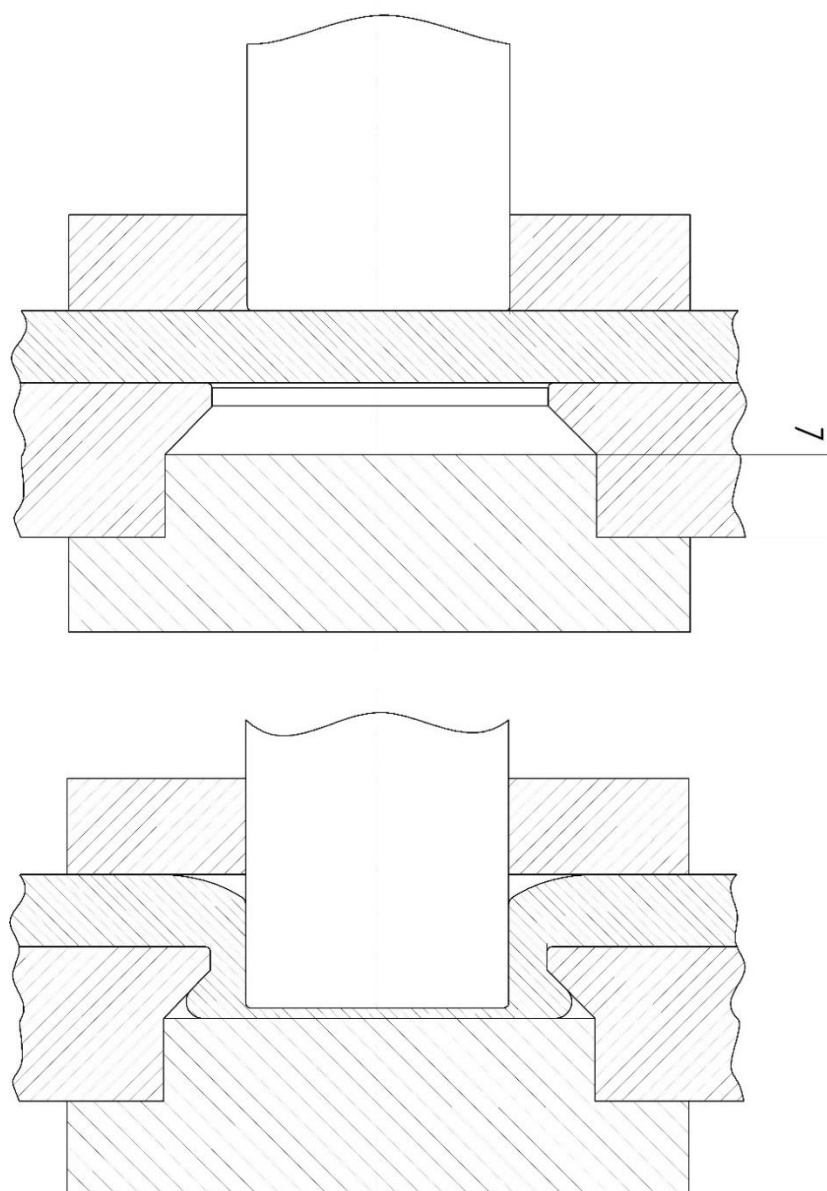


Рис 3.3 Инструмент и процесс образования замка при значительной толщине нижнего листа

Угол конической части отверстия  $\alpha_1$  определяет уровень напряжений в деформируемом материале и качество затекания материала в свободном пространстве также подлежит расчету и выбору оптимальных значений.

Так же требует расчета и выбора оптимального значения зазор  $\delta_1$  между пуансоном и отверстием и зазор  $\delta_2$  между пуансоном и наковальней, которые существенно влияют на качество заполнения деформируемого материала и напряжений на верхней кромке нижнего листа.

Для расчета указанных выше значений удобно применить программу Deform, использующую метод конечных элементов с адаптивной сеткой для расчета статических нелинейных задач.

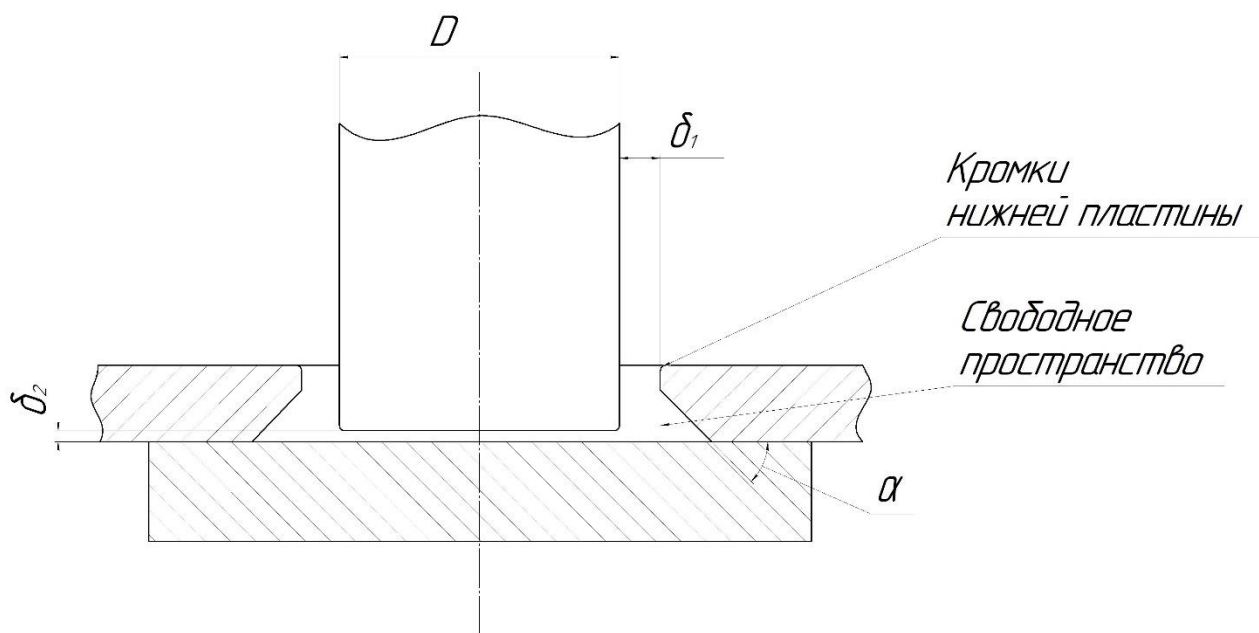


Рис 3.4 Заполняемое пространство верхним листом

#### 4. Проведение расчетов клинч соединений по предложенному способу и определение наиболее оптимальных вариантов.

### Моделирование процесса клинчевания в программном комплексе DEFORM-2D

Deform- это программа для анализа различных процессов формообразования, основанная на методе конечных элементов.

Работу данного комплекса рассмотрим на примере моделирования соединения двух разнотолщинных пластин.

### Запуск Deform

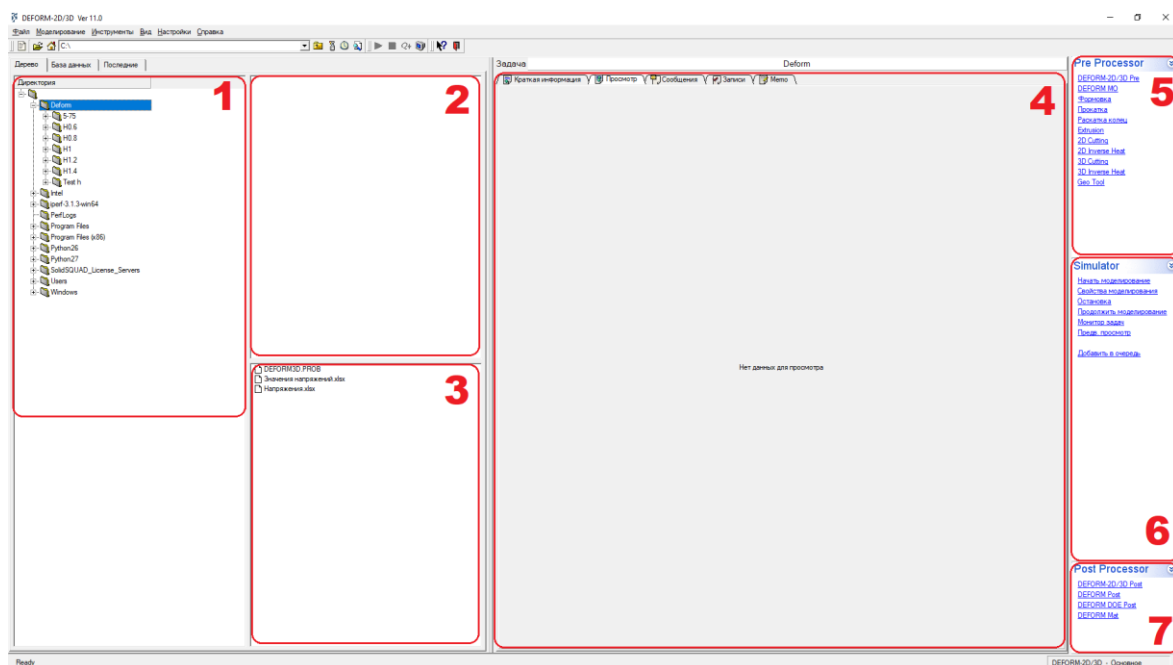


Рис. 4.1 Главное окно DEFORM-2D

1 – дерево файлов, 2 – зона отображения рабочих баз и Key-файлов, 3 – зона отображения всех файлов, 4 – решатель программы, 5 – меню Пре-процессора, 6 – меню запуска и просмотра текущего состояния решения, 7 – меню Пост-процессора.

Создаем новую задачу:

Файл → Новая задача → Параметры задачи → Расположение задачи → Имя задачи.

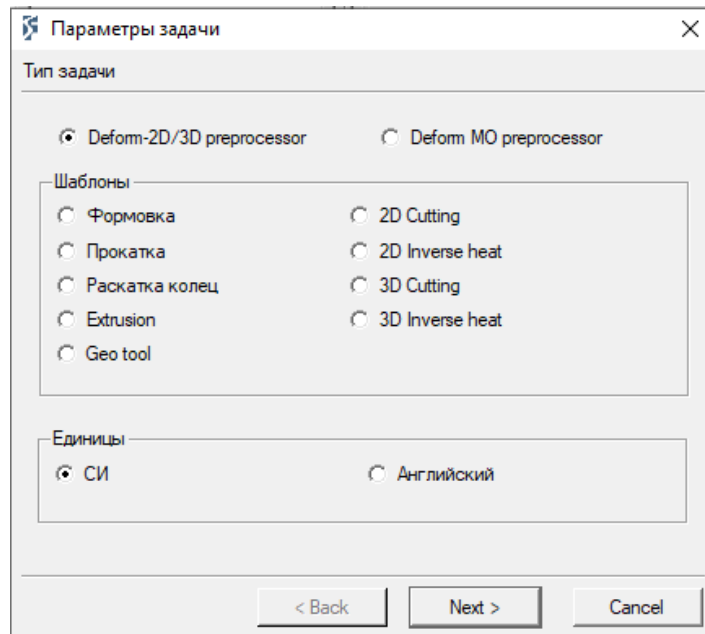


Рис. 4.2 Выбор типа задачи

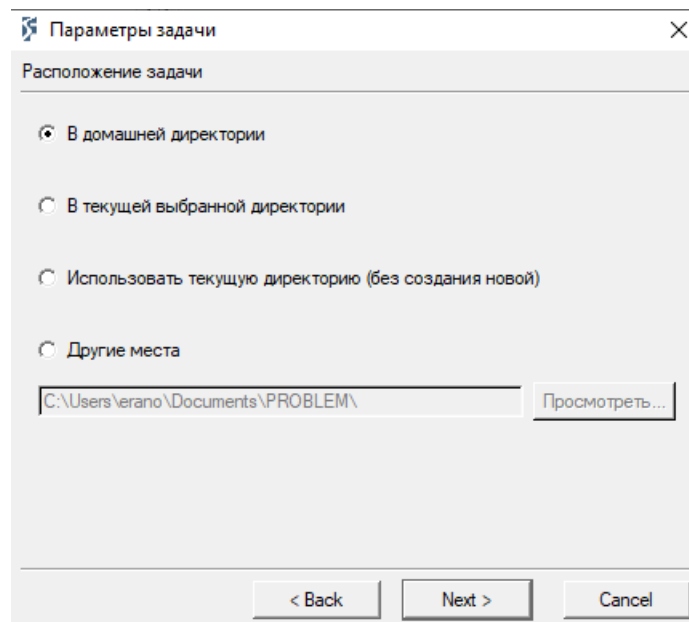


Рис. 4.3 Задание местоположения задачи

## Пре-процессор

Пре-процессор - часть программы отвечающая за настройку исходных условий задачи. Здесь определяется геометрия тела, создается и настраивается сетка конечных элементов, задается материал, устанавливаются тип и скорость движения инструмента.

### Настройка пре-процессора.

Запустим пре-процессор нажав на соответствующую строку “Deform-2D/3D Pre”.



Рис. 4.4 Запуск пре-процессора

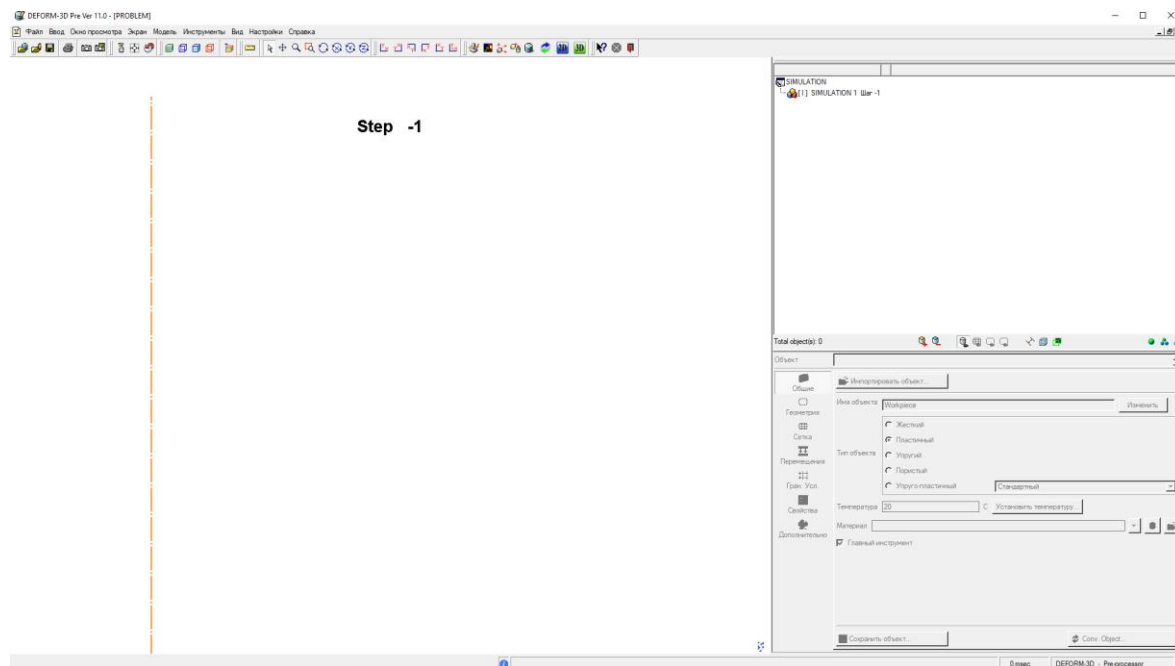


Рис. 4.5 Окно пре-процессора

Часть команды представлены на Панели инструментов.

Полный набор команд доступен через Панель задач.



Рис. 4.6 Кнопки ввода и вывода информации

1. Импорт БД
2. Импорт KEY файла
3. Сохранить
4. Печать
5. Сохранить изображение
6. Копировать изображение в буфер обмена.



Рис. 4.7 Управление отображением

1. Перерисовать
2. Во весь экран
3. Предыдущий вид



Рис. 4.8 Управление окном отображения

1. Шейдирование
2. Каркас
3. Затемнение и каркас
4. Границы поверхностей
5. Показать или скрыть границы элементов
6. Измерить расстояние между двумя указанными точками
7. Выбрать

8. Переместить
9. Масштабирование изображения
10. Масштабирование окном.



Рис. 4.9 Управление отображением относительно осей



Рис. 4.10 Относительные элементы модуля

Описание и работа с данными модулями будут даны ниже.

### Установка настроек задачи.

Нажмем настройки задачи  и выставляем необходимые параметры

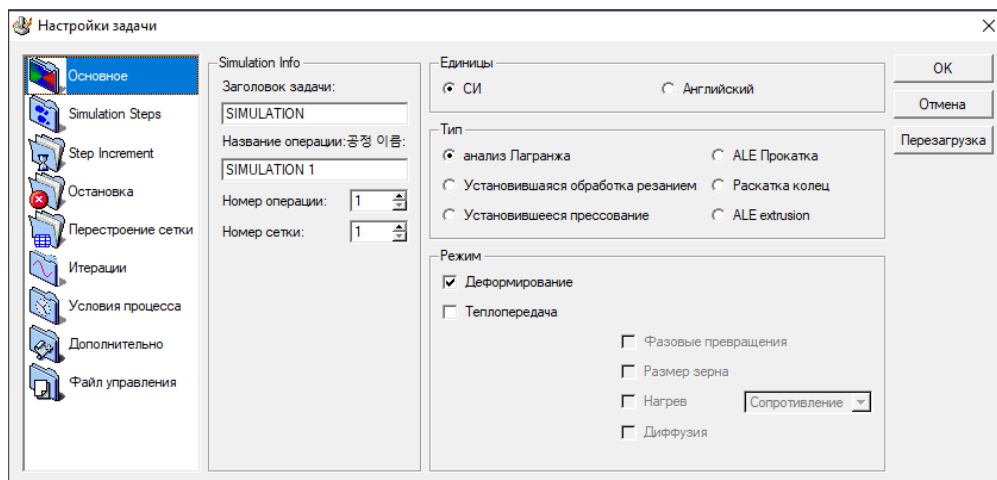



Рис. 4.11 Настройки задачи

### Создание объектов.

Для создания независимого объекта необходимо нажать добавить объект  в “Дереве объекта”. Тут уже установлен один объект Workpiece по умолчанию.

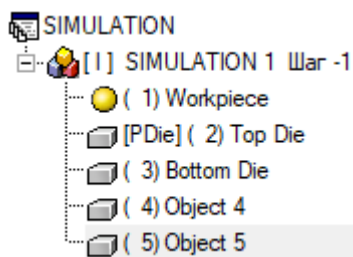


Рис. 4.12 Дерево объектов

При моделировании процесса клинчевания будем использовать две разнопрочные и разнотолщинные элементы. Будет использовано 5 объектов.

Переименуем объекты с помощью окна ниже.

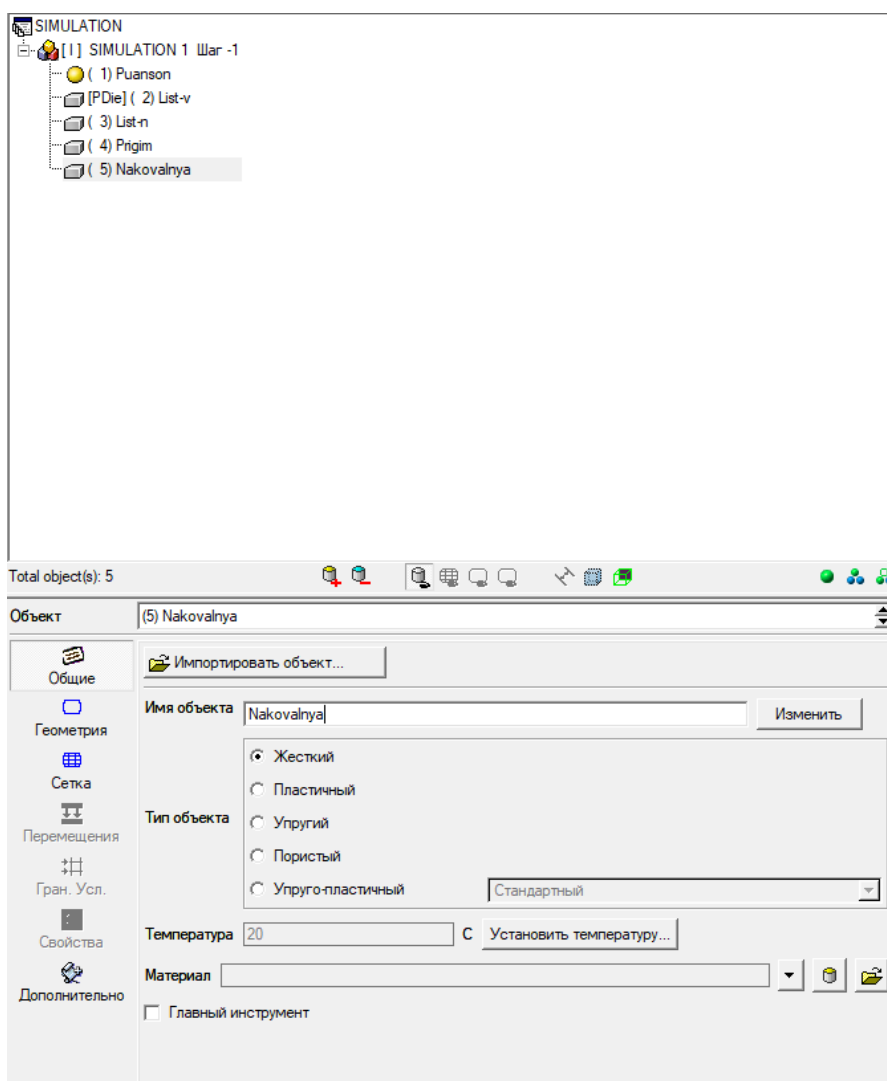


Рис. 4.13 Переименование объектов





## Типы объектов.

Объекты бывают двух типов: жесткие и нежесткие.

Жесткие - геометрия в процессе не изменяется.

Нежесткие - геометрия данных элементов изменяется в процессе расчета. В Deform имеется несколько типов данных объектов.

Пластичный . Упругий . Пористый . Упруго-пластичный 

Пользовательский . Нежесткие типы элементов должны иметь сетку конечных элементов для расчета.

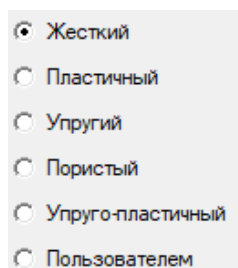
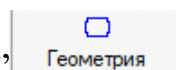



Рис. 4.14 Типы нежестких объектов

## Создание геометрии.

Для создания геометрии откроем вкладку “Геометрия”



Импортируем геометрию  Импортируем геометрию... из подготовленных файлов с геометрией созданных в Компас 3D и импортированных в формате dxf.











 List-n		12.05.2020 13:32	Файл "DXF"	605 КБ
 List-v		12.05.2020 13:39	Файл "DXF"	605 КБ
 Nakovlnya		12.05.2020 13:40	Файл "DXF"	605 КБ
 Prigim		12.05.2020 13:40	Файл "DXF"	604 КБ
 Puanson		12.05.2020 13:40	Файл "DXF"	604 КБ

Рис. 4.15 Подготовленная геометрия

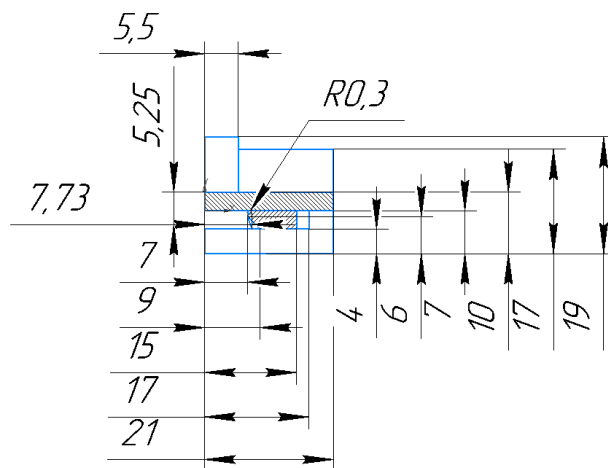


Рис. 4.16 Геометрические размеры

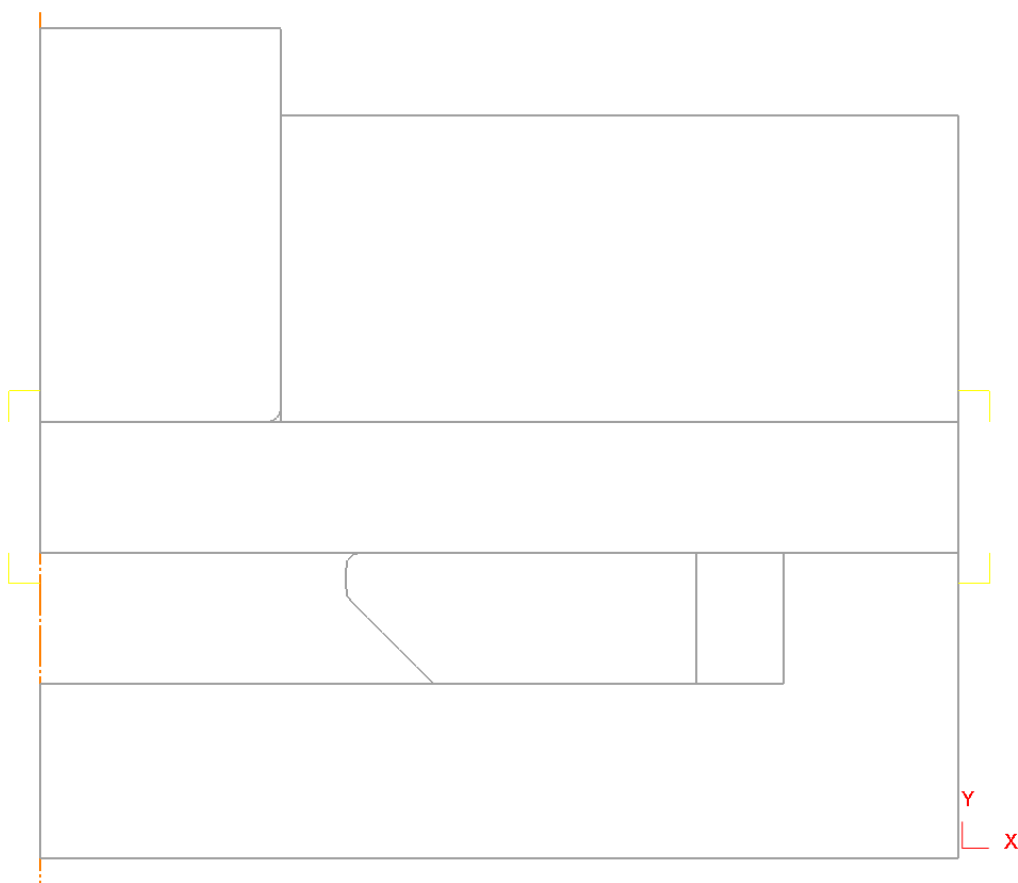


Рис. 4.17 Геометрия

Зададим Пуансон главным инструментом, относительно которого будет проходить расчет всей задачи.

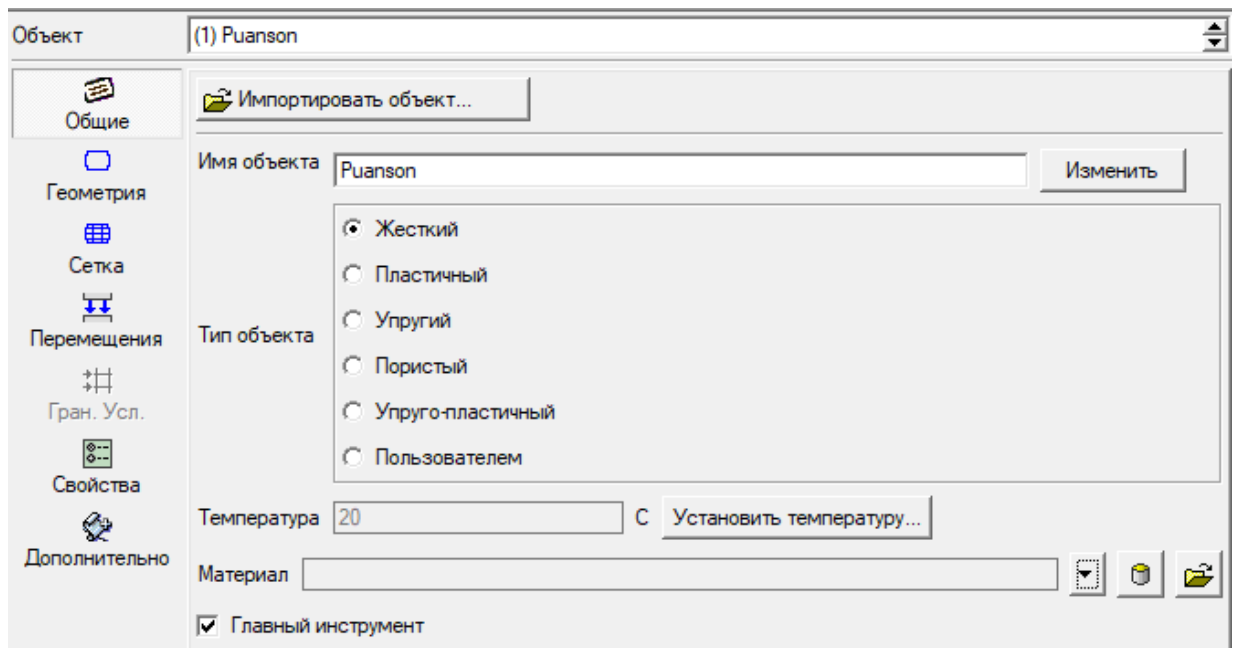


Рис. 4.18 Выбор главного инструмента

### Задание движения.

Откроем вкладку перемещения. Зададим направление (-Y), угол (-90), текущее перемещение 5.5 мм и постоянную величину 1 мм/секунду.

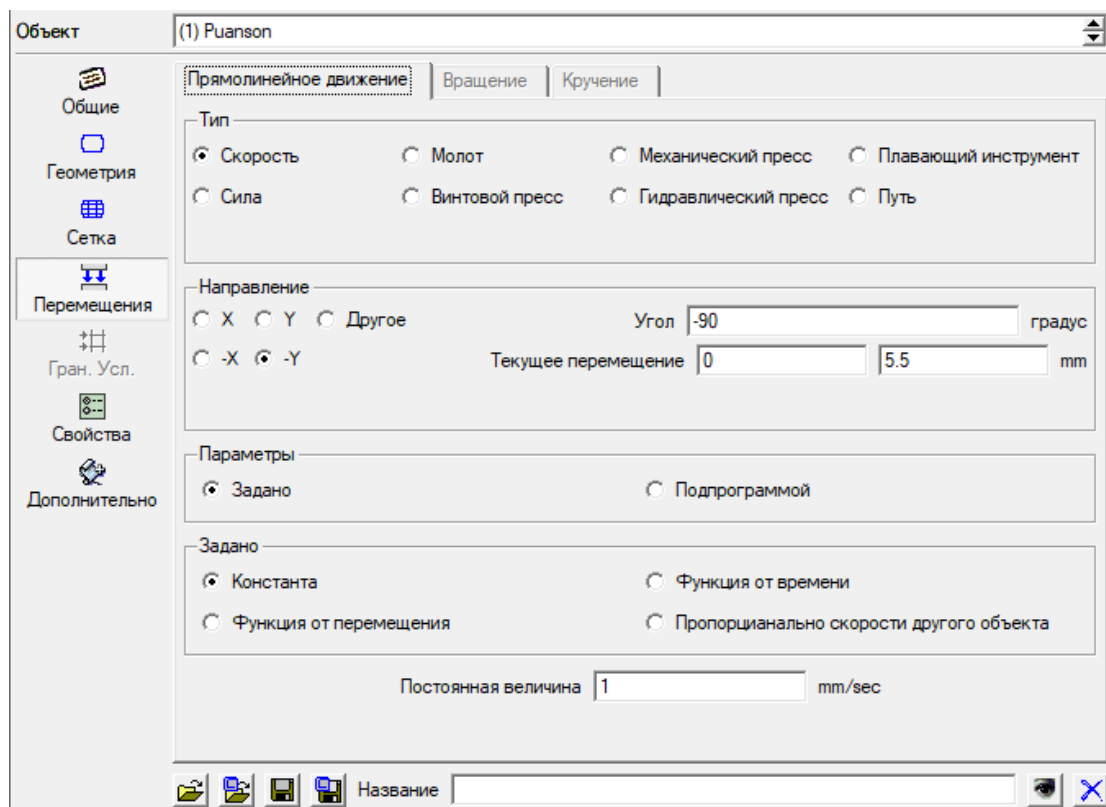


Рис. 4.19 Окно перемещения

## Создание сетки.

Для создания сетки конечных элементов откроем вкладку «Сетка» и выберем объектом “list-v”. Зададим количество элементов 700, так как это является оптимальным параметром. Нажмем «Генерировать сетку».

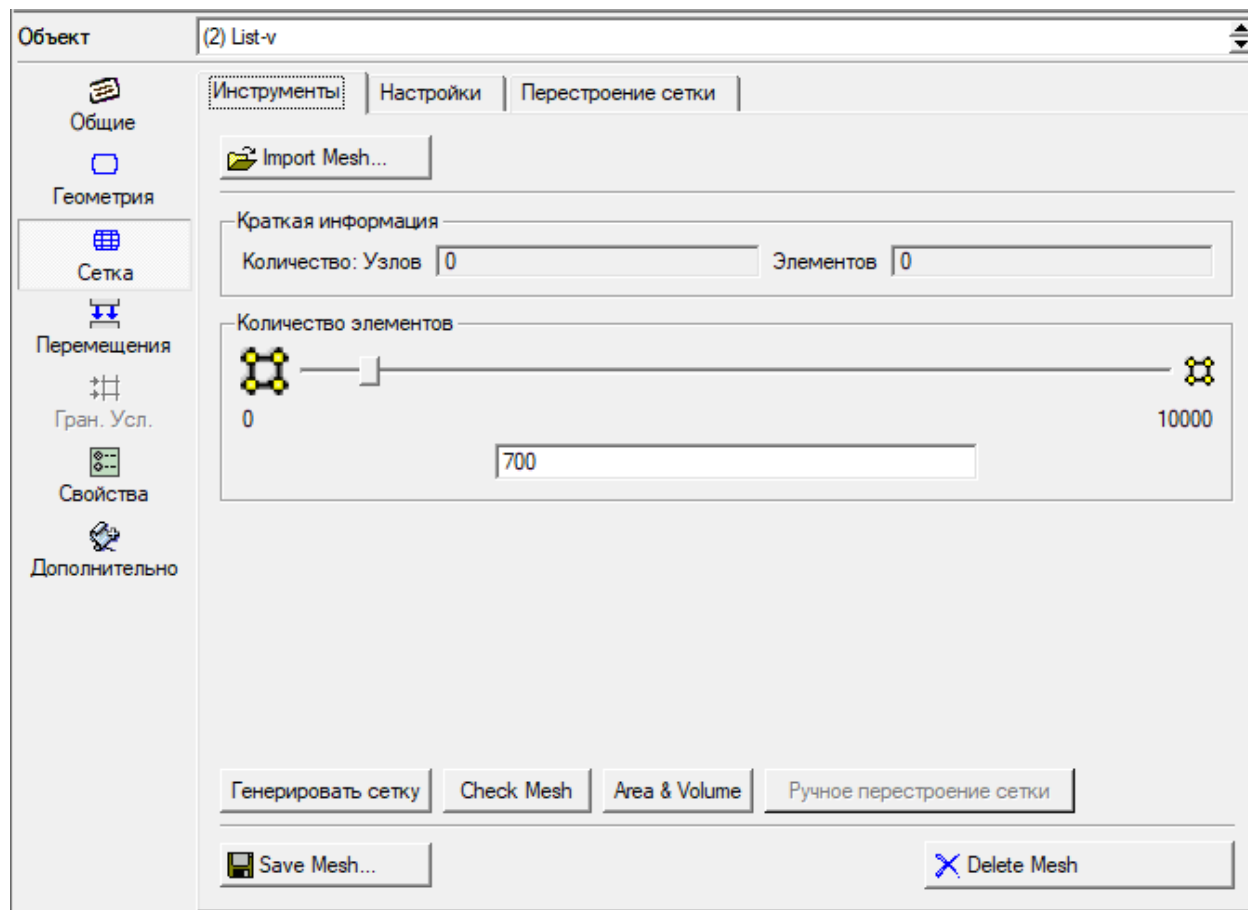


Рис. 4.20 Создание конечно элементной сетки для верхнего листа

Для создания нижнего листа конечно-элементной сетки “List-n” укажем количество элементов 400. Нажмем «Генерировать сетку».

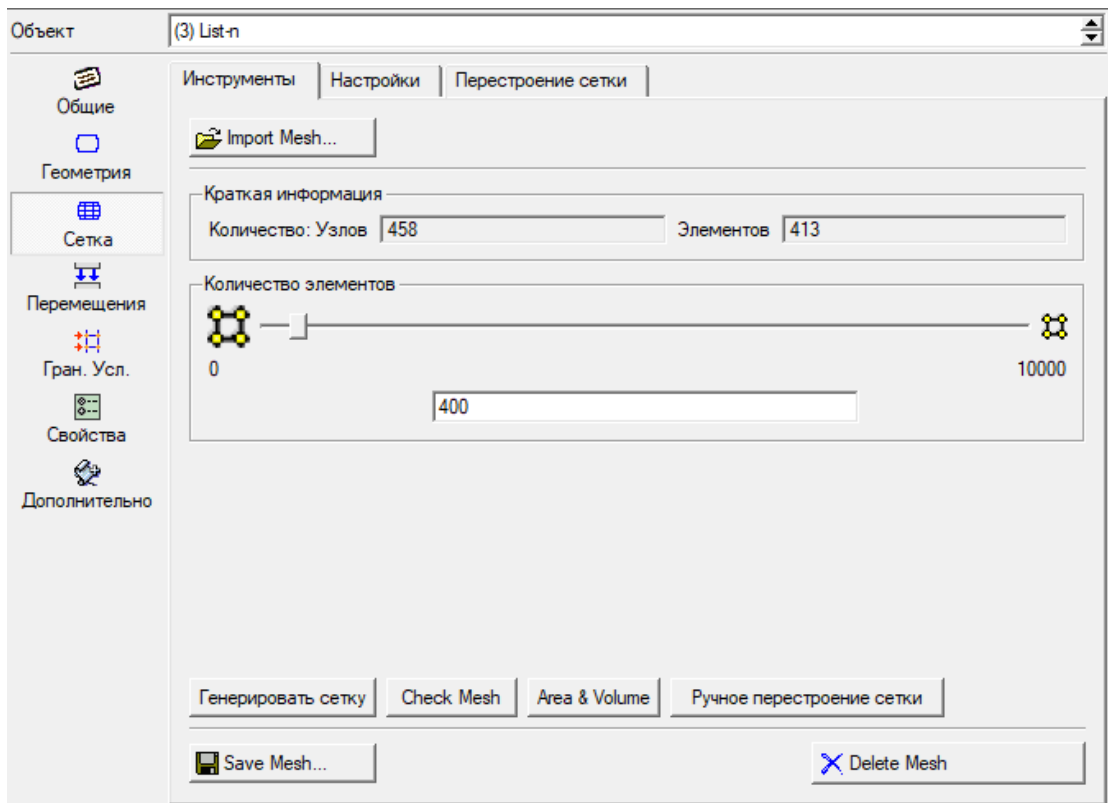


Рис. 4.21 Создание конечно элементной сетки для нижнего листа

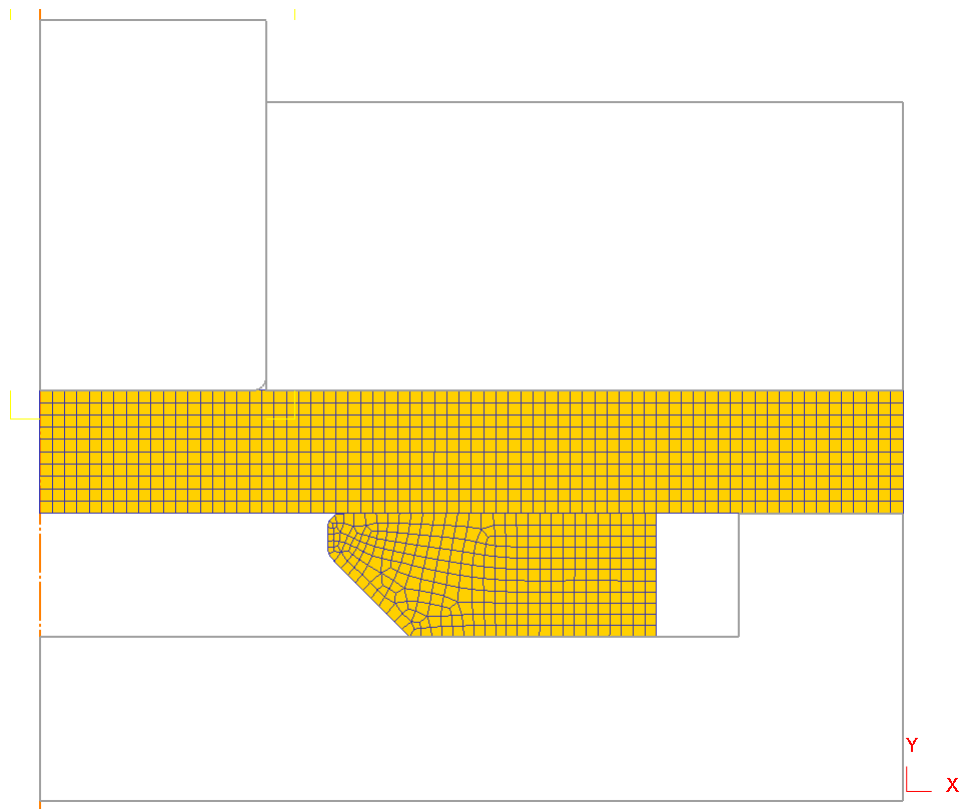



Рис. 4.22 Результат генерации сеток верхнего и нижнего листов

## Задание материала.

Нажмем кнопку материал  в меню элементов.

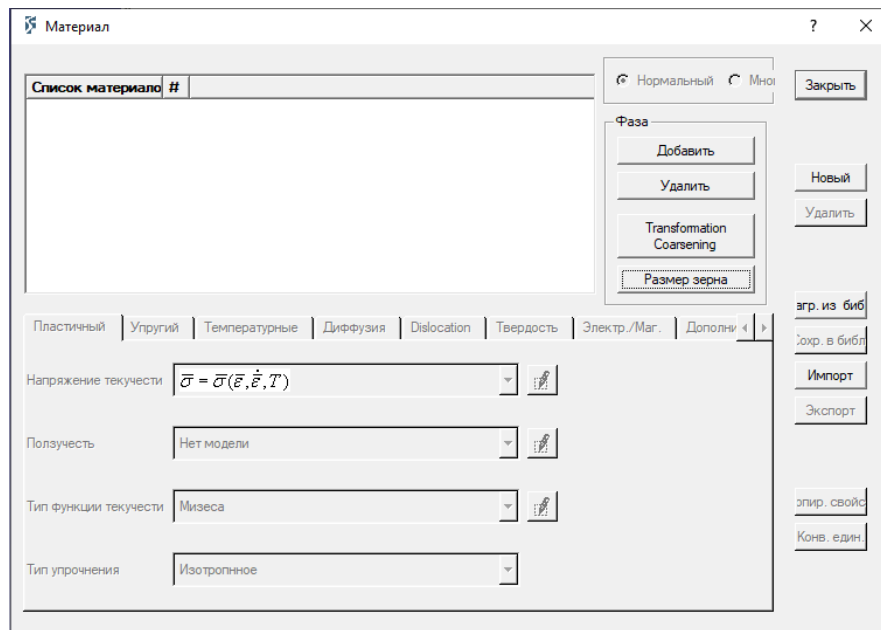


Рис. 4.23 Окно настройки материала

Нажмем кнопку загрузить из библиотеки и выберем для верхней пластины материал AL1100 COLD, что соответствует материалу Д16АМ.

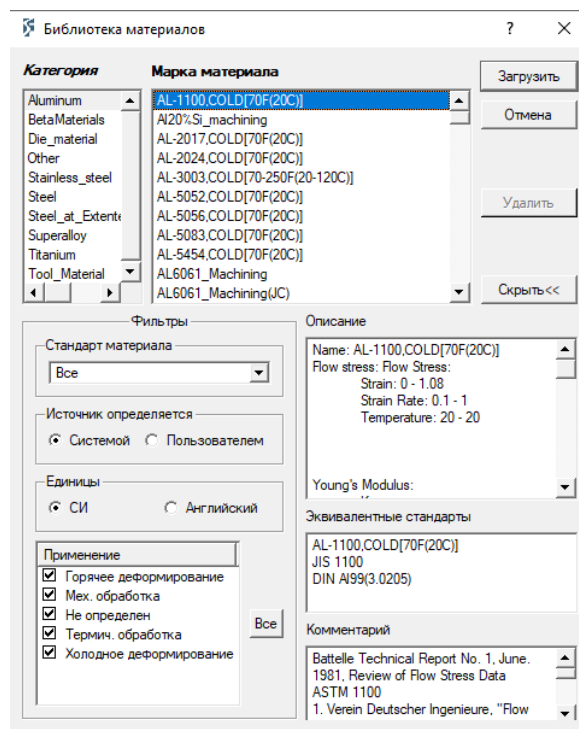


Рис. 4.24 Окно задания материала

Вторым материалом будет служить высокотвердый материал.

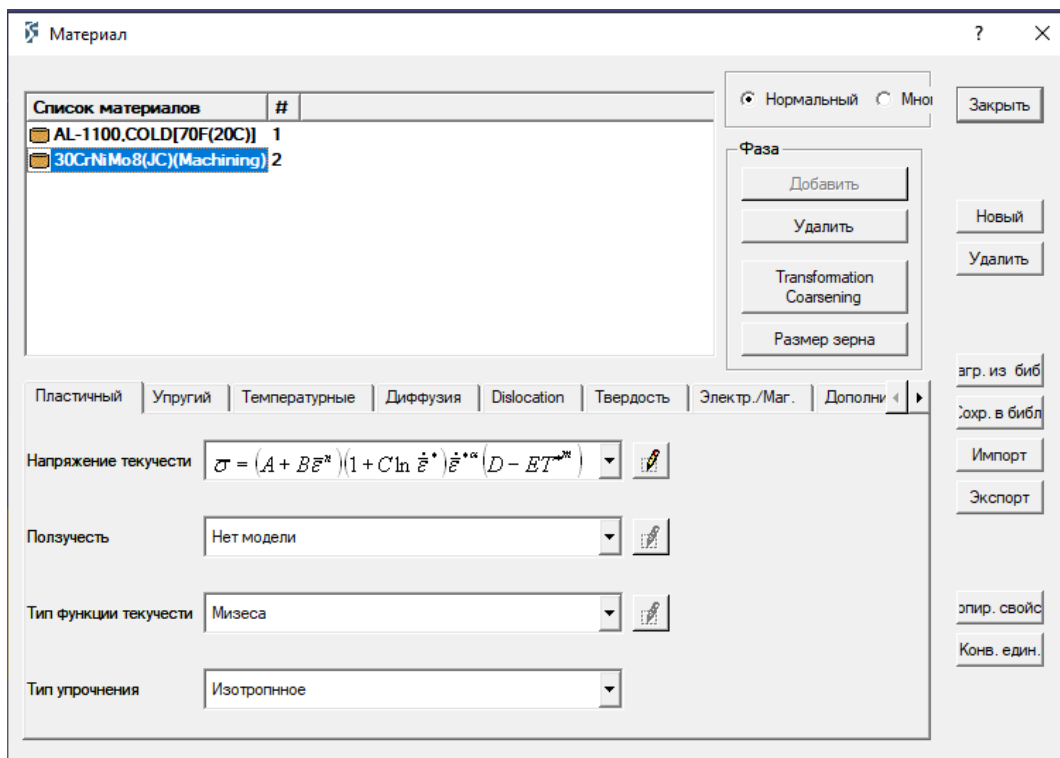


Рис. 4.25 Несколько материалов в окне выбора материала

К каждому листу зададим свой материал из общего окна.

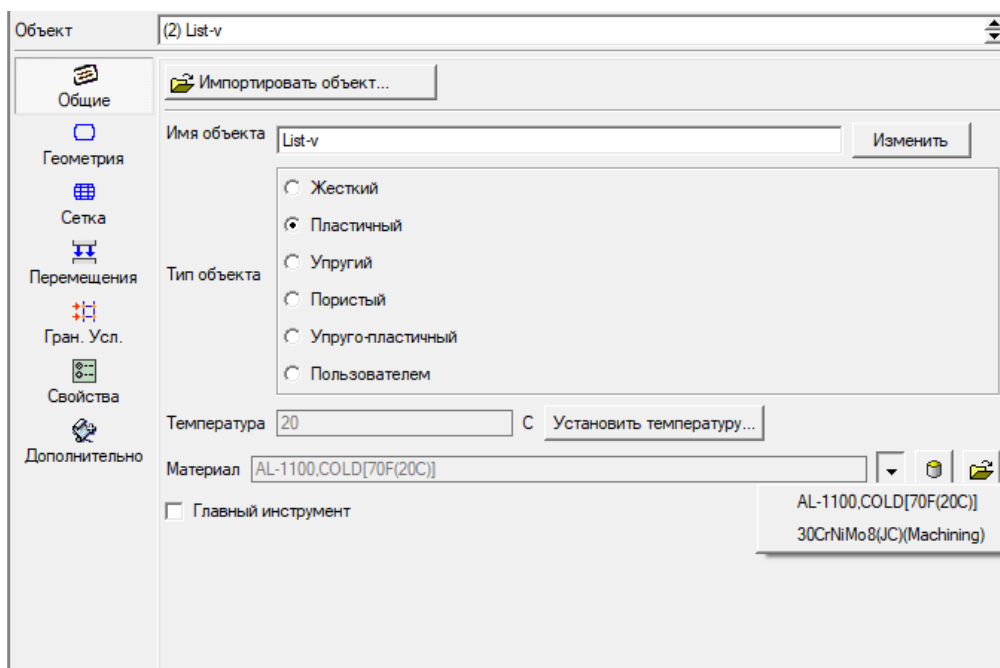



Рис. 4.26 Выбор материала в общем окне

## Создание взаимодействия объектов.

Для задания параметров взаимодействия необходимо открыть окно взаимодействия объектов .

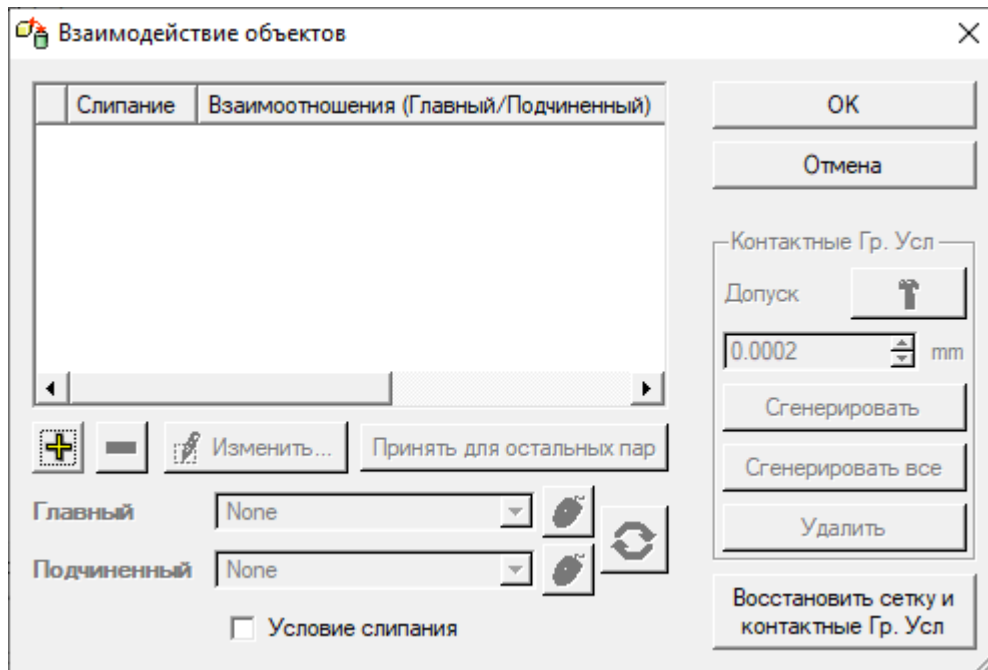


Рис. 4.27 Меню взаимодействия объектов

Создаем пять строк взаимодействий кнопкой +.

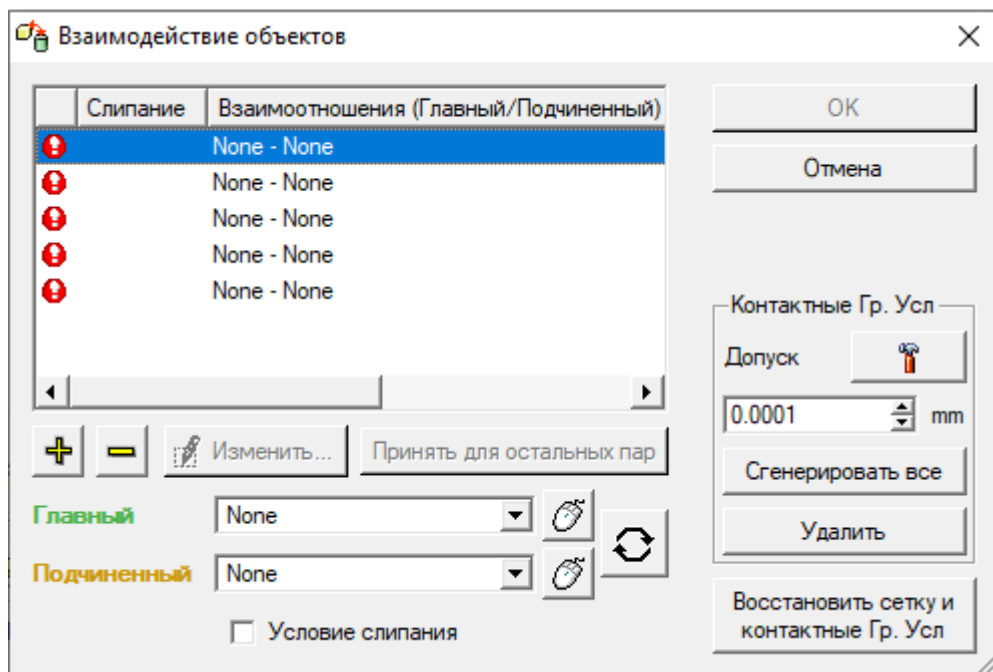


Рис. 4.28 Незаданные объекты взаимодействия



Установим взаимодействия между пуансоном и верхним листом. Верхним листом и нижним листом. Прижимом и нижний листом. Наковальней и верхним листом. Наковальней и нижним листом. Нажмем клавишу сгенерировать все. Если появились взаимодействия между элементами в виде цветных точек, то это значит, что все настроено правильно.

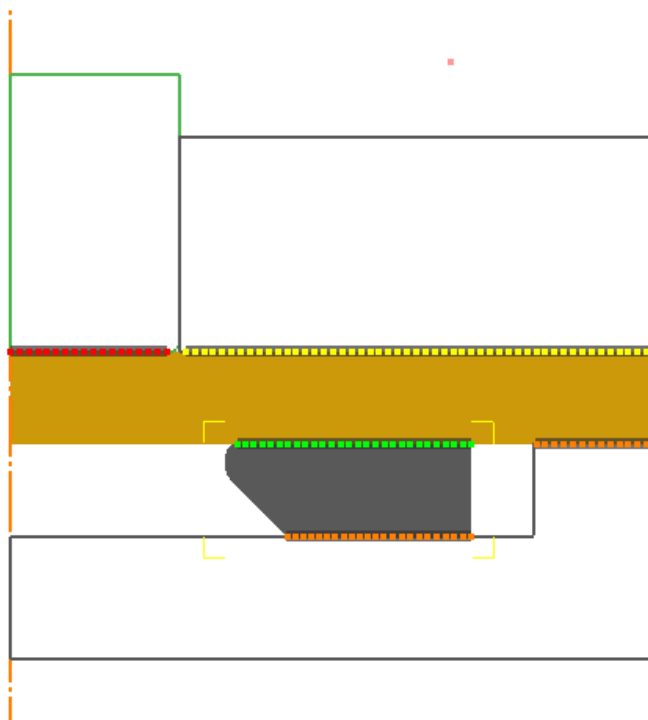
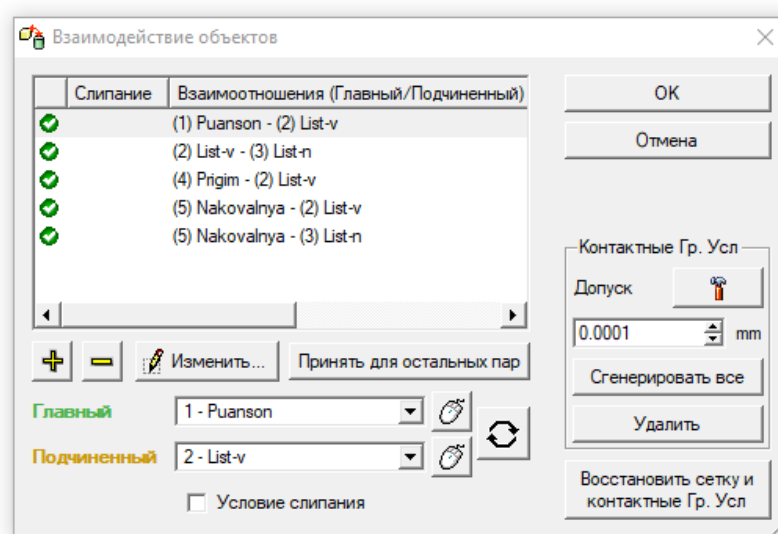
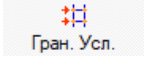




Рис. 4.29 Взаимодействия между объектами

## Граничные условия.

Зададим линию границы, которую не может пересечь материал в процессе работы.  Гран. Усл. . В окне нажмем кнопку  и по левой кромке пометим мышью. Появятся красные точки, что значит ограничения задались верно. Для сохранения нажмем .

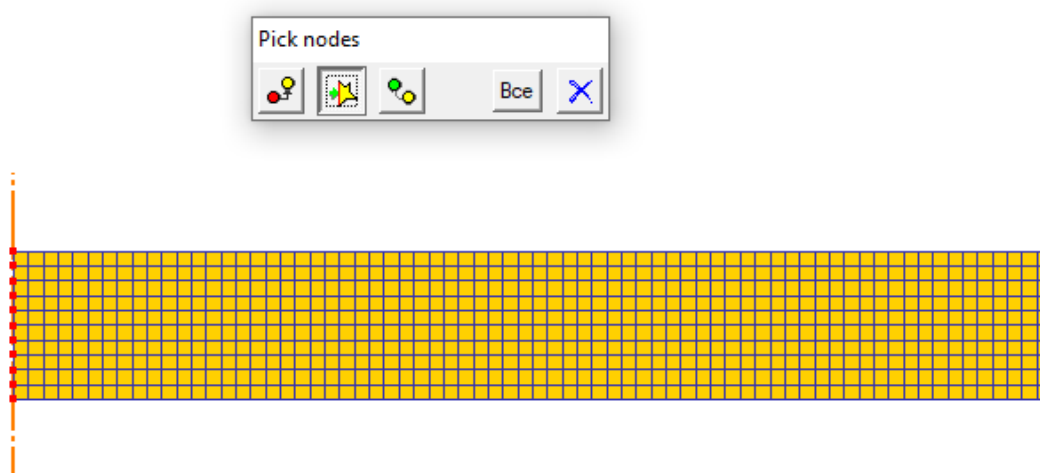



Рис. 4.30 Линия ограничения течения материала

## Задание шага.

Для моделирования процесса необходимо задать шаг, с которым пуансон будет продавливает материал. Один шаг не должен превышать одной третьей длины стороны минимального элемента. Для повышенной детализации течения материала вокруг углов и радиусов необходимо задавать размер шага  $1/10$  от размера сетки. В нашем расчетном случае размер сетки равен  $0,25$  мм., а шаг будет равен  $0,025$  мм. Для задания шага нажмем . В появившемся окне откроем шаг симуляции.

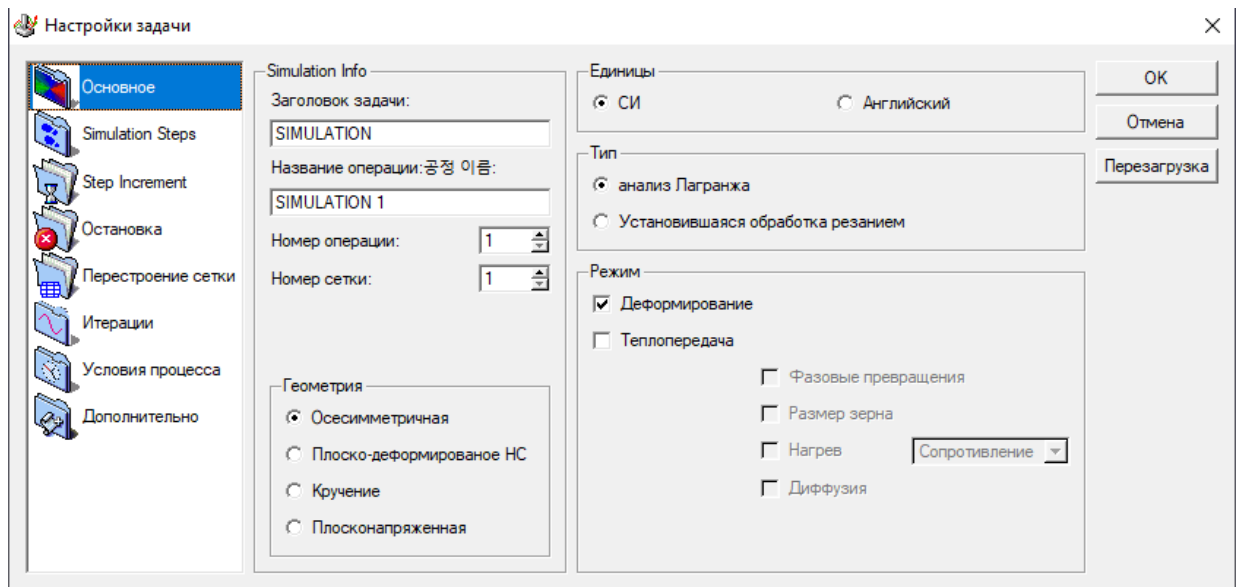


Рис. 4.31 Основная настройка задачи

Откроем шаги симуляции “Simulation Steps”. Зададим число шагов - 225. Номер начального шага - 1. Сохранение результата каждый шаг.

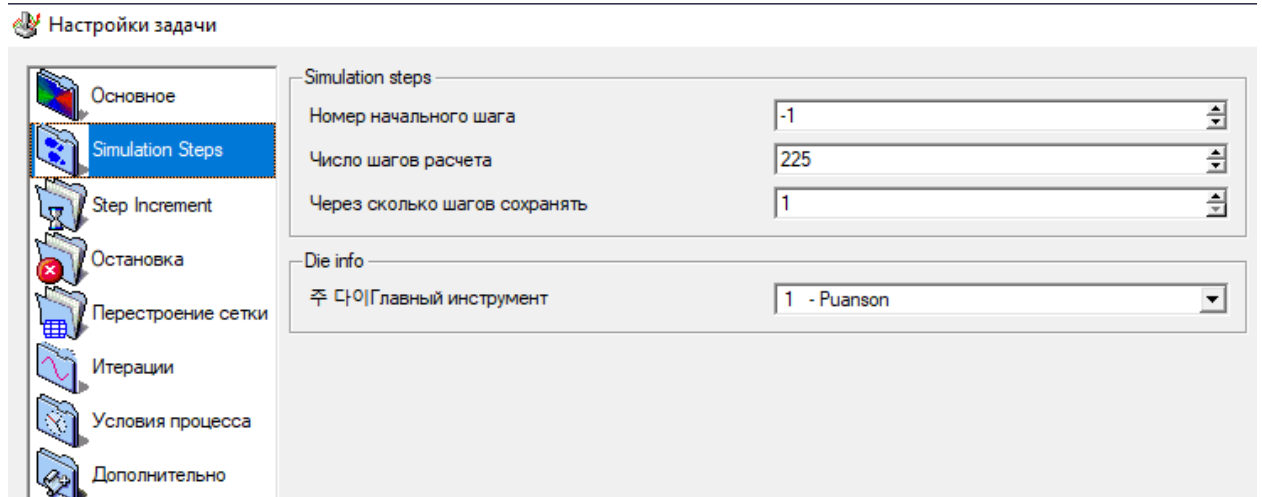


Рис. 4.32 Шаги симуляции

В следующей вкладке “Step Increment” установим шаг приращения значение 0.025 мм/шаг.

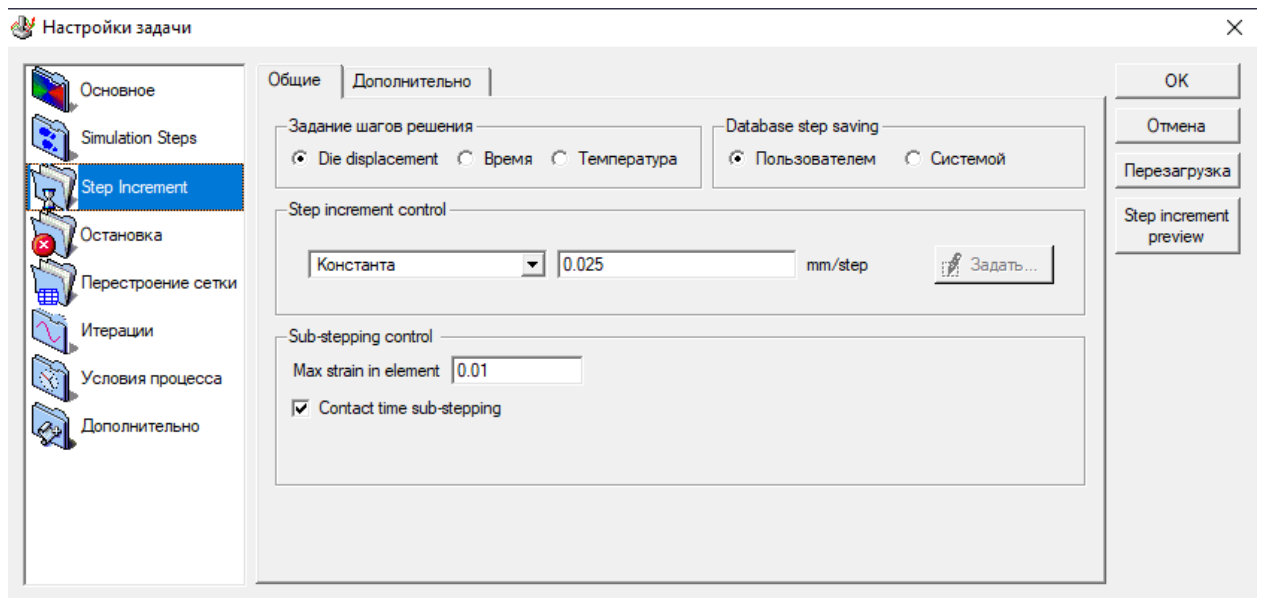


Рис. 4.33 Выбор шагов

В окне итерации зададим максимальное количество итераций 200.

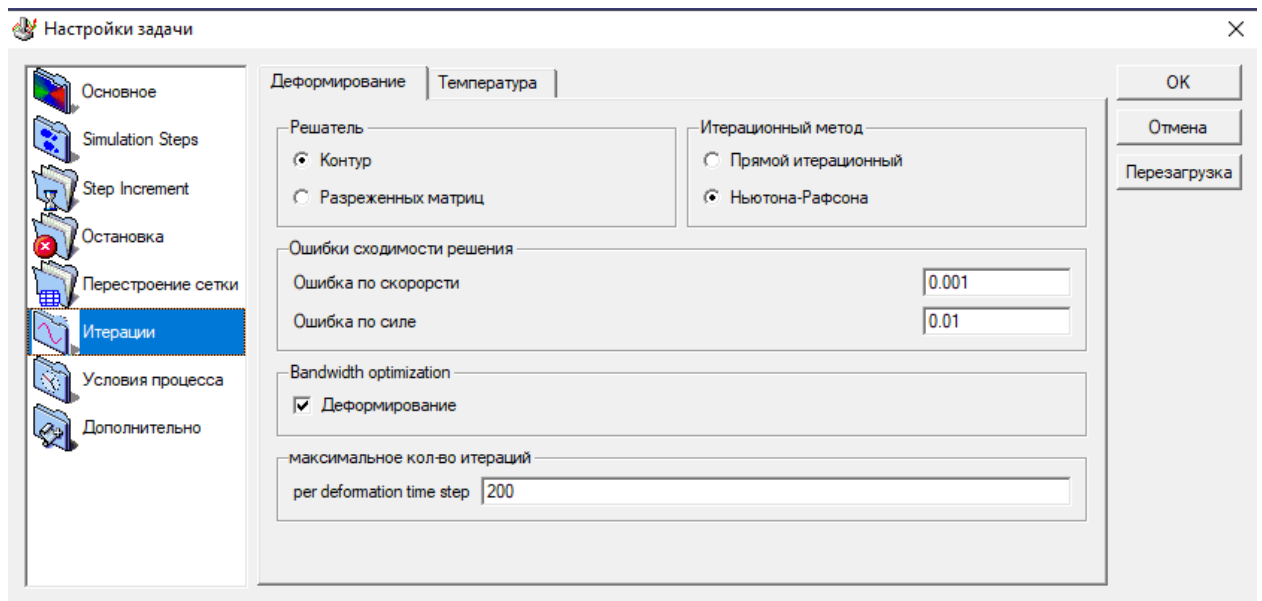



Рис. 4.34 Настройка итераций

### Генерация базы данных.

После полной настройки задачи, нужно перейти к генерации базы данных для решателя. В меню основных элементов нажмем кнопку 

Выберем тип новый. Нажмем кнопку проверить. Если не возникнет ошибок, то нажмем сгенерировать базу данных.

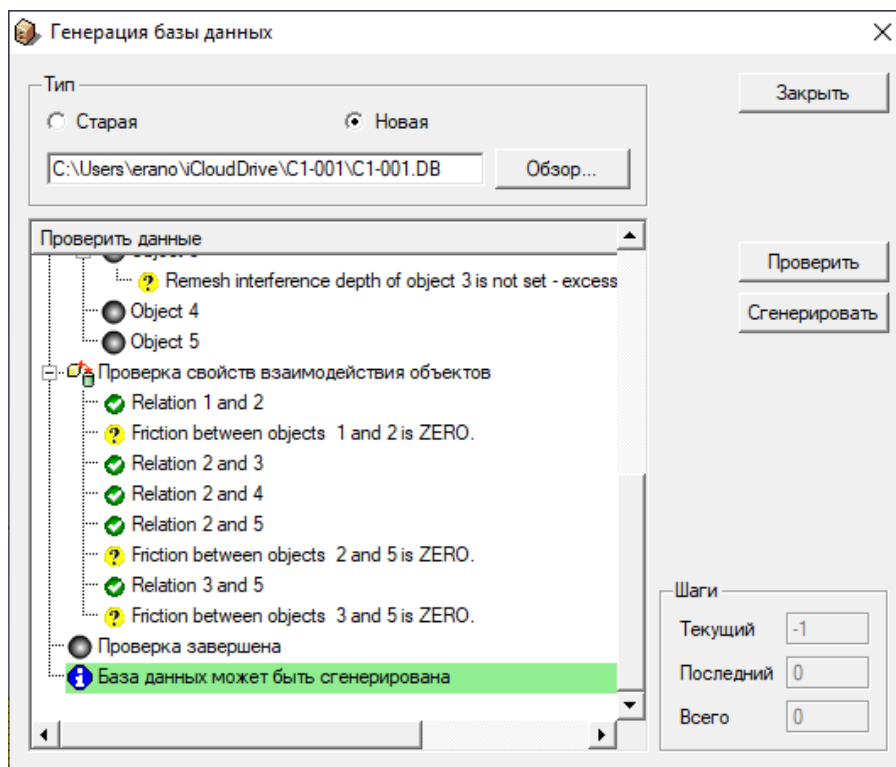


Рис. 4.35 Проверка базы данных

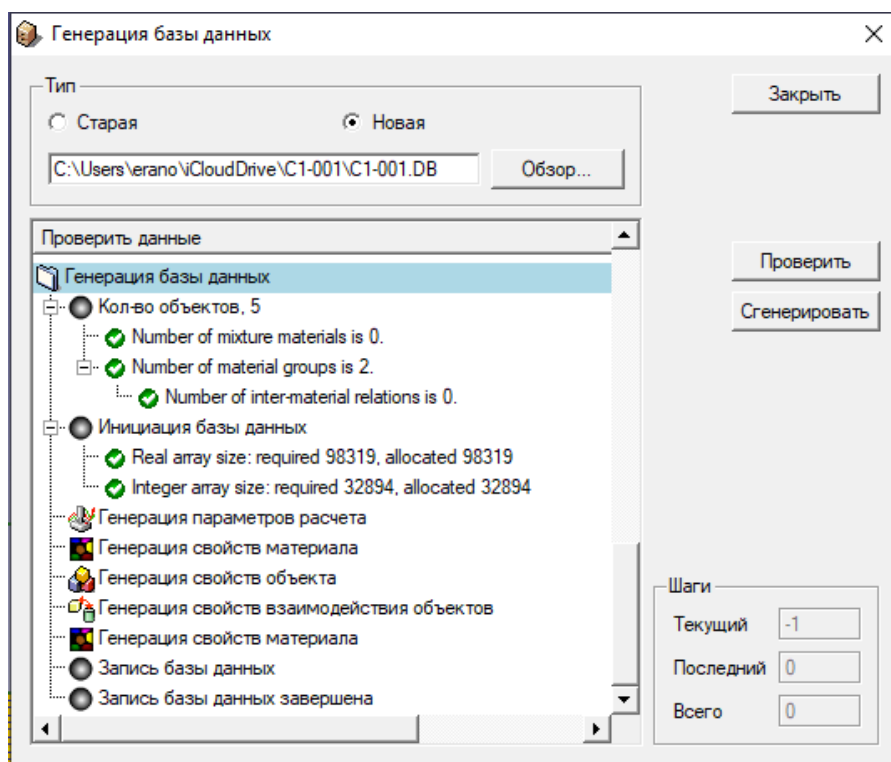


Рис. 4.36 Генерация базы данных

## Решатель.

Решатель является частью Deform, который непосредственно решает задачу подготовленную пре-процессором.

Закрыв окно пре-процессора запустим расчет созданной нам симуляции.

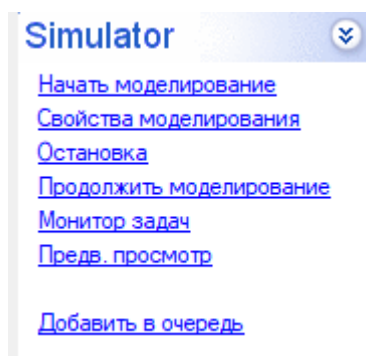


Рис. 4.37 Меню симуляции

В процессе работы можно смотреть результаты расчета как в текстовом, так и графическом вариантах.

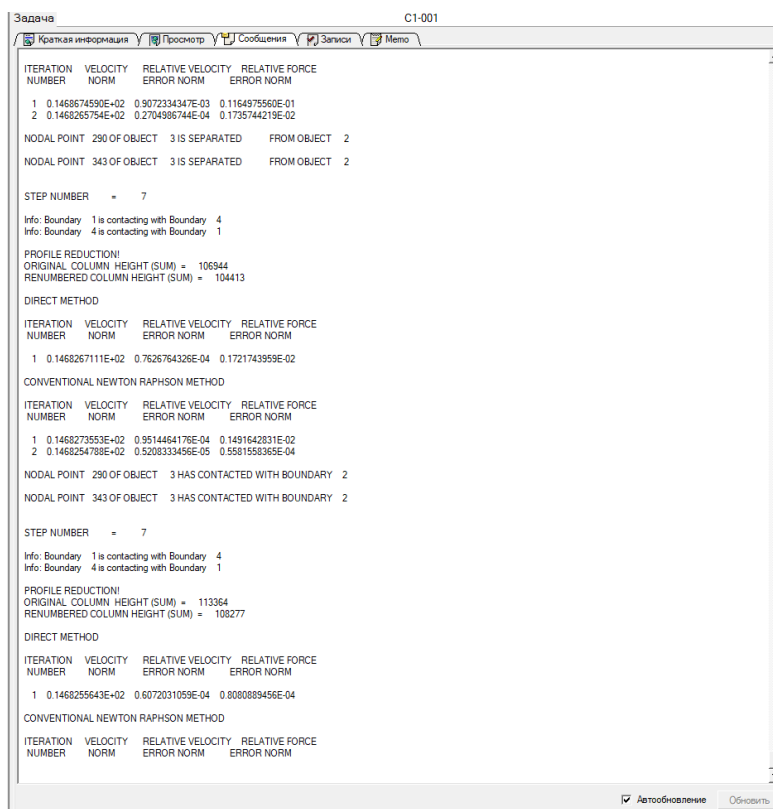


Рис. 4.38 Ход расчета

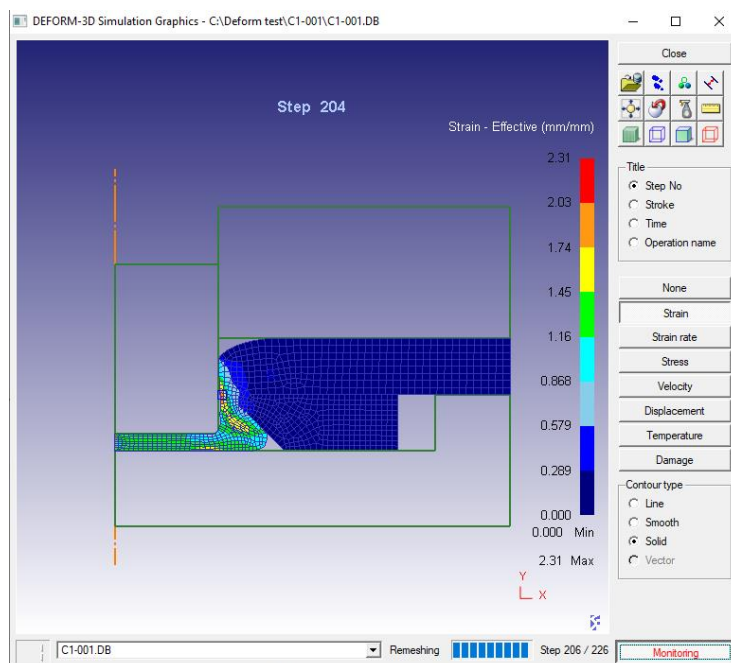


Рис. 4.39 Предварительный просмотр хода расчета в графическом варианте

### Пост-процессор.

После выполнения расчета для анализа полученных результатов будем использовать пост-процессор. Откроем DEFORM-2D/3D Post.

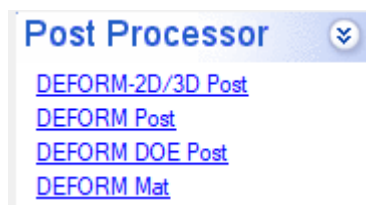


Рис. 4.40 Окно выбора пост процессора

В открывшемся окне мы можем увидеть результат расчета. Для управления шагами необходимо нажимать кнопки управления шагами процесса.



Рис. 4.41 Кнопки управления шагами процесса

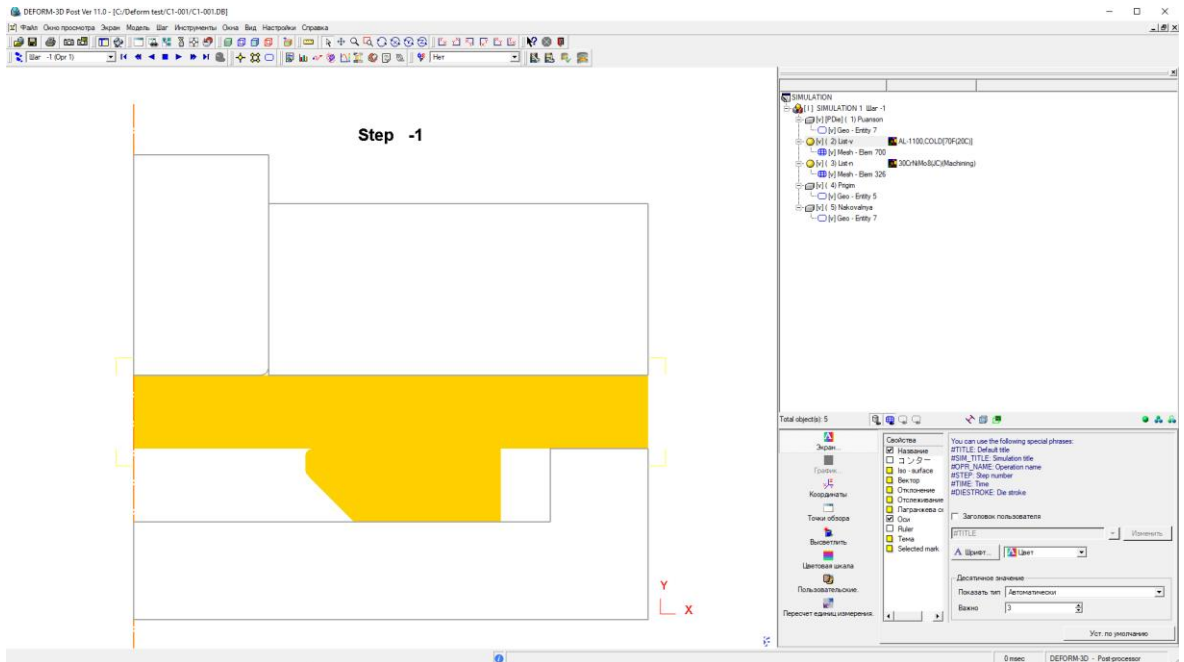


Рис. 4.42 Результат расчета

Для включения сетки нажмем кнопку 

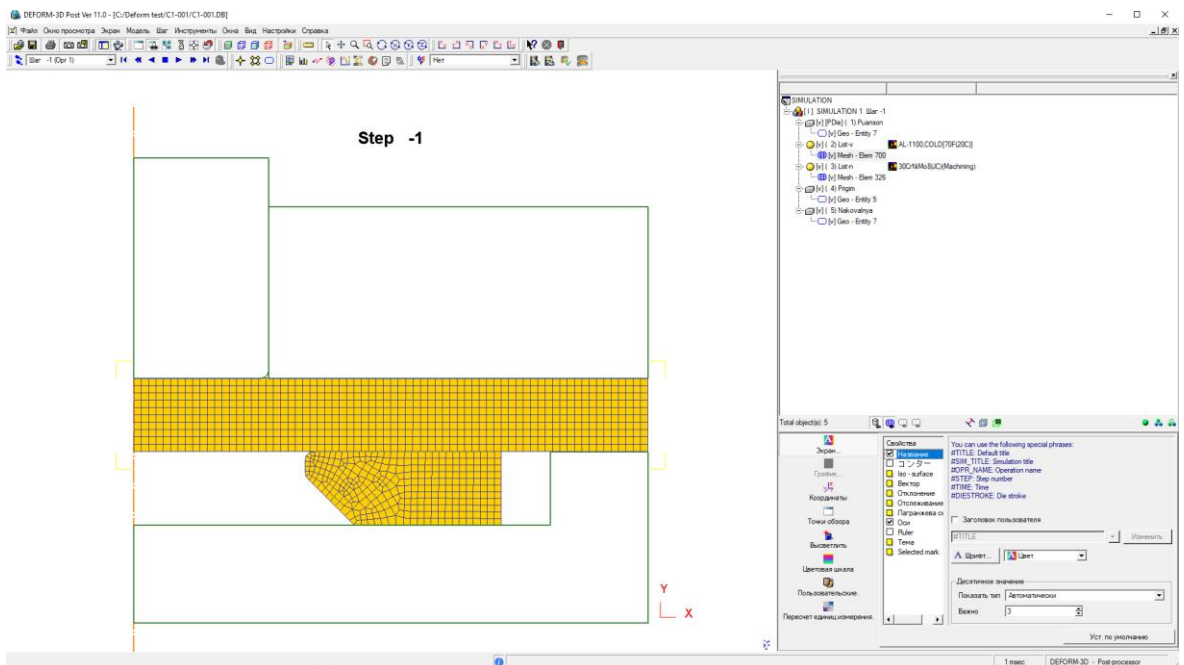



Рис. 4.43 Включение сетки



Для просмотра напряжений нажмем . В открывшемся окне будут представлены различные параметры деформации материала. Нас интересует параметр Деформирование. В пункте Напряжение выберем Интенсивность. В нем мы устанавливаем параметр локально.

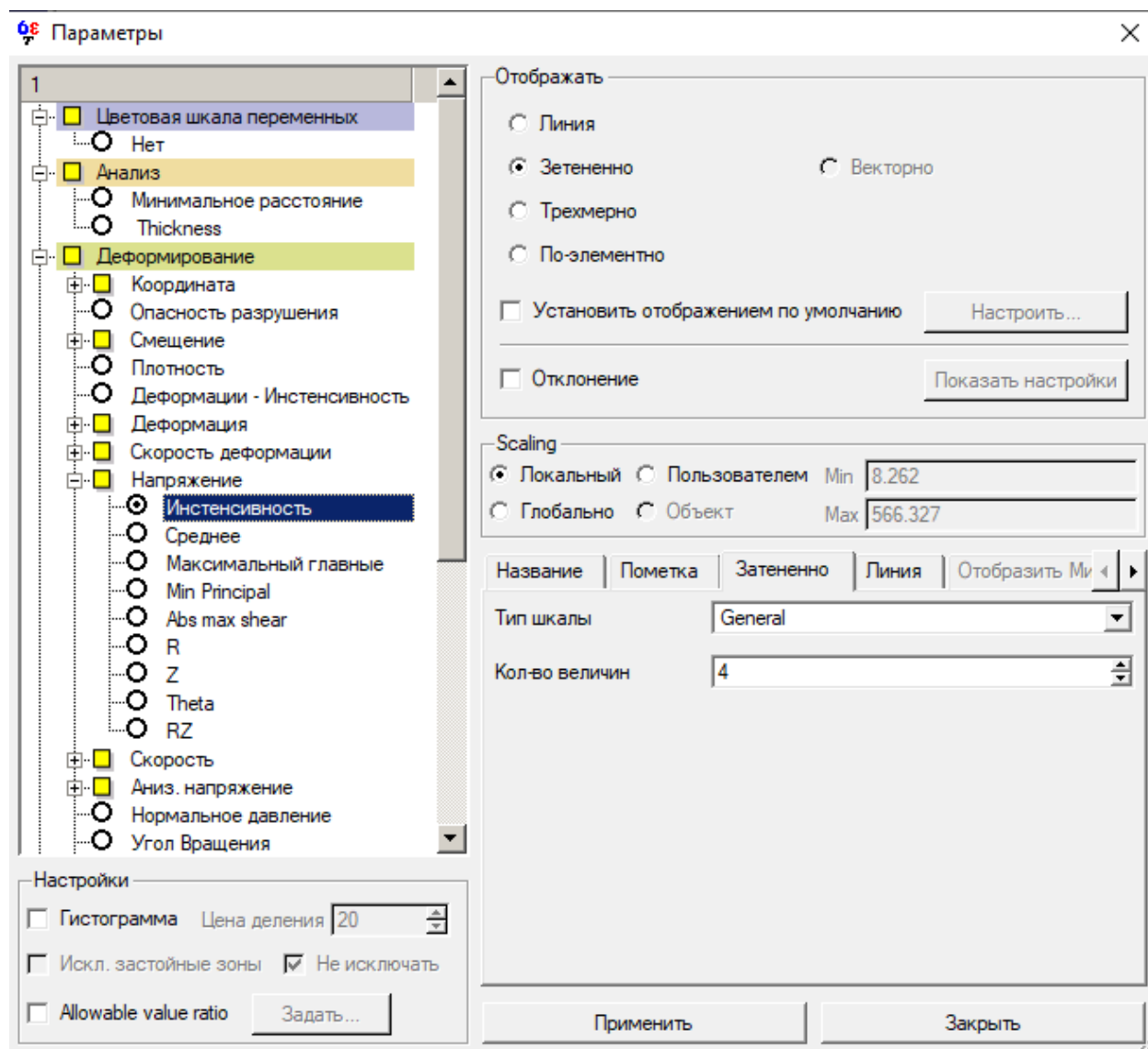


Рис. 4.44 Меню параметров

Теперь можно производить анализ полученных результатов, полученных при разных параметрах.

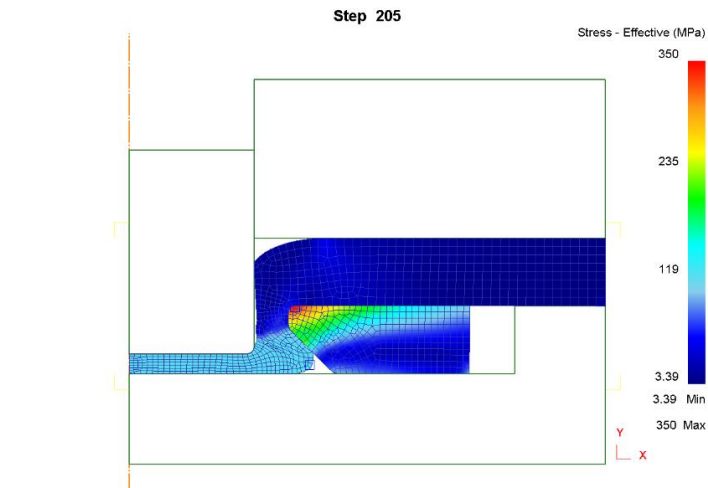



Рис. 4.45 Напряжения в пластинах

### Измерения напряжений.

Напряжения можно измерить в каждом узле по отдельности. Для этого воспользуемся функцией “данные узла” . Нажмем узел, который хотим исследовать. В появившемся окне будет указан номер этого узла и его параметры. Значение напряжений будет показано стрелочкой на графике находящемся справа на экране.

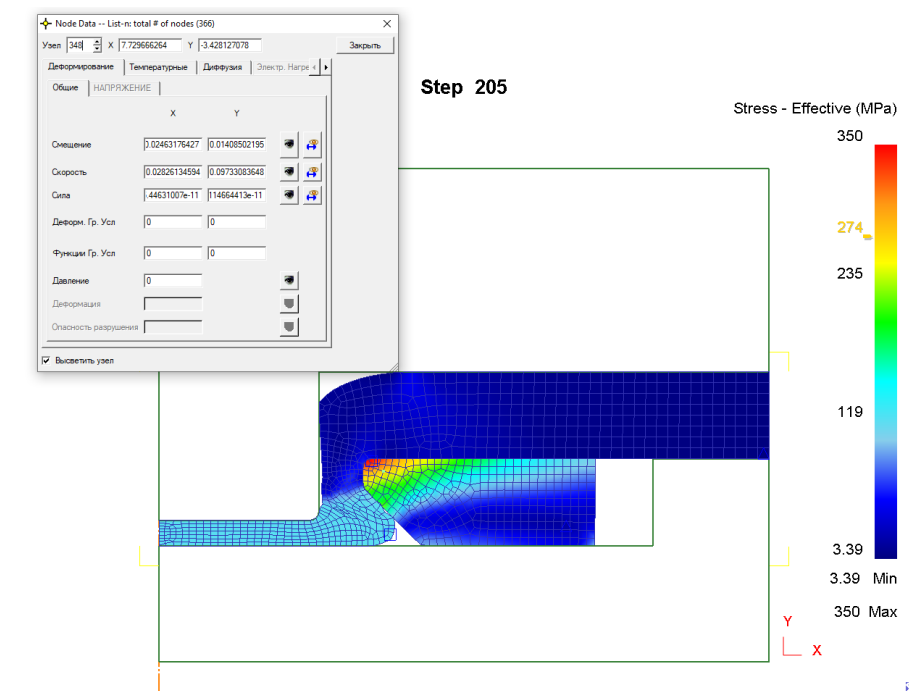



Рис. 4.46 Характеристики узла

## Измерение геометрических форм и размеров.

Иногда в расчетах требуется произвести измерения отдельных точек упруго-пластичной модели. Для этого нажмем . Необходимо указать две точки между которыми необходимо задать измерения. Размеры будут указаны в мм.

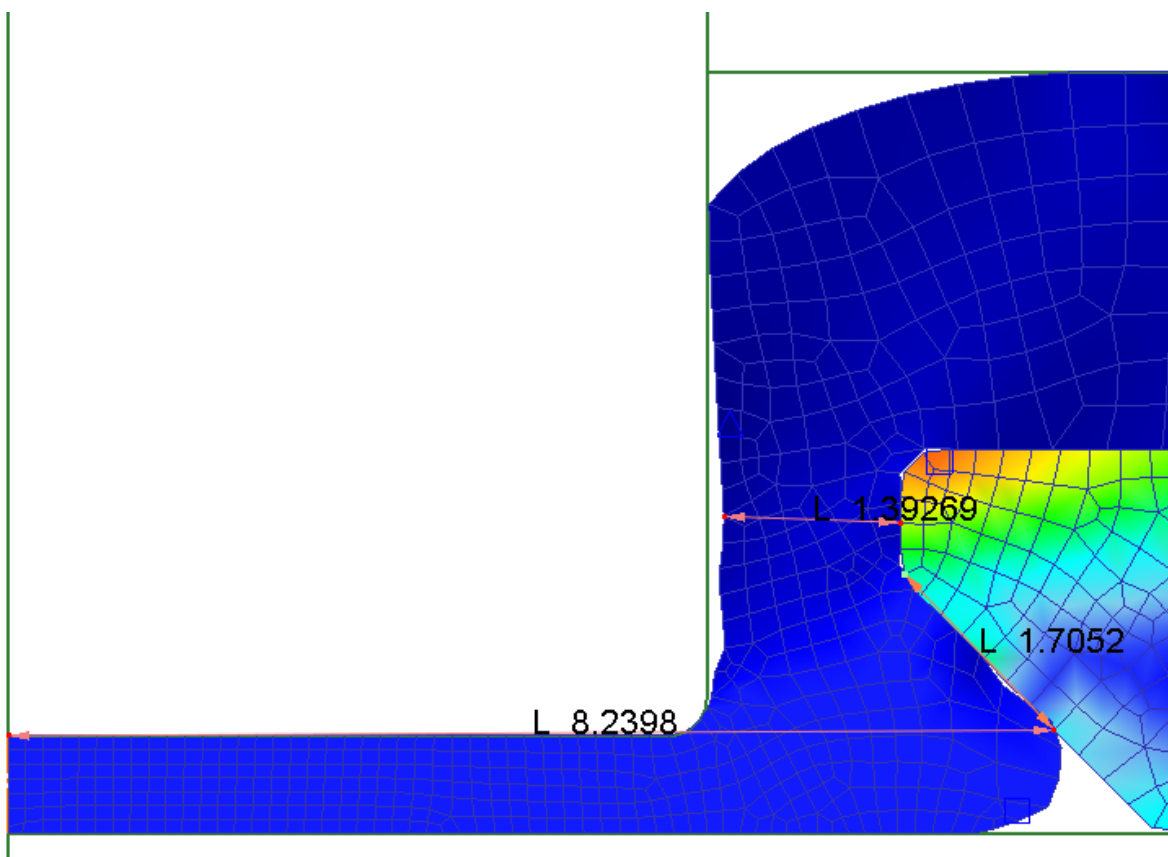


Рис. 4.47 Измерение размеров

## 5. Параметрические исследования соединений с различной геометрией отверстия в материале большей твердости.

На основе разработанной упруго-пластической математической модели проведены исследования клинч-соединения.

С точки зрения получения максимальной прочности клинч-соединения, необходимо получить стержень соединения с максимально возможными площадями  $S1$  и  $S2$ . Причем площадь  $S1$  работает на срез и растяжение от действия, а площадь  $S2$  на смятие от действия продольно-поперечных усилий  $F_{xy}$  (как геометрическая сумма продольных и поперечных усилий  $F_{xy} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ ) и отрывных усилий  $F_z$  (см рис. 5.1).

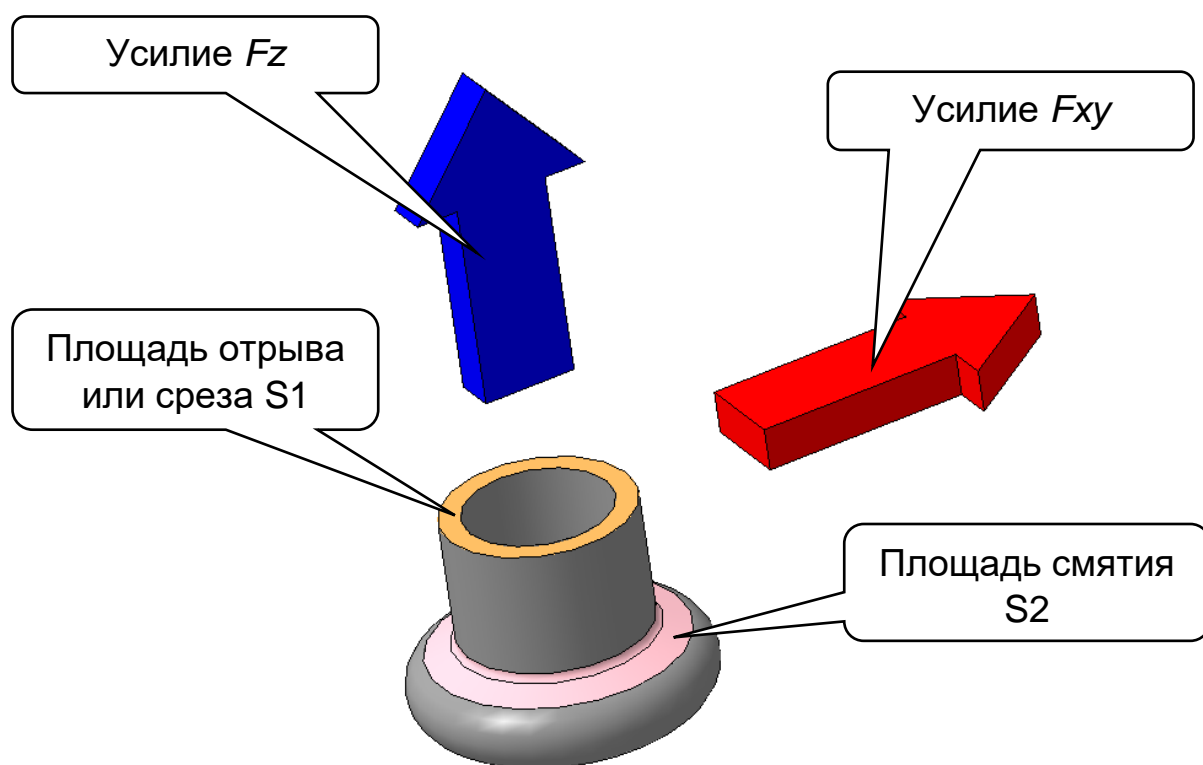


Рис. 5.1 Усилия и площади стержня соединения, воспринимающие нагрузку от усилий

Также не менее важным геометрическим параметром стержня соединения является концентратор напряжения, который образуется при формировании стержня соединения и зависит от предварительно выполненной фаски нижнего (более твердого материала) см рис 5.2. Чем меньше радиус округления корня стержня, тем выше коэффициент концентрации напряжений, и тем выше вероятность разрушения в данном месте от действия отрывных усилий  $F_z$ .

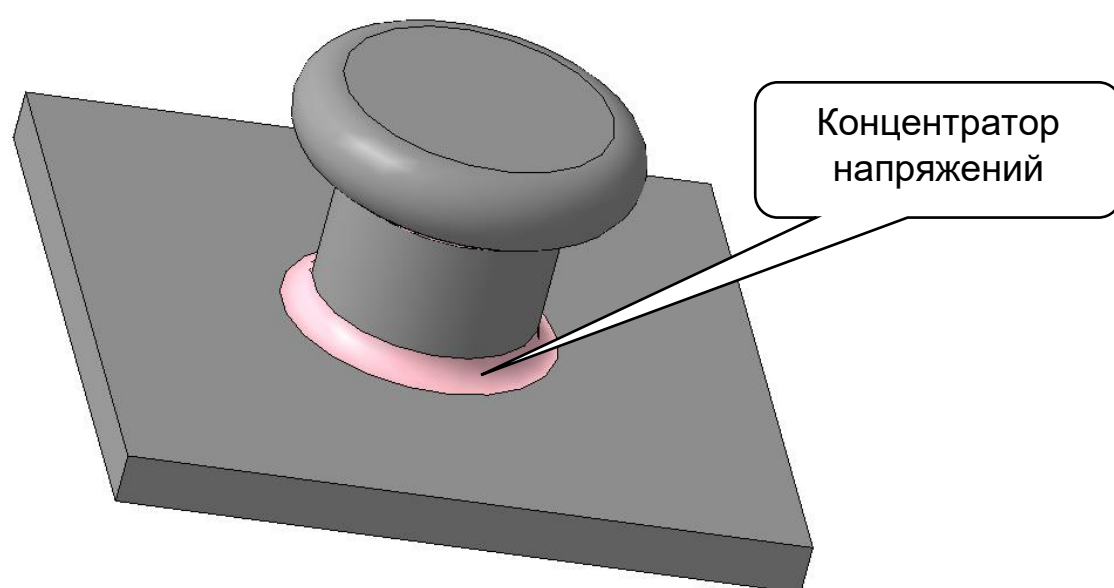


Рис. 5.2 Концентратор напряжений в галтели корня стержня

Для определения коэффициента концентрации напряжений в галтельном переходе, проведены расчеты на прочность стержня клинчатого соединения на программном комплексе ANSYS 18.2. Пример расчета приведен на рис 5.3, а результаты расчетов приведены на графике зависимости коэффициента концентрации напряжений от радиуса галтели (см. рис. 5.4).

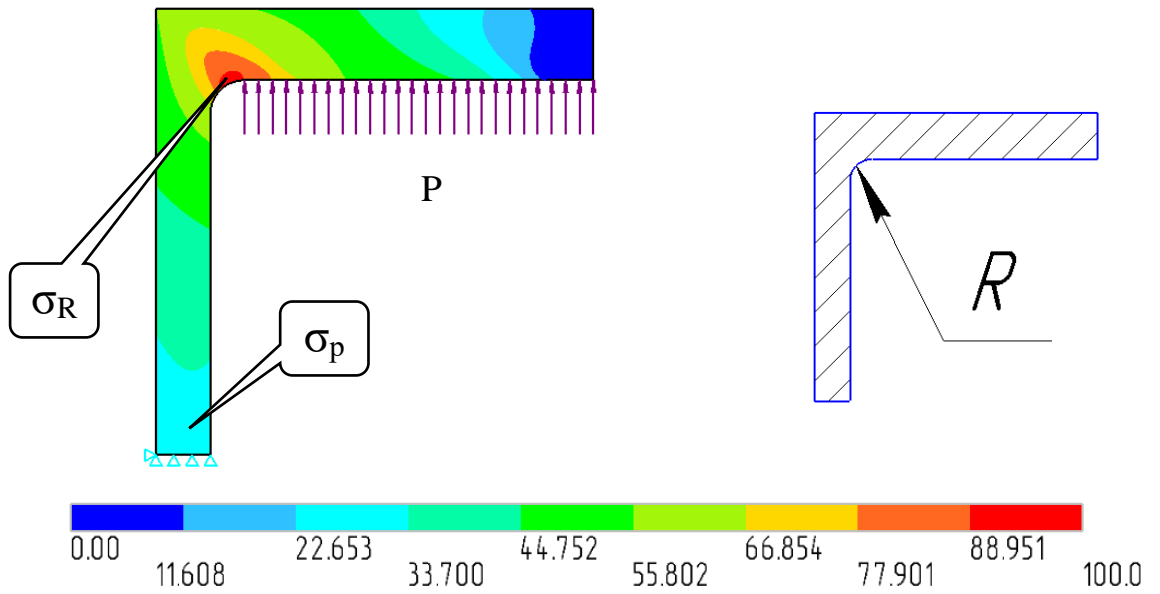


Рис. 5.3 Пример расчета интенсивности напряжений в галтели корня стержня клинчатого соединения, от действия отрывающих сил  $P$ , для определения коэффициента концентрации напряжений  $K_\sigma = \sigma_R / \sigma_p$ .

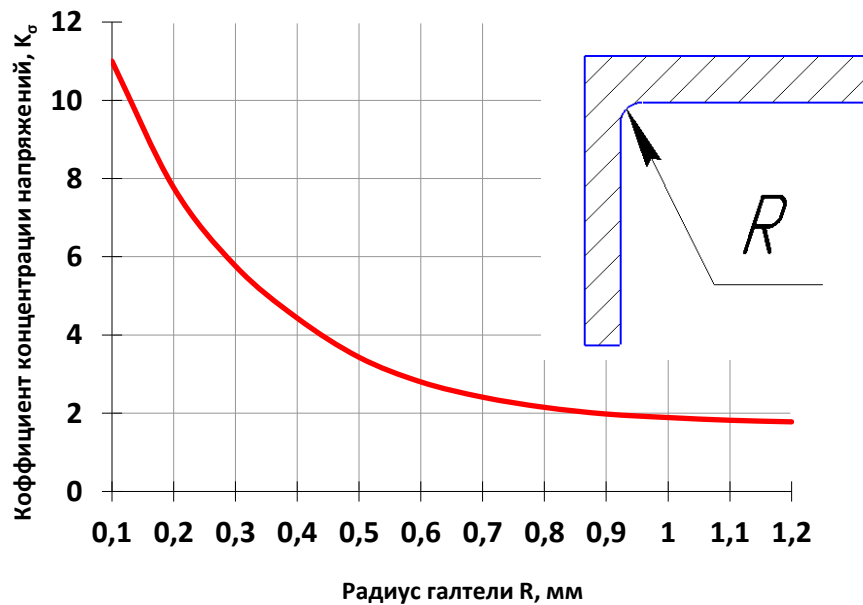


Рис. 5.4 График зависимости концентрации напряжений от радиуса галтели

Из графика видно, что оптимальный радиус галтели составляет 0,5 – 0,7 мм. Дальнейшее увеличение радиуса галтели не приведет к существенному увеличению прочности соединения. Но, с другой стороны, увеличение радиуса галтели потребует увеличения толщины перфорированного листа. Исследование влияния толщины перфорированного листа на прочность, при процессе клинчевания приведены ниже.

Разрушение материалов в месте образования клинч-соединения могут происходить не только при работе соединения в эксплуатации, но и в технологическом процессе образования соединения. Разрушения могут происходить как в пластичном материале, так и в более твердом материале. В связи с этим проведен ряд расчетно-теоретических исследований, позволяющих получить оптимальные значения геометрических характеристик клинч-соединения (см. рис.5.5).

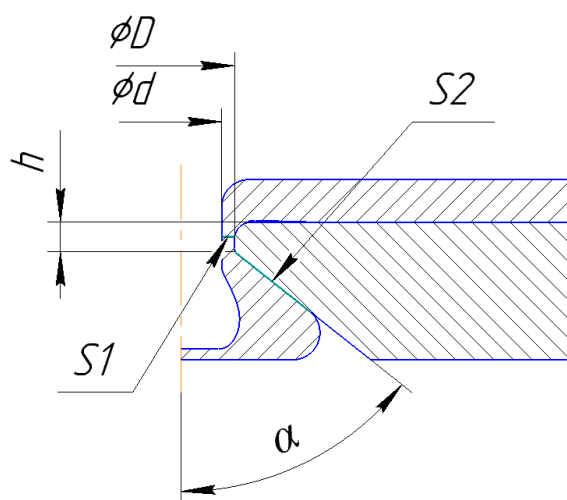


Рис. 5.5 Геометрические параметры клинч-соединения

Исследованию были подвержены следующие геометрические параметры:

D – Диаметр отверстия в перфорированном листе;

$d$  – Диаметр пуансона;

$h$  – Высота отверстия;

$\alpha$  – Угол зенкованной части отверстия;

$S_1$  – Площадь среза и отрыва от действия внешних сил;

$S_2$  – Площадь смятия от действия внешних сил.

### **Исследование на прочность листа от усилий в процессе клинчевания.**

Для исследования использовалась конечно-элементная упруго-пластичная математическая модель. Модель составлена и решена с использованием программных средств комплекса Deform.

При исследовании изменялись:

- значения углов зенковки  $\alpha$  в пределах от  $5^0$  до  $70^0$ ;
- значение диаметров пуансона  $d$  в пределах от 10,5 до 11,5 мм при постоянном значении диаметра отверстия  $D$ ;
- высота отверстия  $h$  от 0,6 до 1,2 мм при постоянном радиусе  $R$  галтели;
- механические характеристики материалов не изменялись.

### **Критерии завершения процесса клинчевания:**

- Начало подъёма верхнего материала над нижним материалом (см. рис. 5.6).



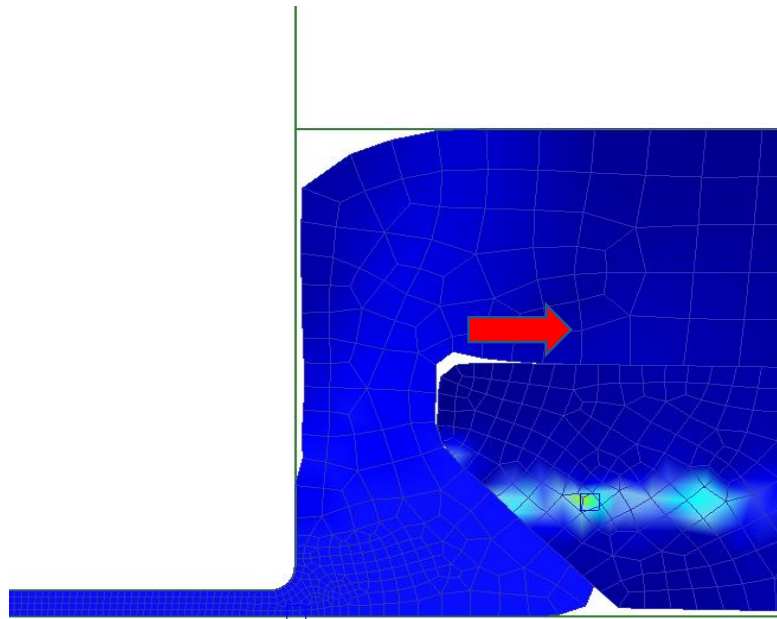


Рис 5.6 Демонстрация критерия начала подъема пластичного материала

- Начало вспучивания мягкого материала внутри стержня клинч-соединения (см. рис 5.7).

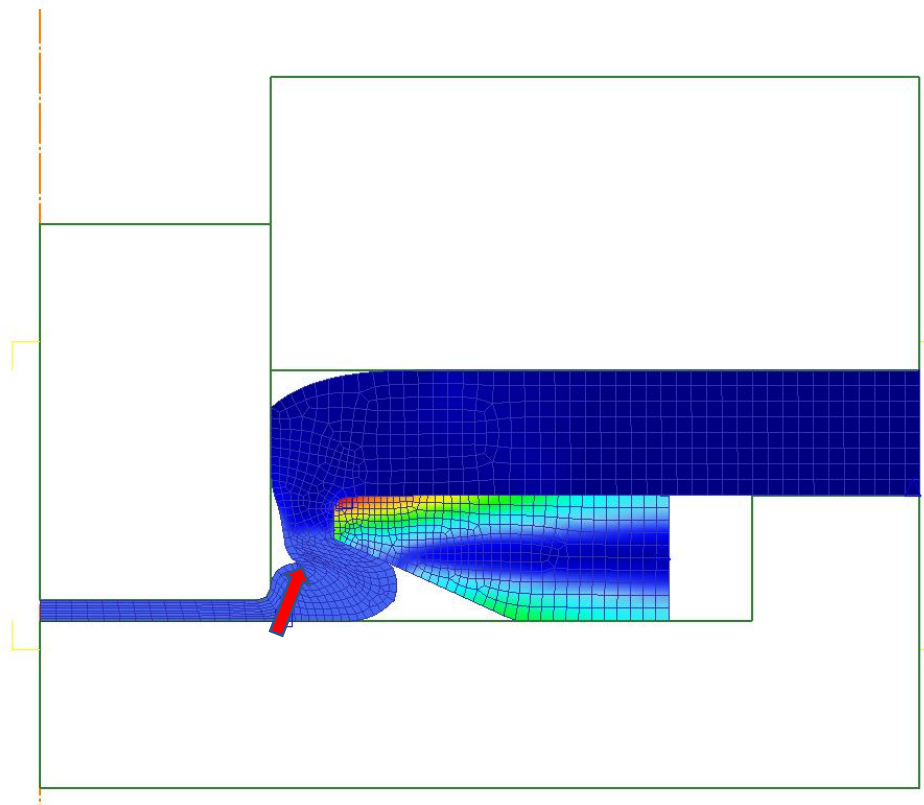


Рис 5.7 Демонстрация критерия начала вспучивания пластичного материала

- Уменьшение толщины дна стержня клинч-соединения менее 1мм

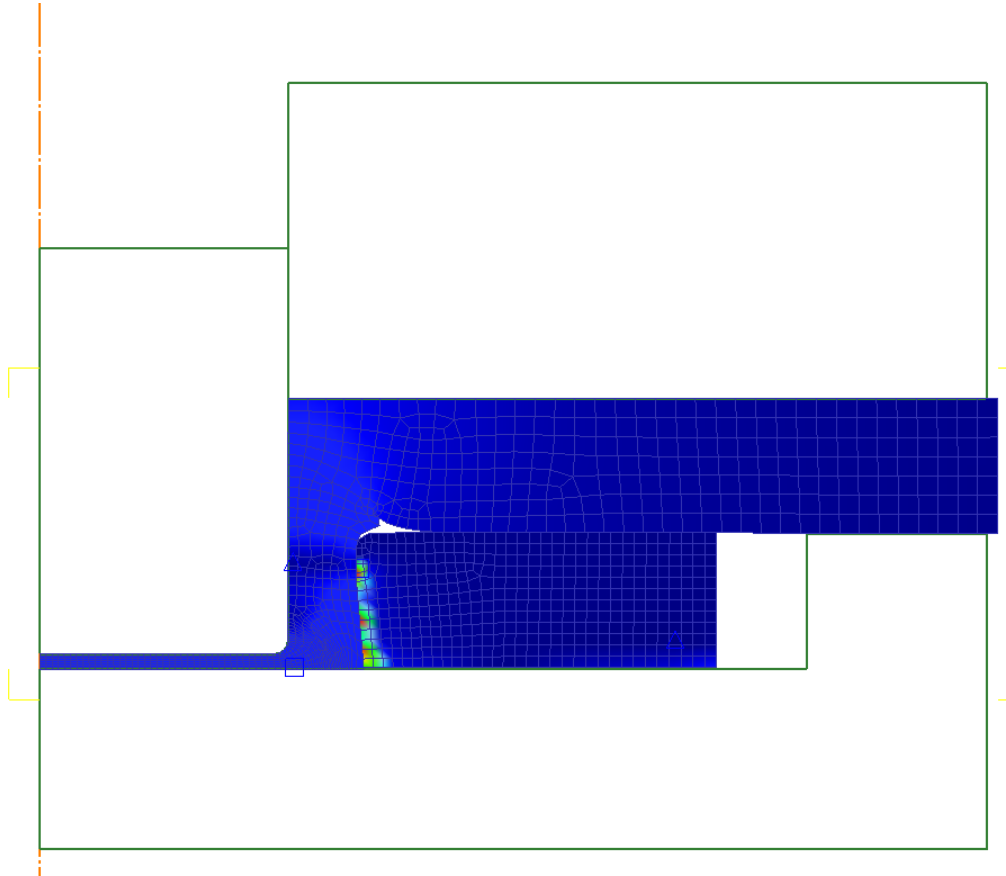


Рис 5.8 Демонстрация уменьшения толщины дна стержня клинч-соединения менее 1мм.

- Прекращение увеличения контактной площади смятия S2.

Исследуемые характеристики:

- Интенсивность напряжений в перфорированном листе (см. рис. 5.9);

- Площади среза и отрыва S1 стержня клинч-соединения (см. рис. 5.1);

- Контактные площади смятия S2 (см. рис. 5.1).

На рис. 5.9 изображена конечно-элементная сетка и интенсивность напряжений в упруго-пластичной модели соединения.

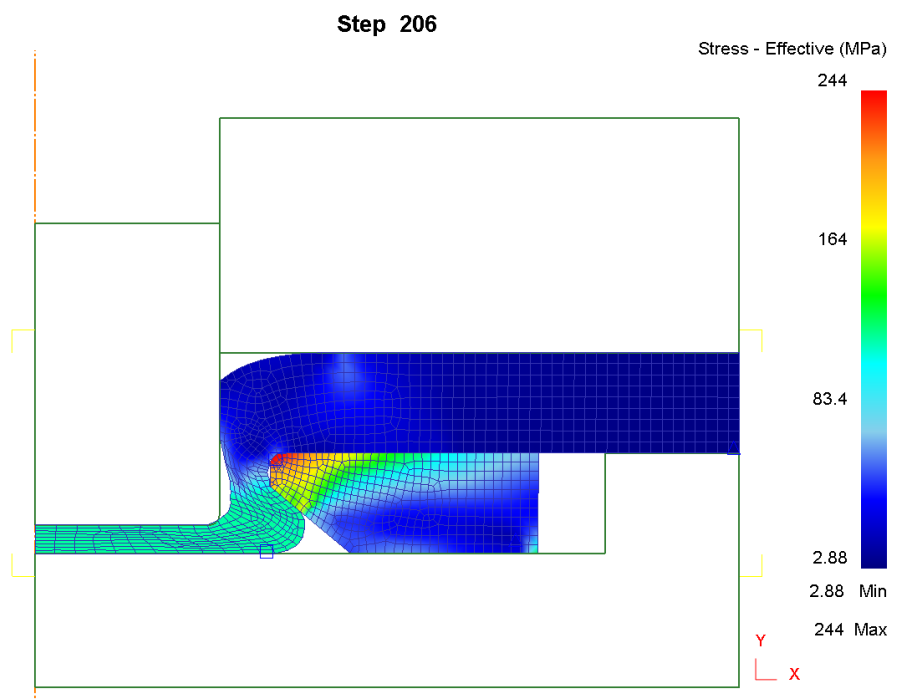


Рис. 5.9 Интенсивность напряжений, полученная в результате одного из расчетов

Результаты расчетов занесены в таблицу 5.1. В результате расчетов наблюдается некоторый разброс результатов из-за погрешностей расчетов, вызванных неточностями при автоматизированном перестроении конечно-элементной сетки, в следствии больших деформаций. Для анализа полученных результатов данные были подвержены корреляционной обработке.

Таблица 1

Диаметр пуансона	Угол зенковки													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
10,5	152	236	307	374	438	493	539	589	631	673	674	564	340	540
11,0	114	194	267	328	383	429	475	516	548	548	394	320	600	990
11,5	255	371	475	554	623	675	710	730	707	577	414	354	600	803

Далее данные приведены в виде графиков с гладкими интерполяционными кривыми.

На рис 5.10 приведен график зависимости интенсивности напряжений от угла зенковки  $\alpha$  и диаметра пуансона -  $d$ . При клинчевании с углом больше  $60^\circ$  наблюдается некоторое снижение напряжения, а затем резкий рост. Основной причиной данного явления является уменьшение толщины жесткого (нижнего листа), что вызывает большую обратную деформацию листа и как следствие изменение направления напряжений. Иллюстрация к данному явлению приведена на рис. 5.12

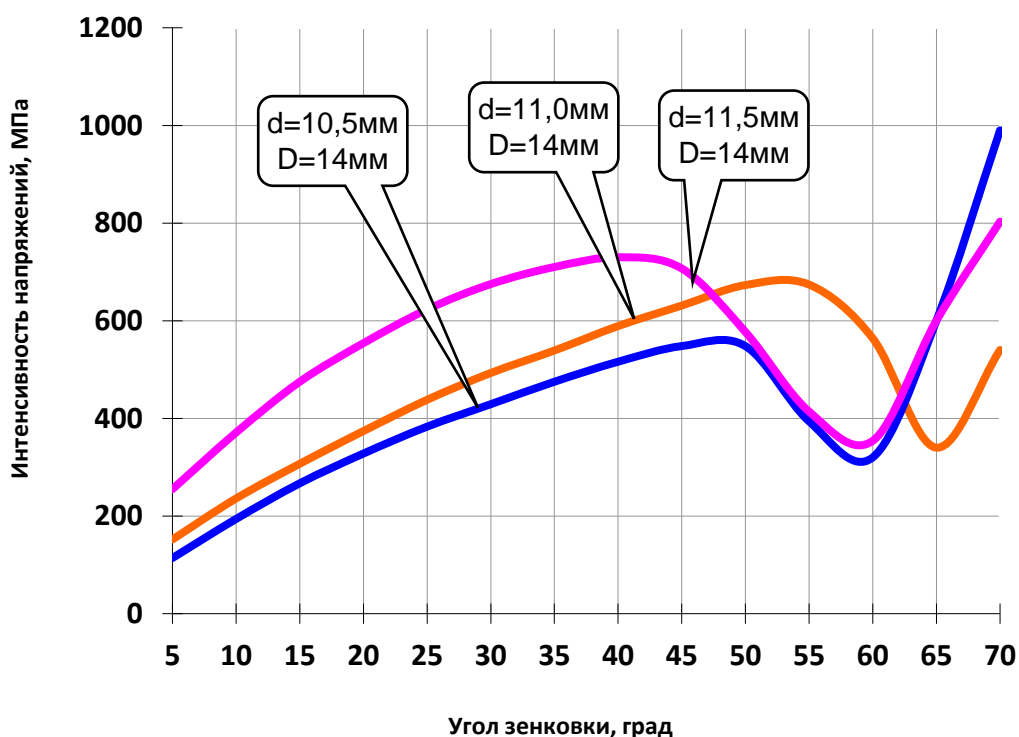


Рис 5.10 График зависимости интенсивности напряжений и угол зенковки в жестком листе

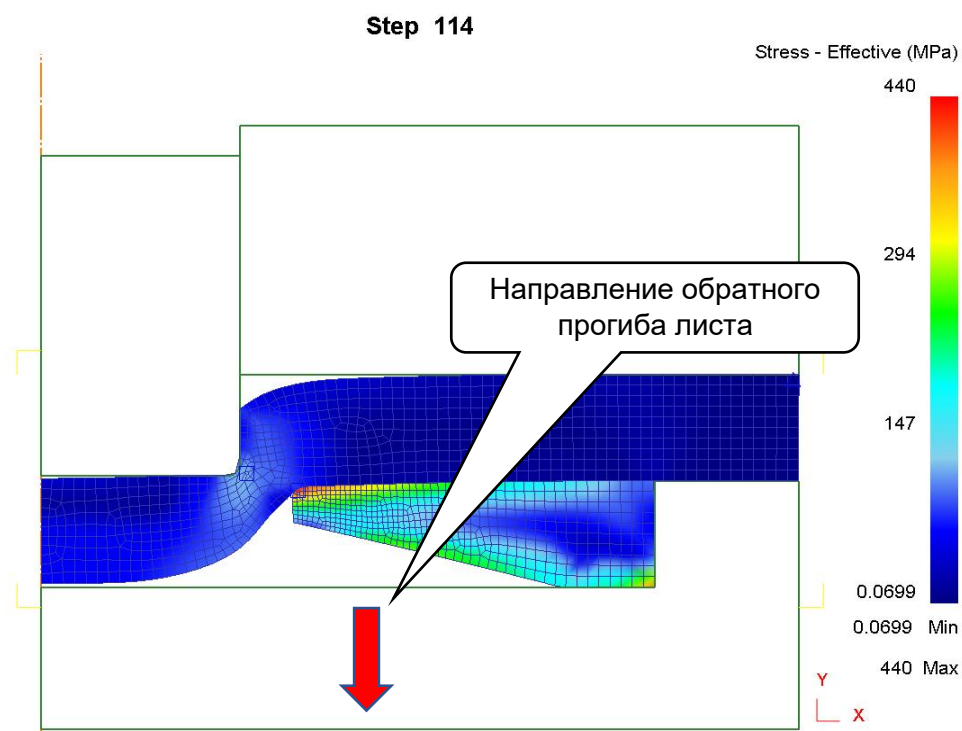


Рис 5.11 Иллюстрация обратного прогиба жесткого листа

На основе графика, приведенном на рис 5.10, можно сделать вывод, что при увеличении зазора между пуансоном и отверстием, напряжения, в перфорированном листе, уменьшаются, но наполнение пластичным материалом отверстия - ухудшается. Это показывают исследования, которые приведены далее.

Как уже отмечалось раньше, важными параметрами, отвечающими за прочность клинч-соединения, являются площадь среза и отрыва  $S_1$  и контактная площадь смятия  $S_2$ . Дальнейшие исследования посвящены определению влияния геометрии соединения на эти площади.

Таблица 2

Диаметр пуансона	Угол зенковки													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
10,5	64	75,1	84,3	91,1	96,8	101,3	105	106,6	106,6	102,8	94,5	81,2	63,3	41,7
11,0	61,5	70	78,6	84,9	91,3	96,5	100,3	101,4	100,9	96,8	86,4	72,8	51,3	25,2
11,5	67,6	80,8	91,6	100	108,2	114,6	119,4	122,1	124,4	125,1	122,4	113,3	96,7	61,2

В таблице 2 приведены данные расчета, а на рис 5.13 изображен график изменения контактной площади  $S_2$  в зависимости от угла зенковки и диаметра пуансона. Измерения проводились при помощи средств программы DEFORM (рис. 5.12).

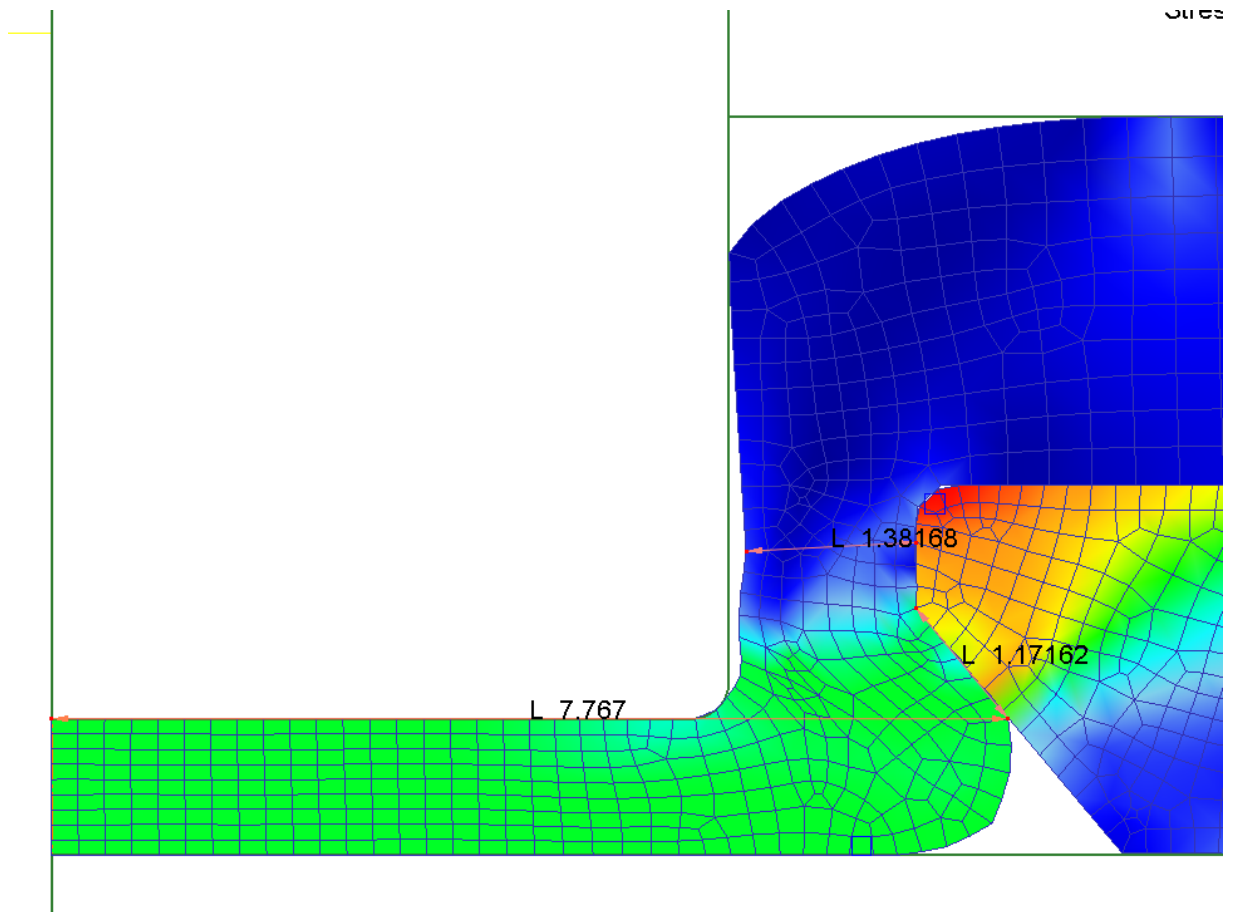


Рис. 5.12 Измерение геометрии при помощи программы DEFORM

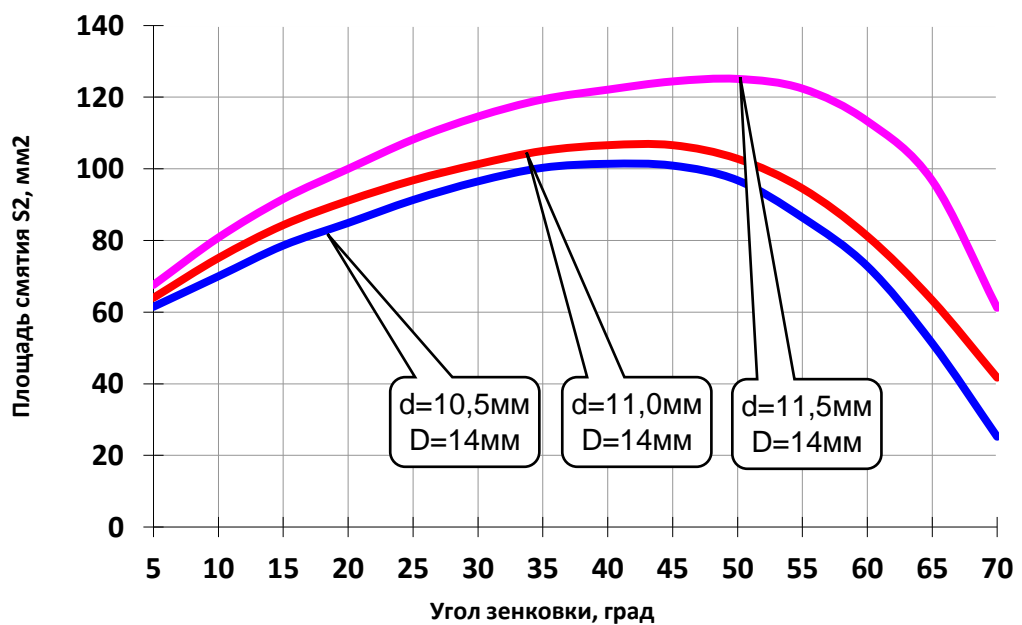


Рис. 5.13 Изменение площади смятия в зависимости от диаметра пуансона и угла зенковки.

В таблице 3 приведены данные расчета, а на рис 5.14 изображен график изменения площади среза и отрыва  $S_1$  в зависимости от угла зенковки и диаметра пуансона.

Таблица 3

Диаметр пуансона	Угол зенковки													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
10,5	51	49,9	48,8	48	47,33	46,8	46,4	46,32	46,71	47,49	48,6	49,61	50,77	51,74
11,0	48,84	49,28	49,6	49,82	50	50,16	50,28	50,28	50,23	50,06	49,86	49,48	49,07	48,52
11,5	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44

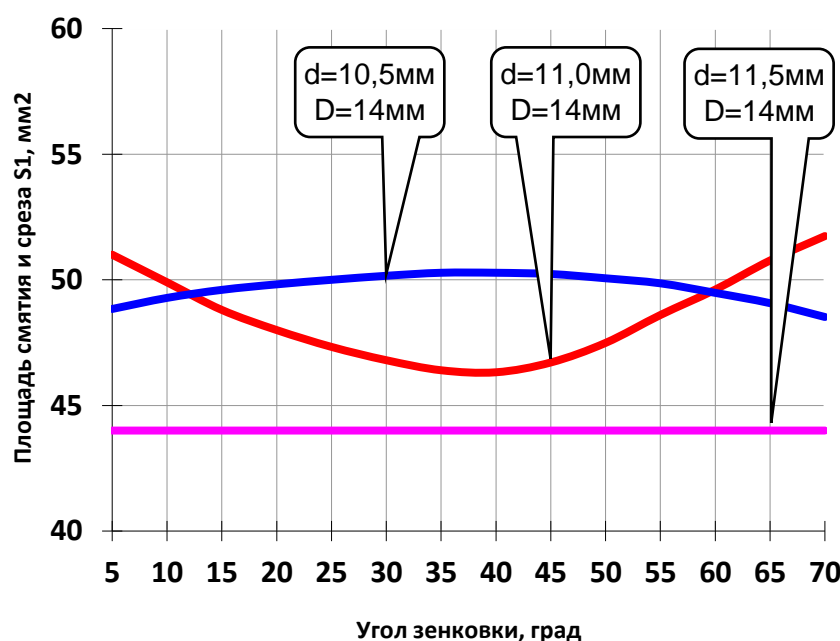


Рис. 5.14 Изменение площади среза и отрыва в зависимости от диаметра пуансона и угла зенковки

В результате анализа графиков на рис 5.13 и 5.14 можно сделать вывод, что для получения максимальной площади смятия  $S_2$  лучше использовать отверстие с зенковкой  $45^\circ - 50^\circ$  с минимально возможным (необходимо учитывать другие критерии) зазором между пуансоном и отверстием. А для получения максимальной площади среза и отрыва необходимо использовать пуансон с максимальным зазором между пуансоном и отверстием. Угол зенковки должен составлять  $40^\circ$ .

Обобщая промежуточные выводы, можно сделать заключение, что наиболее оптимальной геометрией, для выбранных материалов, толщины листов и типоразмера пуансона является:

1. Оптимальный угол зенковки от  $40^{\circ}$  до  $55^{\circ}$
2. Оптимальный размер пуансона 11 мм
3. Радиус галтели 0,5 – 0,7 мм

Проведены исследования влияния толщины перфорированного листа на действующие в нем напряжения в процессе клинчевания. В таблице 4 приведены данные расчета, а на рис. 5.15 изображен график зависимости интенсивности напряжений от толщины листа. Для получения различных вариантов расчета изменялся только один параметр  $h$  в пределах от 0,6 до 1,4 мм (см. рис. 5.5).

Таблица 4

Диаметр пуансона	Параметр $h$ , мм								
	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4
11	707	654	616	593	576,8	565,2	558	552,9	550

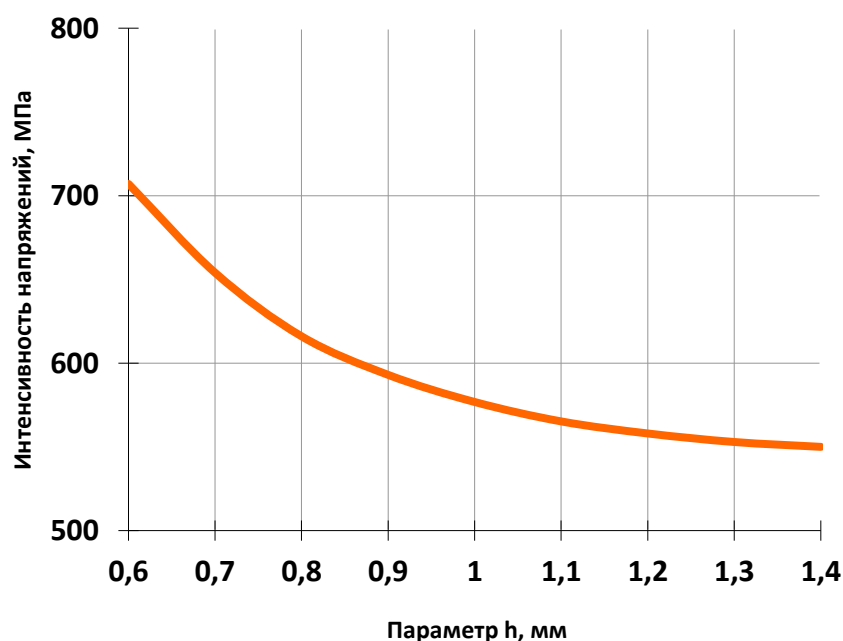


Рис. 5.15 График изменения интенсивности напряжений в перфорированном листе в зависимости от изменения толщины листа



На основании приведённого графика можно сделать вывод, что с увеличением толщины перфорированного листа интенсивность напряжений падает.

Параметры	Д16АМ	30ХГСА
Предел текучести	145 МПа	785 МПа
Предел прочности	235 МПа	835 МПа
Удлинение	10%	11%
Модуль упругости G	200 ГПа	70 ГПа
Модуль сдвига	84 ГПа	27 ГПа
Коэффициент Пуансона	0,34	0,3

Рис. 5.16 Характеристики материалов

## **6 Экспериментальное исследование клинч-соединения.**

### **Модернизация технологической установки стенда для экспериментального исследования технологии образования клинч-соединения**

Для исследования процессов клинч-соединения и подтверждения результатов расчетов, проведенных в компьютерной программе Deform, было решено модернизировать существующую установку, созданную в КАИ. В основу установки применен универсальный гидравлический пресс ОМА 653.



Рис. 6.1 Универсальный гидравлический прессе ОМА 653

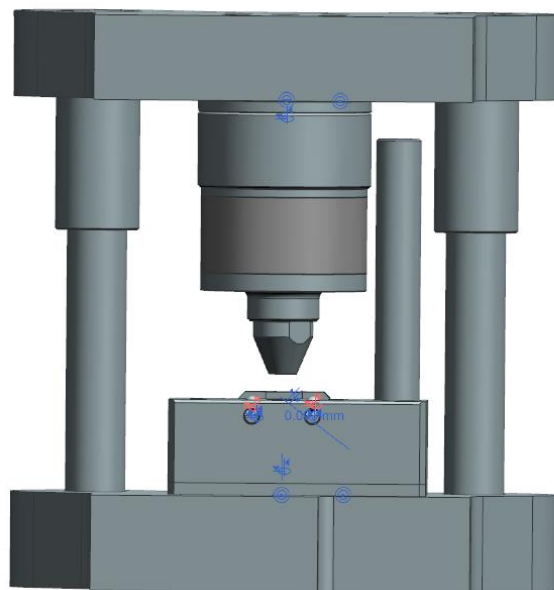


Рис. 6.2 Существующая оснастка для прессы

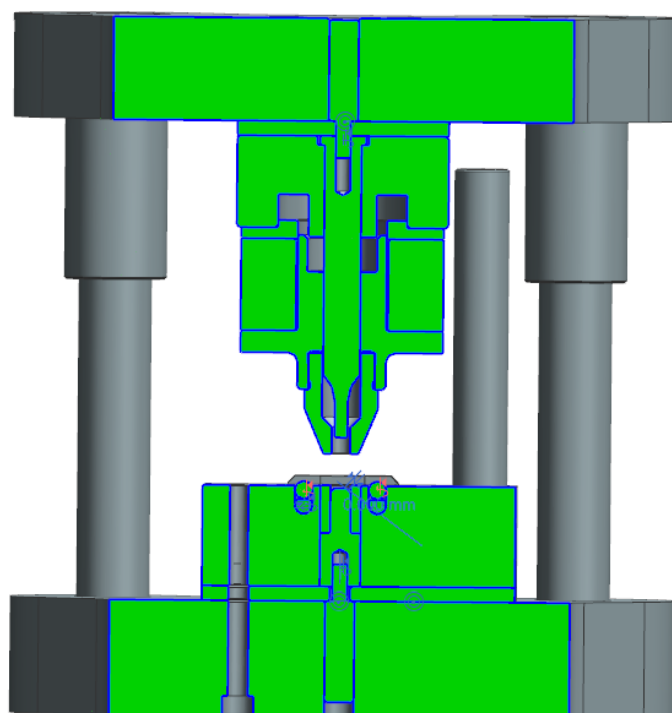


Рис. 6.3 Разрез существующей оснастки для прессы

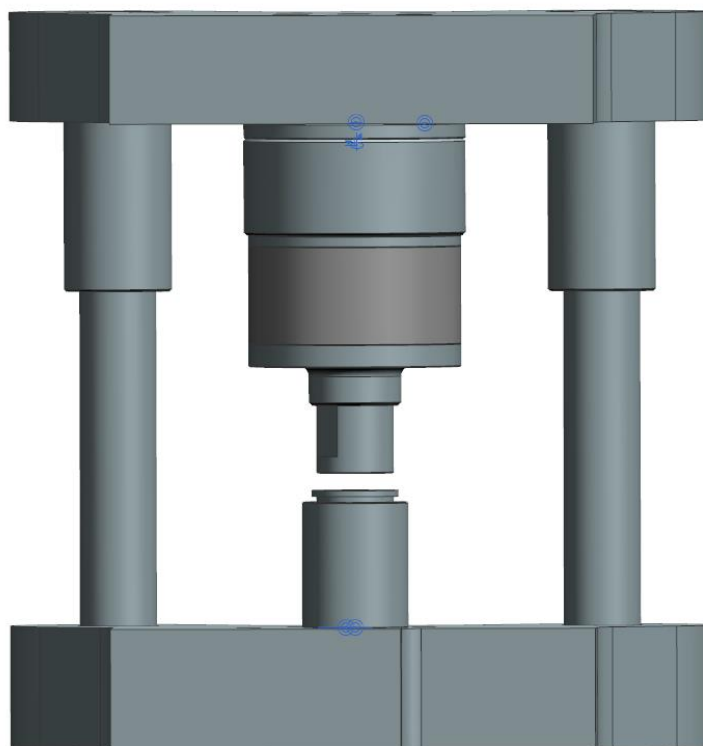


Рис. 6.4 Модернизированный пресс

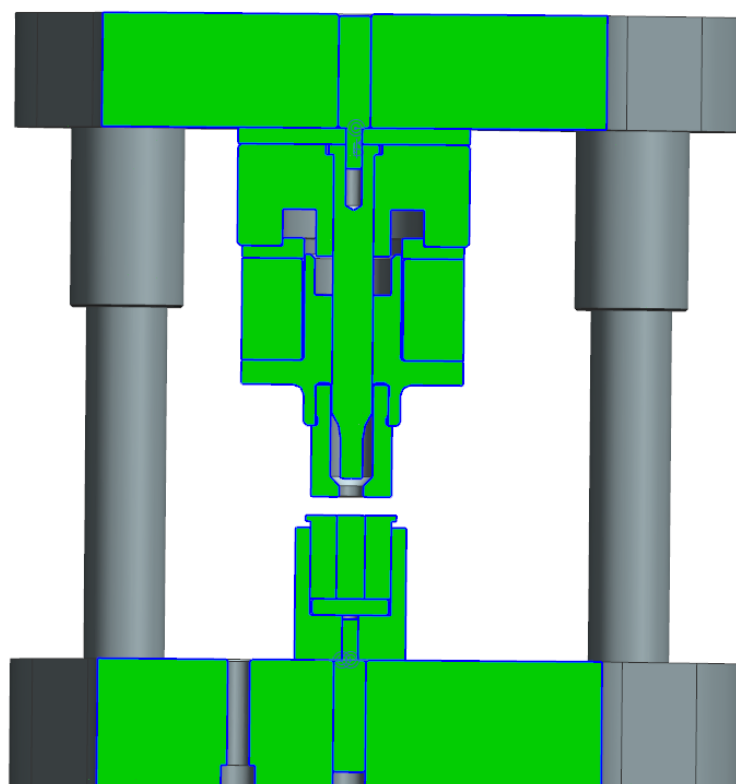


Рис. 6.5 Модернизированный пресс в сечении

В результате модернизации были разработаны конструкторские чертежи для изготовления деталей. Чертежи прилагаются в приложении к работе.

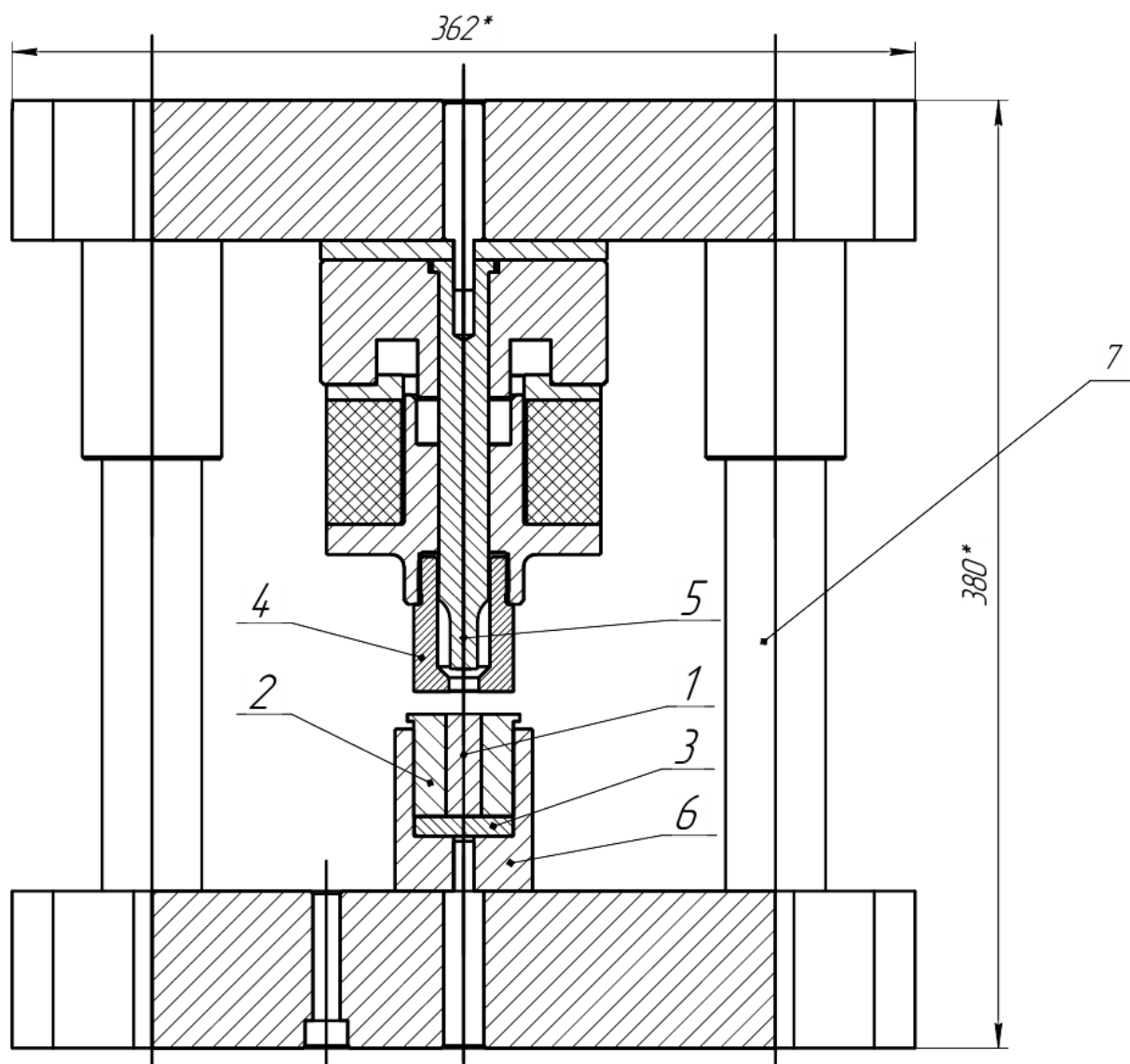


Рис. 6.6 Сборочный чертеж

1 – Вставка наковальня, 2 – наковальня, 3 – плита подкладная, 4 – прижим, 5 – пуансон, 6 – стакан, 7 – приспособление для создания клинч-соединений.

## **Заключение.**

Предложена новая схема формирования клинч-соединения обеспечивающая соединение двух металлических деталей существенно разной твердости.

Разработан процесс формирования клинч-соединения в программном комплексе DEFORM 2D.

## Литература

1. Закиров И.М. Влияние геометрических размеров оснастки и настроечных параметров на характеристики клинч-соединения / И.М. Закиров, А.В. Сосов, А.В. Никитин // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. - 2013.- №4, с.51-54.
2. Закиров И.М. Испытания клинч-соединения на прочность / И.М. Закиров, А.В. Сосов, А.В. Никитин, С.А. Луканкин // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева.- 2012.- № 4-2, с. 58-60.
3. Отчет о научно-исследовательской работе по договору № 2496/17/07-10 от 16.07.2010 выполняемый в рамках комплексного проекта «Перспективные экологические колесные транспортные средства с высокими потребительскими свойствами и низким уровнем эксплуатационных затрат». Раздел «Технология клинч-соединения». Этапы № 1 – 5. Руководитель договора от КНИТУ-КАИ В.М. Гуреев. Руководители раздела от КНИТУ-КАИ: Н.И. Акишев, И.М. Закиров, А.В. Сосов. Исполнители раздела: А.В. Никитин, Р.Р. Файзрахманов, В.В. Колтунов, Н.А. Сосова, Д.В. Бережной, В.Н. Паймушин, С.А. Луканкин, И.И. Закиров, А.С. Вареник, Д.Г. Ошмарин, Т.Т. Валиуллин, С.А. Холмогоров.
4. Паршин В.С. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM 3D / В.С. Паршин, А.П. Карамышев, И.И. Некрасов, А.И. Пугин, А.А. Федулов – Екатеринбург: УрФУ, 2010. 266 с.
5. Patent US № 4584753 Apr.29, 1986.
6. Patent US № 2010/0018278 Jan. 28, 2010.
7. Патент RU № 2016100621 Способ соединения наложенных друг на друга металлических листов клинчеванием.
8. Патент RU № 155276 Устройство для соединения деталей из листового металла.

9. Патент RU № 20590424 Инструмент для соединения деталей из листового металла клинчеванием.

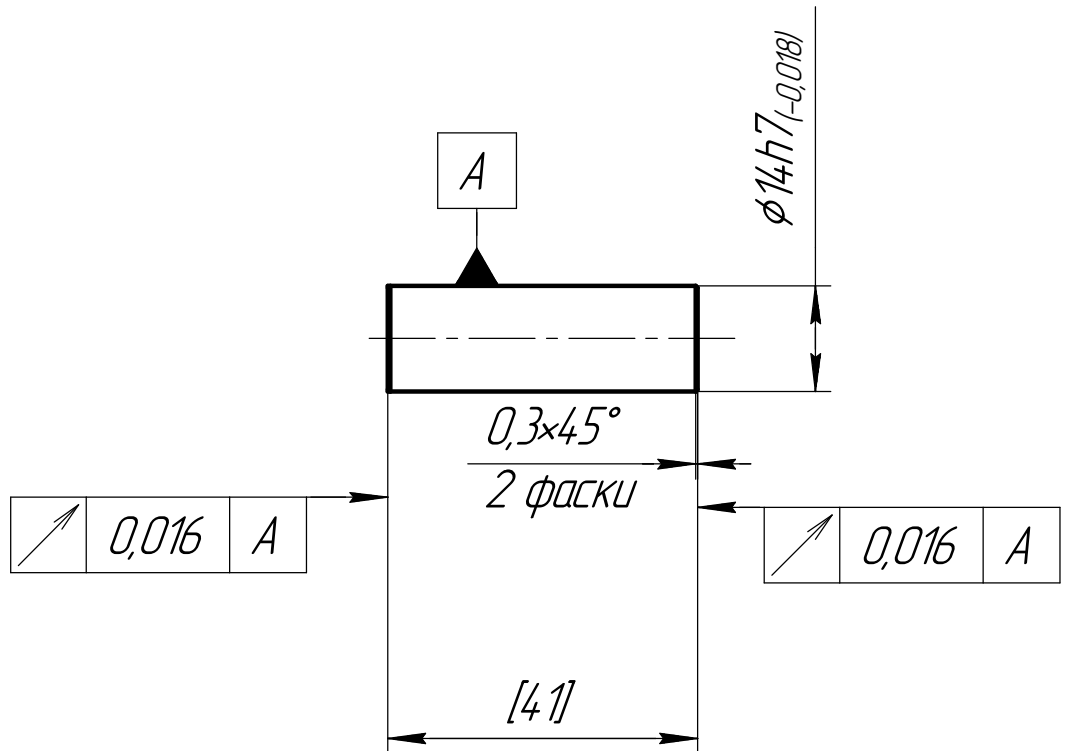


815.0.001

$\sqrt{Ra\ 3,2 (\sqrt{1})}$

Перв. примен.

Справ. №



1 60..63 HRC.

2 Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002  $\pm \frac{IT14}{2}$ .

3 Обработку по размерам в [ ] производить совместно с деталью "Наковальня 815.0.002"

Подп. и дата

Инв. № дробл.

Взам. инв. №

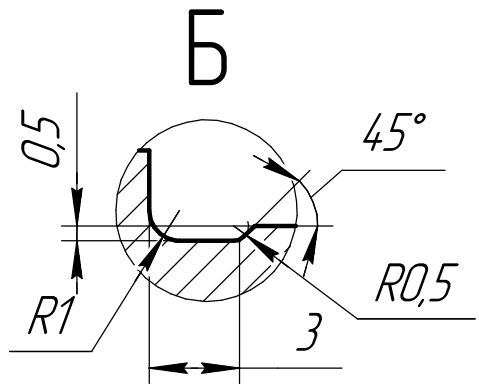
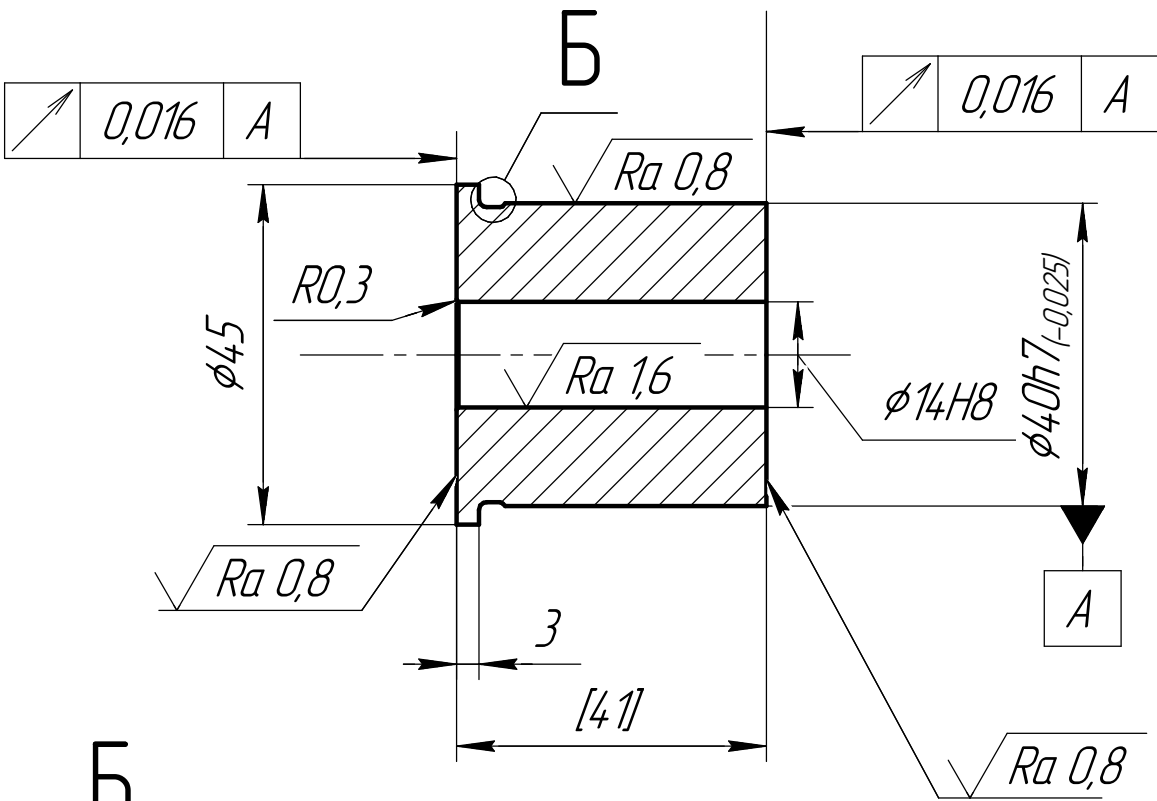
Подп. и дата

Инв. № подл.

					815.0.001		
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Вставка наковальня	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Еранов					0.05	1:1
Пров.	Сосов				Лист	Листов	1
Т.контр.					Сталь У8А ГОСТ 1435-99		
Н.контр.					КНИТУ-КАИ		
Утв.	Сосов						

815.0.002

$\sqrt{Ra\ 12,5 (\checkmark)}$



1 60...63 HRC.

2 Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 – H14, h14; остальных – IT14

$\pm \frac{2}{2}$ .

3 Все не обозначенные кромки притупить R0,3

4 Обработку по размерам в [ ] производить совместно с деталью "Вставка наковальня 815.0.001"

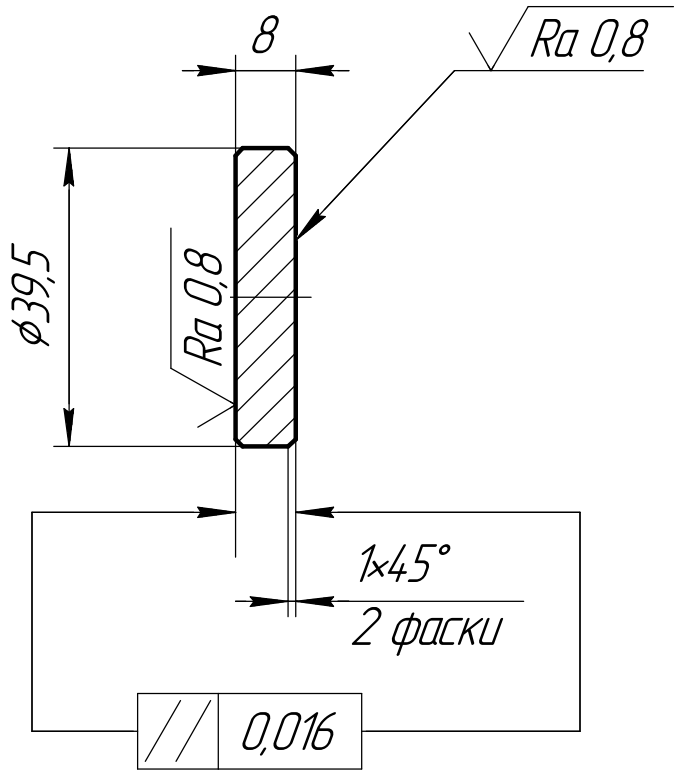
Перв. примен.  
Стр. №

Подп. и дата  
Инв. № дробл.  
Взам. инв. №  
Подп. и дата  
Инв. № подл.

					815.0.002		
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Наковальня</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Еранов					0,36	1:1
Проб.	Сосов				Лист	Листов	1
Т.контр.					<b>Сталь У8А ГОСТ 1435-99</b>		
Н.контр.							
Утв.	Сосов						

815.0.003

$\sqrt{Ra\ 12,5 (\checkmark)}$



1 60...63 HRC.

2 Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 -h14; остальных -  $\pm \frac{IT14}{2}$ .

Перв. примен.  
Справ. №

Подп. и дата  
Инв. № дробл.  
Взам. инв. №

Подп. и дата  
Инв. № подл.  
Н.контр.  
Утв.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Еранов		
Проб.		Сосов		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Сосов		

815.0.003

Плита подкладная

Сталь У8А ГОСТ 1435-99

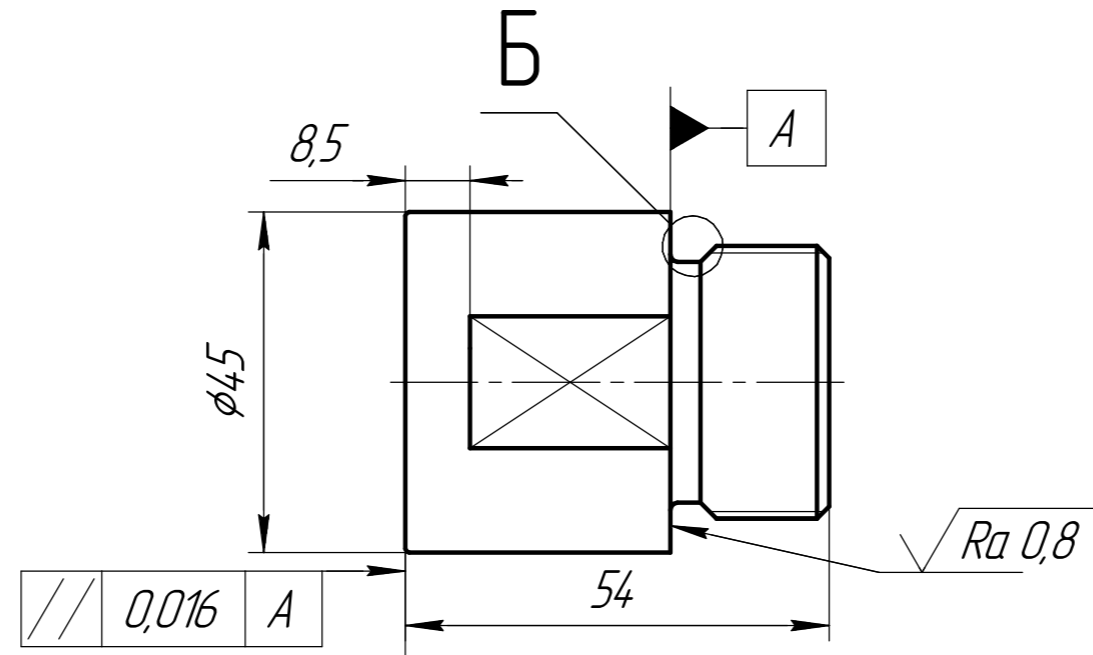
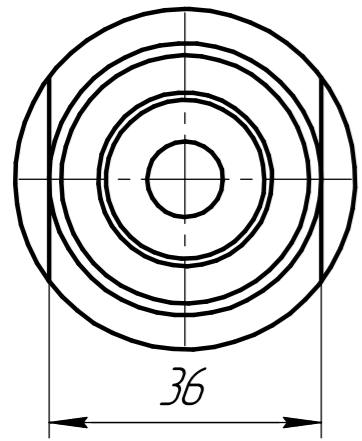
Лит.	Масса	Масштаб
	0.08	1:1
Лист		Листов 1
КНИТУ-КАИ		

815.0.004

$\sqrt{Ra 12,5 (\checkmark)}$

Перв. примен.

Справ. №



/// 0,016 A

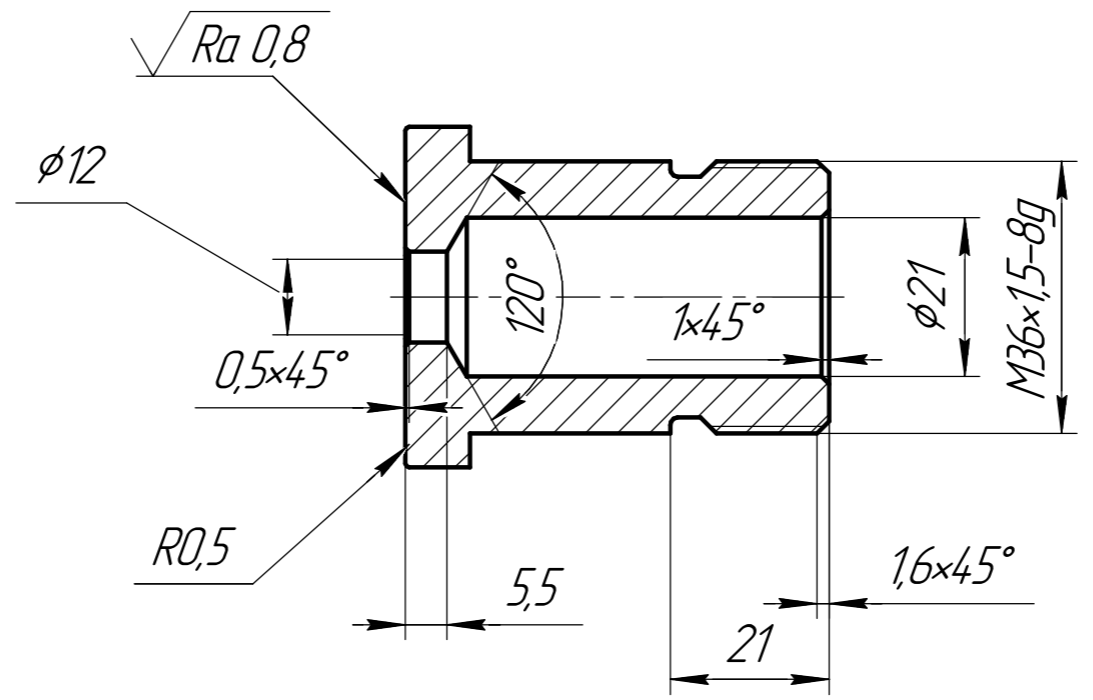
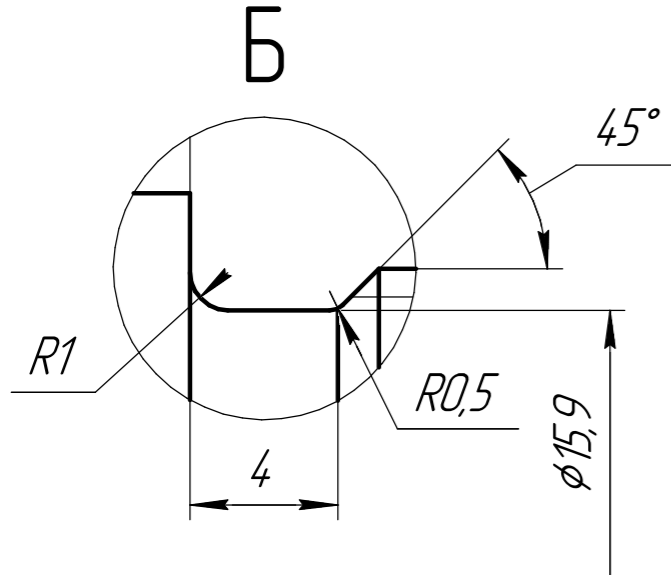
Подп. и дата

Изм. № дораб.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.

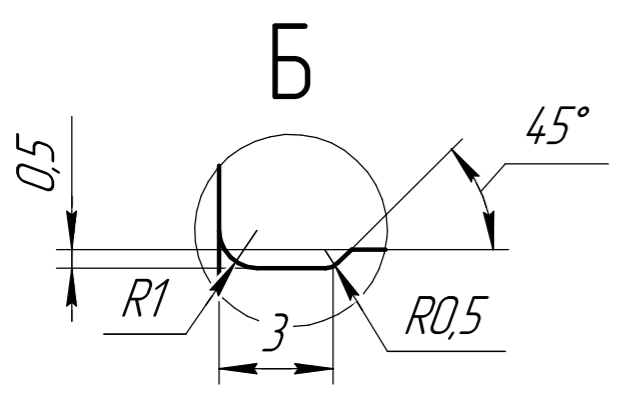
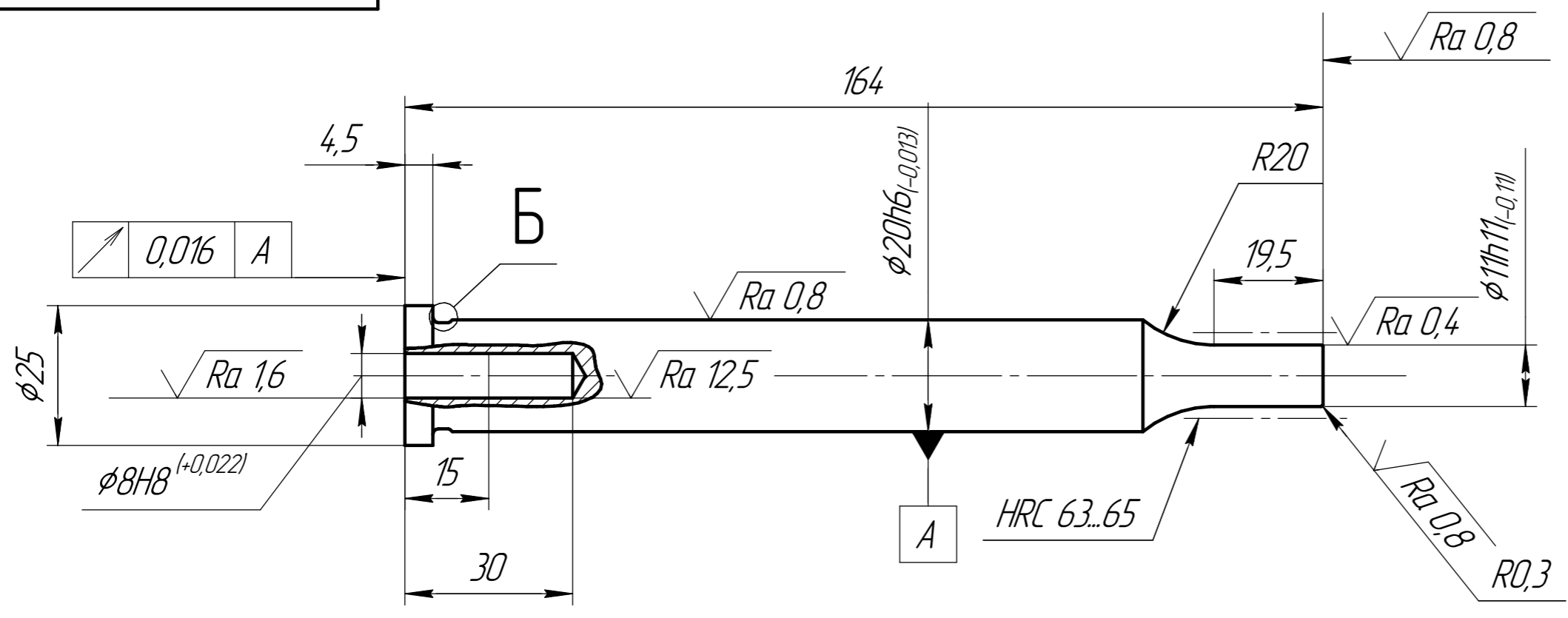


1 30...35 HRC.  
 2 Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 - H14, h14; остальных - ± IT14  
 2.

					815.0.004			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>ПРИЖИМ</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Еранов						0,36	1:1
Проб.	Сосов					Лист	Листов 1	
Т.контр.								
Н.контр.					Сталь 45 ГОСТ 1050-88	<b>КНИТУ-КАИ</b>		
Утв.	Сосов				Копировал			Формат А3

500.0518

$\sqrt{Ra 3,2 (\checkmark)}$



- 1 43..50 HRC.
- 2 Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 - H14, h14; остальных - ± IT14
- 2.
- 3 Все не обозначенные кромок притупить R0,3

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инд. № дюрл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инд. № подл.

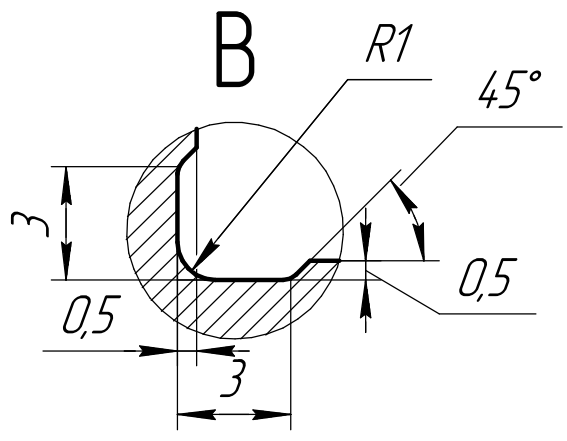
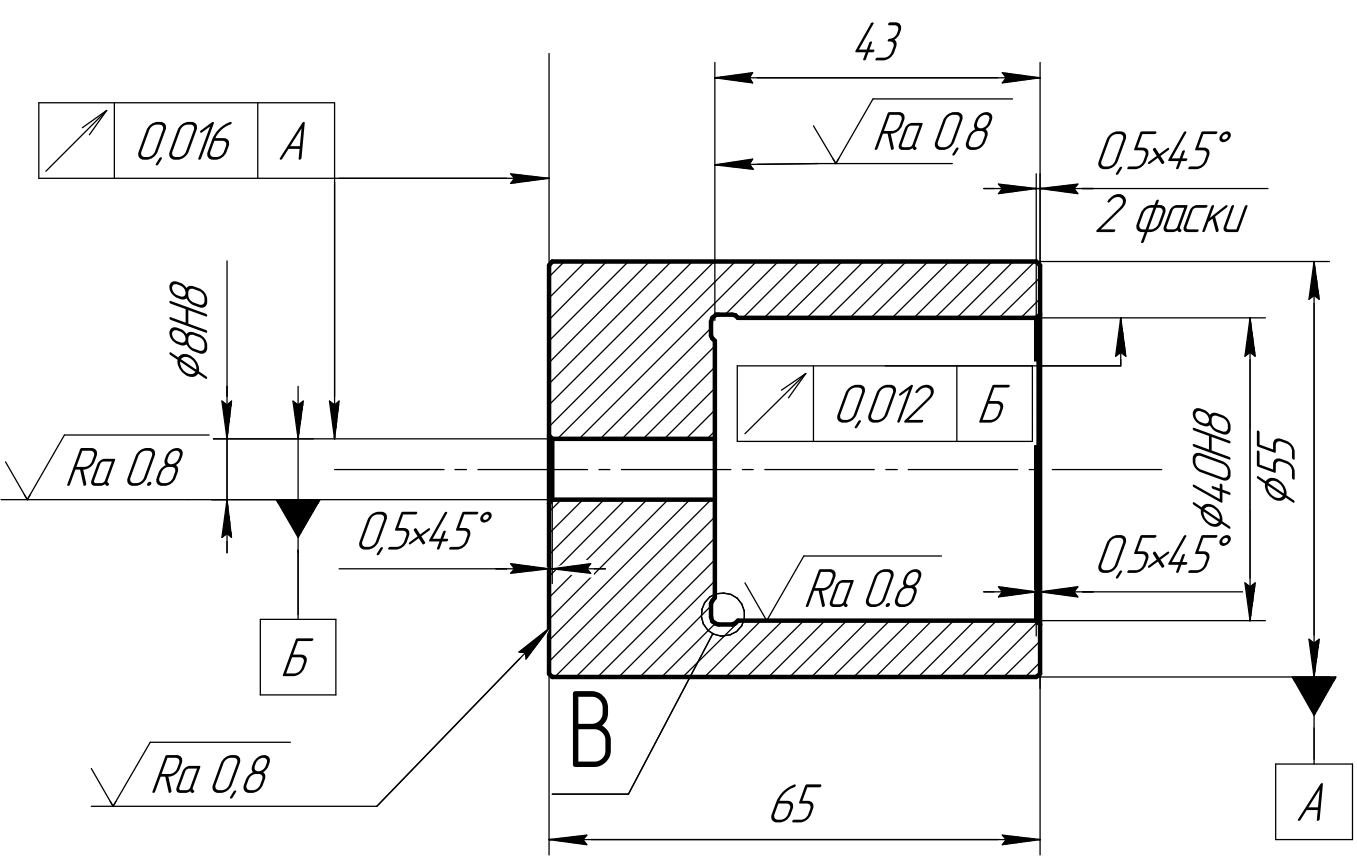
					815.0.005			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>ПУАНСОН</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Еранов						0,36	5:1
Проб.	Сосов					Лист	Листов 1	
Т.контр.								
И.контр.					Сталь У8А ГОСТ 1435-99	<b>КНИТУ-КАИ</b>		
Утв.	Сосов				Копировал			Формат А3

815.0.006

$\sqrt{Ra\ 12,5}$  ( $\checkmark$ )

Перв. примен.

Справ. №



1 46...51HRC.

2 Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002 - H14, h14; остальных -  $\pm$  IT14/2.

Подп. и дата

Инд. № докл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

815.0.006

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Еранов		
Проб.		Сосов		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Сосов		

Стакан

Сталь У8А ГОСТ 1435-99

Лит.	Масса	Масштаб
	0,78	1:1
Лист		Листов 1

КНИТУ-КАИ



815

362\*

380\*

4 5  
2 1  
3 6

7

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Изм. № дораб.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Еранов		
Проб.		Сосов		
Т.контр.				
И.контр.				
Утв.		Сосов		

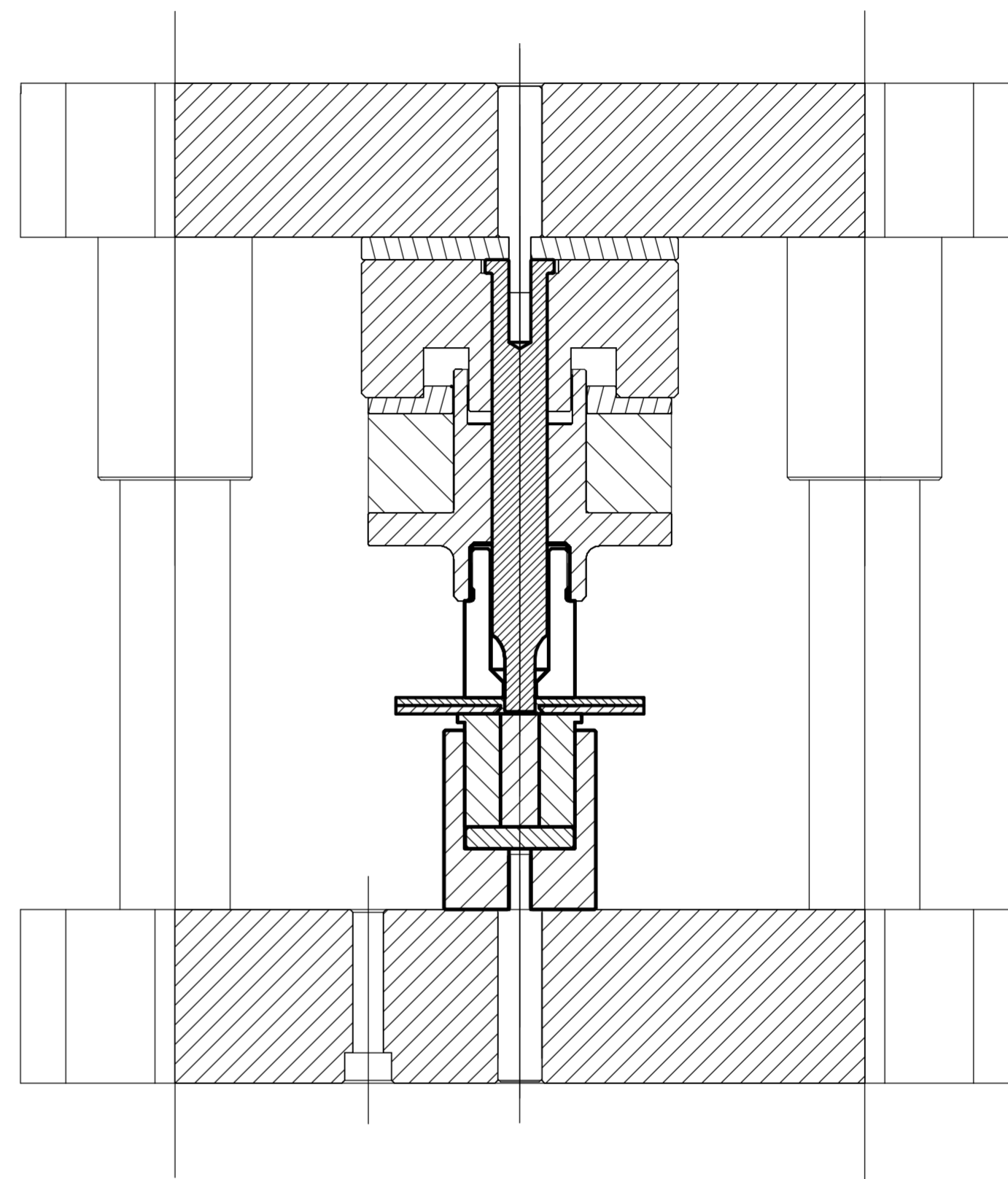
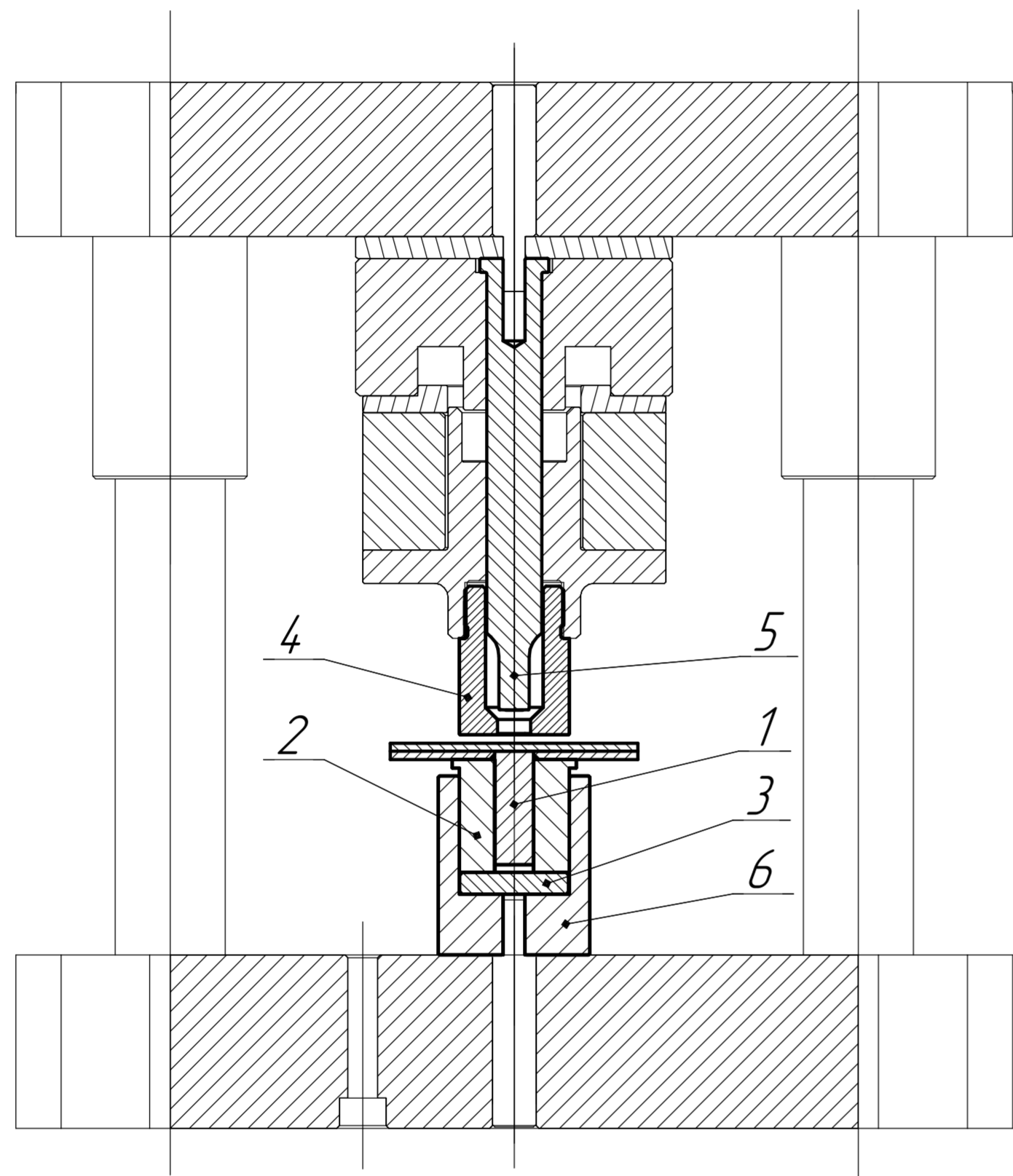
815

Приспособление  
для клинчевания

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

КНИТУ-КАИ





Перв. примен.

Спроб. №

Подп. и дата

Инд. № дробл.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

					815 СБ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.							1:1
Проб.					Лист	Листов	1
Т.контр.							
Н.контр.							
Утв.							

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева-КАИ»  
(КНИТУ-КАИ)

## ОТЗЫВ РУКОВОДИТЕЛЯ

### НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

студента Еранова Максима Андреевича  
(фамилия, имя отчество)

1415 учебной группы      института АНТЭ

Тема проекта: Исследование процессов соединения листового металла различной твердости клинчеванием

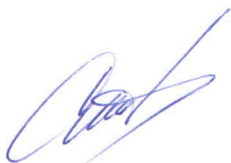
Руководитель: к.т.н., доцент каф. ПЛА Сосов Александр Вениаминович

Выпускная квалификационная работа выполнена в полном соответствии с выданным заданием и содержит все необходимые разделы, подтверждающие сформированность всех компетенций по направлению подготовки бакалавриата 24.03.04 «Авиастроение».

При выполнении работы автор проанализировал основные литературные источники по теме исследования и предложил оригинальный способ соединения листового металла различной твердости клинчеванием. При выполнении работы он смоделировал процесс клинчевания, при этом на очень хорошем уровне освоил работу в ПК DEFORM-2D. По результатам моделирования процесса выбрал лучший вариант параметров соединения и для них доработал конструкторскую документацию на универсальную технологическую оснастку для формирования клинч-соединений. В дальнейшем планируется изготовление этой оснастки и проведение экспериментов по формированию клинч-соединений. В случае получения положительных результатов эксперимента планируется патентование предложенного способа.

Считаю, что ВКР заслуживает оценки **ОТЛИЧНО**, а Еранов М.А. рекомендуется для продолжения обучения в магистратуре.

Руководитель  
к.т.н., доцент каф. ПЛА



Сосов А.В.

**Заключение о проведении проверки  
выпускной квалификационной работы системой  
«Антиплагиат КНИТУ-КАИ»**

В результате проверки системой «Антиплагиат КНИТУ-КАИ»  
ВКР студента Еранова М.А \_\_\_\_\_ :  
Фамилия И.О.

Оригинальность ВКР составляет 97 %, что соответствует, требованиям  
порядка и условиям допуска **выпускных квалификационных работ**  
**соответствующей кафедры** к защите с учетом объемов заимствования с  
использованием системы «Антиплагиат КНИТУ-КАИ».

04.06.2020  
Дата представления ВКР



\_\_\_\_\_ Раздайбедин А.А.  
подпись Ответственного

Фамилия И.О.

  
\_\_\_\_\_ Сосов А.В.  
подпись Руководителя

Фамилия И.О.

  
\_\_\_\_\_ Халиулин В.И.  
подпись зав.кафедрой

Фамилия И.О.