

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Индустриальная инженерия»

Выполнил: Шуховцев Иван Сергеевич
Разработка штамповой оснастки для изготовления гнутых деталей с
использованием CAD/CAE
ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071200 – Машиностроение

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Индустриальная инженерия»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой «Индустриальная
инженерия»

Доктор PhD.

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка штамповой оснастки для изготовления гнутых деталей с
использованием CAD/CAE»

по специальности 5В71200 – Машиностроение

Выполнил

Шуховцев И.С.

Рецензент

Ф.И.О.

« ____ » _____ 2020 г.

Научный руководитель

Канд. техн. наук, ассистент-
профессор

_____ Орлова Е.П.

« ____ » _____ 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации им. А. Буркитбаева

Кафедра «Индустриальная инженерия»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой «Индустриальная
инженерия»

Доктор PhD.

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся *Шуховцеву Ивану Сергеевичу*

Тема: «Разработка штамповой оснастки для изготовления гнутых деталей с использованием CAD/CAE»

Утверждена приказом *Ректора Университета №762-б от «27» января 2020 г.*

Срок сдачи законченной работы « 20 » 04 2020 г.

Исходные данные к дипломной работе:

1. Размеры готовой детали
2. Марка стали детали

Краткое содержание дипломной работы:

- а) общие сведения*
- б) графические материалы*
- в) расчет на прочность в системе САПР*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): *чертеж круглой фасонной протяжки*

Рекомендуемая основная литература:

1. В.П.Романовский. Справочник по холодной штамповке. – 6 изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1979.
2. Л.И. Рудман. Справочник конструктора штампов/ Под общ. ред. Л.И. Рудман. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
3. Е.И.Семенов, Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./Ред. совет: К56. Е.И. Семенов (пред.) и др.- М.: Машиностроение, 1985 – Т.

ГРАФИК

Подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение	1.02-7.02.2020	
Технологическая часть	7.02-11.03.2020	
Конструкторская часть	12.03-20.04.2020	

Подписи

Консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы(проекта)

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч.степень,звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Орлова Е.П., канд.техн.наук	15.04.2020	
Нормоконтролер	Орлова Е.П., канд.техн.наук	20.04.2020	

Научный руководитель _____ Орлова Е.П.

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Шуховцев И.С.

Дата « 30 » 01 _____ 2020г.

АҢДАТУ

Берілген дипломдық жобада игіш қалыптың құрастырылуының жалпы көрінісі қарастырылады. Бөлшектердің өлшемдері мен материалдарына сүйене отырып, қаңылтыр табағының пішімі бөлшектерді, кесу және иілу жұмыстарының ең оңтайлы өндірісін алу үшін есептелінеді. Алынған мәліметтер негізінде штамп бөлшектері таңдалады және APM Fem бағдарламасын қолдана отырып, соққылар мен өлулерге беріктік есептері жасалады

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте рассмотрена общая картина конструирования гибочного штампа. На основе имеющихся размеров и материала детали будут проведены расчеты на рациональность раскроя листа для получения наиболее оптимального производства детали, усилия вырубки и гибки. По полученным данным выбираются детали штампа и проводятся аналитически и при помощи программы APM Fem вычисления на прочность для пуансона и матрицы.

ANNOTATION

In the given degree project the overall picture of designing link stamp. On the basis of the available value and material of detail the estimates rationality cutting sheet metal for obtain best results, flexible and cutting efforts are carried out. According to the received information details of stamp are chosen and analytical and using program APM Fem durability calculations of puncheon and matrix are calculated.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	7
1	Технологическая часть	8
1.1	Выбор детали для проектирования	8
1.2	Расчет развертки скобы	9
1.3	Расчет рациональности раскроя листа	9
1.4	Определение значений коэффициентов и усилий	11
2	Конструкторская часть	12
2.1	Основы конструирования штампов	12
2.2	Определение основных размеров матрицы и пуансона	13
2.3	Выбор материала для деталей штампа	16
2.4	Нахождение параметров крепления деталей штампа	16
2.5	Подбор размеров для остальных деталей штампа	17
2.6	Формирование сборочного чертежа штампа	18
2.7	Аналитический расчет максимального напряжения для матрицы и пуансона	19
2.8	Расчет максимального напряжения и коэффициента запаса на прочность для матрицы и пуансона при помощи CAE-систем	20
2.9	Выводы по разнице значений напряжения	26
	Заключение	27
	Список использованной литературы	28
	Приложения	29

ВВЕДЕНИЕ

В начале 21 века выросло общее количество предприятий малого бизнеса, ориентированных на производство и перепродажу определенных товаров и услуг в зависимости от потребностей людей. Для примера, такие объекты производят строительное оборудование и различные современные конструкционные материалы: кровельные панели, стеклопластиковую арматуру, текстильные изделия, мебель, автомобильные части, и многие другие товары.

Одной из самых используемых деталей для крепления, является скоба. Скобы – это сборочные единицы подковообразной или П-образной формы с элементами для присоединения различных изделий между собой, а также для закрепления к стенам и другим конструкциям. Одним из главных преимуществ скоб (по сравнению с гвоздями, болтами, винтами) является значительная площадь крепления для фиксации объекта. Большинство видов скоб может быть получено при помощи листовой штамповки.

Процессы холодной листовой штамповки получили широкое применение во многих отраслях промышленности за счет обеспечения повышения коэффициента использования материала, снижение веса изделий, минимальную трудоемкость, высокую производительность и сравнительно низкую себестоимость получаемых изделий. Холодная листовая штамповка – это один из наиболее прогрессивных технологических методов производства, имеющий множество положительных факторов при в сравнение с другими видами обработки металлов давлением или механическим воздействием.

Использование листовой штамповки позволяет: получать детали сложных форм с высокой точностью конструктивно–геометрических размеров, причем в большинстве случаев последующая механическая обработка не требуется, а также позволяет применять автоматизацию для повышения производительности производства.

1 Технологическая часть

1.1 Выбор детали для работы

Для проектирования выбираем скобу СТ41х41 ССТ 631 (рисунок 1) как деталь, которую необходимо изготовить при помощи гибочного штампа. Данная скоба предназначена для присоединения страт профиля СТ41х41 к другим профилям, а также для монтажа к стенам и конструкциям. Материал скобы- AISI 304 (аналогом которой является 08X18H10) [1].

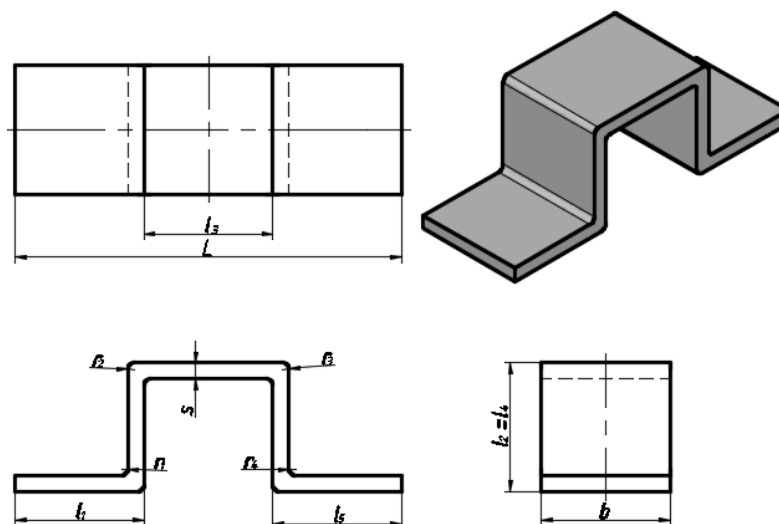


Рисунок 1 – Скоба для профиля СТ41х41 ССТ631

На рисунке 2 представлено массо-центровочные характеристики для скобы, полученные в программе Компас-3D по размерам и материалу гнутой детали.

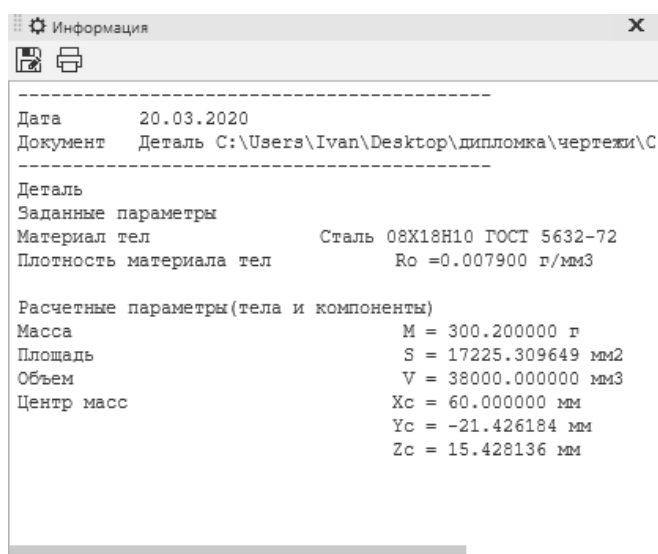


Рисунок 2 – МЦХ детали

Для изготовления данной скобы подобран материал листа – 08X18H10 [2, стр. 508 таблица 220]. По материалу и наибольшему размеру штампуемых заготовок подбираем наименьший размер перемычек и кромок, при использовании шаговых ножниц при штамповке с учетом что сталь заготовки средней твердости: $a=4,7$ мм; $b=4,2$ мм [3, стр.7 таблица 1]. Исходные данные для расчета развертки: $L=120$ мм, $l_1=l_2=l_3=l_4=l_5=40$ мм, $r_1=r_2=r_3=r_4=2$ мм, $b=40$ мм, $s=5$ мм.

1.2 Расчет развертки скобы

При проектировании гнутого изделия были рассчитаны размеры развертки по формулам:

$$L_r = \sum l + \sum l_0, \quad (1)$$

$$l_0 = l_0^{90} \cdot \alpha_r / 90^\circ. \quad (2)$$

По радиусу закругления и толщине материала определяем расчетную длину условной нейтральной линии на участке закругления по дуге окружности с углом 90° .

$$l_1' = l_1 - s - r_1 = 33 \text{ мм}, l_2' = l_2 - 2 \cdot s - r_1 - r_2 = 26 \text{ мм}, l_3' = l_3 - 2 \cdot s - r_2 - r_3 = 26 \text{ мм}, l_4' = l_4 - 2 \cdot s - r_3 - r_4 = 26 \text{ мм}, l_5' = l_5 - s - r_4 = 33 \text{ мм};$$

Для всех участков $r = 2$ мм, $s = 5$ мм, $l_0' = 6,02$ мм [3, стр.182 таблица 4]

Также учтем допущенную погрешность расчета компенсирующаяся некоторым растяжением материала, умножаем значение $l_0' = 6,02$ мм на поправочный коэффициент, полученный по радиусу закругления и толщине материала [3, стр.187, табл.5]:

$$l_0' = 6,02 \cdot 1,022 = 6,15244 \text{ мм}$$

$$L_{\text{разв}} = 33 + 26 + 26 + 26 + 33 + 4 \cdot 6,15244 = 168,6 \text{ мм}.$$

1.3 Расчет рациональности раскроя листа

Выбраны по толщине листа размеры стали (мм), поставляемой в листах: $l_{\text{л}}=2000$, $b_{\text{л}}=600$ [4, стр. 104 таблица 35].

Проведены расчеты рациональности раскроя листа на прямоугольные детали при расположении развертки скобы горизонтально и вертикально относительно листа.

При вертикальном расположении, демонстрируется на рисунке 3:

$$2000 : 44,2 = 45,24$$

45 полос

$$600 : 173,3 = 3,46$$

3 детали в одной полосе

$$3 \cdot 45 = 135 \text{ деталей}$$

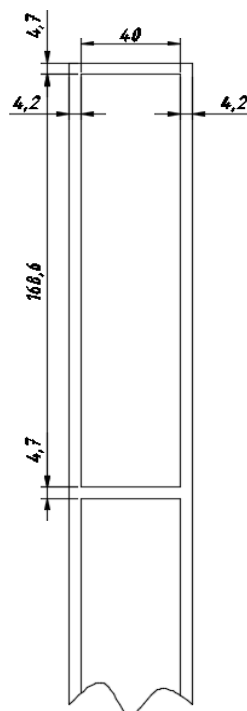


Рисунок 3 – Раскрой полосы при вертикальном расположении

При горизонтальном расположении, демонстрируется на рисунке 4:

$$2000 : 172,8 = 11,57$$

11 полос

$$600 : 44,7 = 13,42$$

13 деталей в одной полосе

$$13 \cdot 11 = 143 \text{ деталей}$$

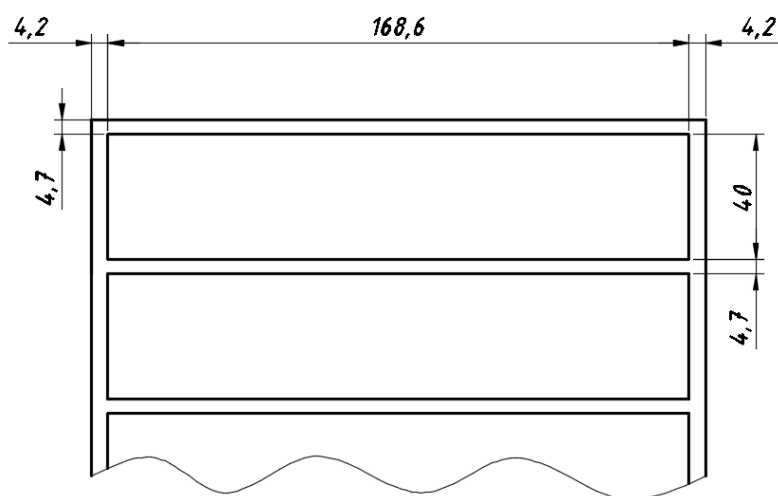


Рисунок 4 – Раскрой полосы при горизонтальном расположении

По проведенным расчётам принято горизонтальное расположение т.к. количество деталей получаемое при данном расположении больше.

1.4 Определение коэффициентов и усилий

Рассчитываем коэффициенты использования материала, с учетом что вместо масс детали и исходной заготовки взяты значения соответствующих площадей их поверхности, при одинаковой толщине листа [3, стр. 6]:

$$K_{\text{и}} = M_{\text{д}} / H, \quad (3)$$

где $M_{\text{д}}$ – масса готового изделия, кг;

H – норма расхода материала на одно изделие, кг.

$$H = M / n_{\text{д}}, \quad (4)$$

где M – масса единицы листа, применяемой для штамповки, кг;

$n_{\text{д}}$ – число изделий, получаемых в результате штамповки.

$$H = 2000 \cdot 600 / 143 = 8391,6 \text{ мм}$$

$$K_{\text{и}} = 168,6 \cdot 40 / 8391,6 = 0,8.$$

Расчет параметров, необходимых для выполнения разделительных операций, и выбора прессы

Усилие вырубки (H) вычисляем по формуле:

$$P = L \cdot s \cdot \sigma_{\text{ср}}, \quad (5)$$

$$P = (168,6 + 40) \cdot 2 \cdot 5 \cdot [0,6...0,8] \cdot 570 = 951216 \text{ Н},$$

где L – длина периметра вырубки, мм;

s – толщина штампуемого материала, мм;

$\sigma_{\text{ср}}$ – сопротивление срезу, МПа. ($\sigma_{\text{ср}} = [0,6...0,8] \cdot \sigma_{\text{в}}$).

Усилие гибки (H) для четырехугольной гибки (без калибровки) вычисляем по формуле:

$$P = 2,5 \cdot B \cdot s \cdot \sigma_{\text{в}} \cdot k_2, \quad (6)$$

где B – ширина полосы, мм;

s – толщина штампуемого материала, мм;

$\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности, МПа.

$k_2 = 0,27$ – коэффициент для двухугольной гибки [2, стр. 73 таблица 25]:

$$P = 2,5 \cdot 40 \cdot 5 \cdot 57 \cdot 0,27 = 76950 \text{ Н} = 76,95 \text{ кН}$$

По каталогу выбираем пресс для выполнения операции четырехугольной гибки-К2320 (ход ползуна $h=200$ мм) [5, стр. 10].

2 Конструкторская часть

2.1 Основы конструирования штампов

Штампы обычно проектируются из неподвижной (нижней) и подвижной (верхней) частей, на каждой из которых закреплены матрица и пуансон соответственно. Проектировщик штампа должен иметь информацию о: чертеже изделия с техническими условиями технологического процесса изготовления данной детали и операционные карты этого процесса. Затем по данной информации выбирается тип штампа. Выбор штампа выполняется в зависимости от геометрии изделия, требуемой точности, экономического фактора, формы и материала заготовки, оборудования, а также возможностей цеха, где будет изготавливаться штамп, причем большое внимание уделяется экономическому фактору (возможность изготовления пригодного для эксплуатации и наиболее дешевого штампа). Конструкция штампа должна обеспечивать качественную штамповку, высокую производительность и стойкость штампа при его использовании. Затем проводятся технологические расчеты: раскрой материала, нахождение величины усилия, выбор величины зазора между матрицей и пуансоном, подбор деталей штампа, проверка основных деталей штампа на прочность. Следующим этапом по рассчитанным нагрузкам и величине работы выбирается нужный пресс. Проводится спецификация на детали штампа и детализовка с проставлением величин деталей на чертежах, обработки, указание посадок и допусков на изготовление. Финальной ступенью проектирования штампа является составление пояснительной записки и заполнение паспорта штампа [6].

Штамп обычно проектируется в своем нижнем рабочем положении. В этом положении лучше показано взаимодействие всех частей штампа. Также в этом положении шанс ошибки при конструировании по несогласованности верхней и нижней частей штампа очень мал.

Особенностью проектирования гибочных штампов является необходимость учёта искажения заготовки после изгиба. Для этого штампуют деталь из полосы с припуском, применяют улучшенную фиксацию заготовки перед штамповкой и после операции штамповки вводят соответствующую механическую обработку для уменьшения искажения. Обычно процесс пластической деформации заготовки при гибке сопровождается упругой деформацией, то есть, после гибки происходит изменение размеров изделия по сравнению с размерами, задаваемые матрицей и пуансоном. Поэтому конструктор должен учитывать при расчете основных размеров штампа данное изменение размеров, которое называется пружинением [3, стр. 171].

При проектировании пуансона и матрицы должны выполняться условия: простота конструкции и легкость её изготовления, прочность и точность закрепления деталей между собой, стойкость в работе, легкость сборки и разборки.

Пуансон – деталь штампа, совпадающая с профилем матрицы. Пуансон выполняет функцию пресса, в результате чего образуется само изделие. Выбор типа пуансона часто зависит от особенностей штампуемой детали. Пуансоны маленьких размеров обычно изготавливают вместе с хвостовиком. Пуансоны для гибочных операций выполняют из специальных отливок. Обычно пуансоны крепятся по посадке в пуансодержателе. При подборе метода и места посадки конструкторы стремятся к тому, чтобы посадочные места были простой формы, были доступны для обработки и измерениям инструментом [7].

Матрица – деталь штампа, которая непосредственно влияет на вид будущего изделия. Классифицируют простые (для одного вида изделия) и сложные/комбинированные (для двух и более видов изделий) матрицы. Форма и размер матрицы непосредственно зависит от конструкции штампуемой детали. При проектировании матрицы конструктор должен учитывать фактор зазора между матрицей и пуансоном. Потому что при малом зазоре будет образовываться ломаность и слоистость поверхности среза, в то время как при слишком большом зазоре есть вероятность втягивания материала в станок с последующим разрывом, в результате чего деталь может иметь заусеницы. Расстояние между матрицей и пуансоном зависит от толщины используемого при штамповке материала [7].

2.2 Определение основных размеров матрицы и пуансона

Определены и показаны на рисунке 5 размеры прямоугольной матрицы исходя по размерам ее рабочей зоны $a=168,6$ мм, $b=40$ мм [3, стр. 75, таблица 17]: $A_r=250$ мм, $B_r=140$ мм

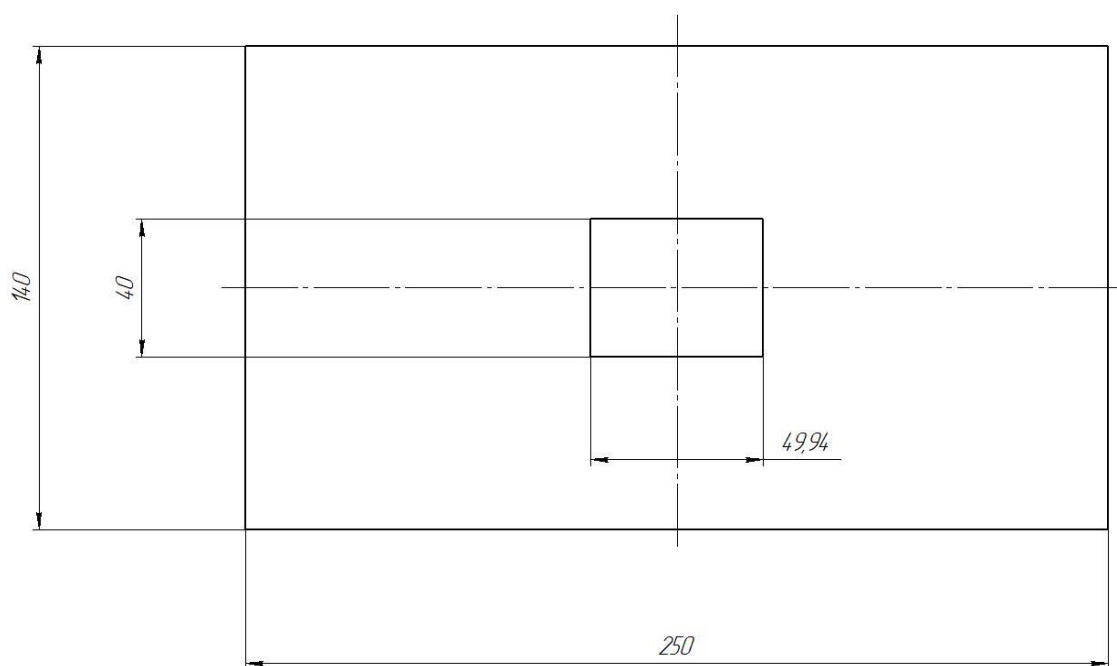


Рисунок 5 – Габаритные размеры матрицы

Определяем исполнительные размеры матрицы и пуансона через заданный наружный размер 50 мм:

$$A_M = (A_D - K_\Delta \cdot \Delta)^{+\delta_m}, \quad (7)$$

где A_D – номинальный размер детали после штамповки, мм;

$K_\Delta = 0,4 \dots 0,5$ – коэффициент, определяющий долю допуска;

$\delta_m = 0,8 \cdot K_\Delta \cdot \Delta$ – предельное отклонение на размер A_M [3, стр. 198, форм. 18].

Предельные отклонения для матрицы выбираем по толщине штампуемого материала и размеру штампуемого элемента: Н10 ($\Delta = +0,12$), для пуансона h9 ($\Delta = -0,074$) [3, стр. 71, табл. 15].

$$\delta_M = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,12 = 0,048 \text{ мм}$$

$$A_M = (50 - 0,5 \cdot 0,12)^{+0,048} = 49,94^{+0,048} \text{ мм}$$

Пуансон при этом изготавливают с размером:

$$A_\Pi = (A_M - 2 \cdot z_{гб})_{-\delta_m}, \quad (8)$$

где $z_{гб}$ – односторонний зазор, определяется по формуле:

$$z_{гб} = S_{\max} + S \cdot K_z, \quad (9)$$

$$z_{гб} = 5 + 5 \cdot 0,07 = 5,35,$$

где K_z – коэффициент [3, стр. 199, табл. 9]

Предельное отклонение на размер пуансона принимают равным:

$$\delta_\Pi = 0,8 \cdot \delta_M, \quad (10)$$

$$\delta_\Pi = 0,8 \cdot 0,0384.$$

$$A_\Pi = (49,94 - 2 \cdot 5,35)_{-0,0384} = 39,24_{-0,0384}$$

Радиус закругления и глубина матрицы для П-образной гибки устанавливаем по длине полки и толщине штампуемого материала: $r_M' = 5$ мм, $h_M' = 35$ мм [3, стр. 200, табл. 10].

Толщину матрицы вычисляют по эмпирической зависимости:

$$H_M = s + K_M \cdot \sqrt{(a + b)} + 7, \quad (11)$$

где s – толщина штампуемого материала, мм;

a и b – размеры рабочей зоны матрицы, мм;

K_M – коэффициент.

По временному сопротивлению материала ($\sigma_B = 570$ МПа) выявили величину коэффициента $K_M = 1,3$

$$H_M = 5 + 1,3 \cdot \sqrt{(168,6 + 40)} + 7 = 30,7 \text{ мм}.$$

Дополнительно, проверим необходимую толщину матрицы по формуле:

$$H_M = \sqrt[3]{(100 \cdot P)} \quad (12)$$

$$H_M = \sqrt[3]{(100 \cdot 76,95)} = 19,74 \text{ мм}$$

Что меньше принятой толщины матрицы до этого
Общая толщина матрицы вычисляем по формуле:

$$H_M = r_M' + h_M' + h_M'', \quad (13)$$

где h_M'' определяют конструктивно, выбирая согласно из зависимости

$$h_M'' \geq 0,1 \cdot A_M. \quad (14)$$

$$h_M'' = 0,1 \cdot 49,94 = 4,994 \text{ мм},$$

$$H_M = 5 + 35 + 5 = 45 \text{ мм},$$

Принимаем толщину матрицы – 45 мм.

Ход нижнего выталкивателя:

$$H_{H.B.} = h_M' + r_M' + 0,2 \cdot S, \quad (15)$$

$$H_{H.B.} = 30 + 5 + 0,2 \cdot 5 = 36 \text{ мм}.$$

Длина пуансона принята из соотношения:

$$H_{\Pi} \geq l + H_{\Pi\Pi} + (20 \dots 25), \quad (16)$$

$$H_{\Pi\Pi} = (0,3 \dots 0,5) \cdot A_{\Pi}. \quad (17)$$

$$H_{\Pi\Pi} = 0,5 \cdot 39,24 = 19,64 \text{ мм}$$

$$H_{\Pi} = 40 + 19,64 + 20 = 79,62.$$

Принимаем $H_{\Pi} = 80 \text{ мм}$.

На рисунке 6 изображен чертеж матрицы с нанесенными основными размерами;

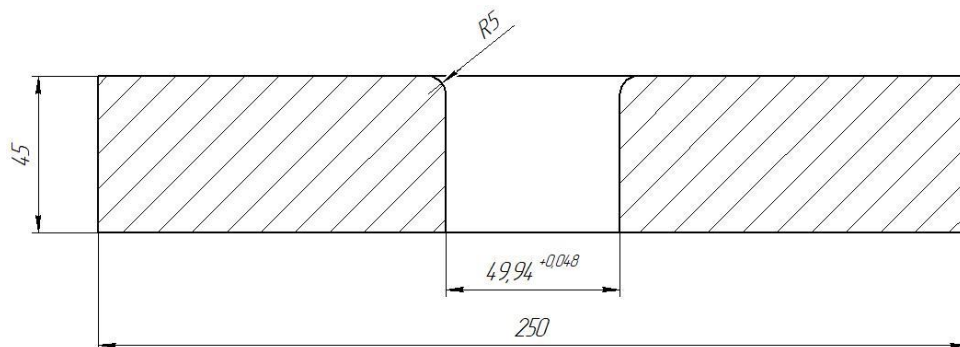


Рисунок 6 – Размеры матрицы

На рисунке 7 выполнен чертеж с указанием основных размеров пуансона

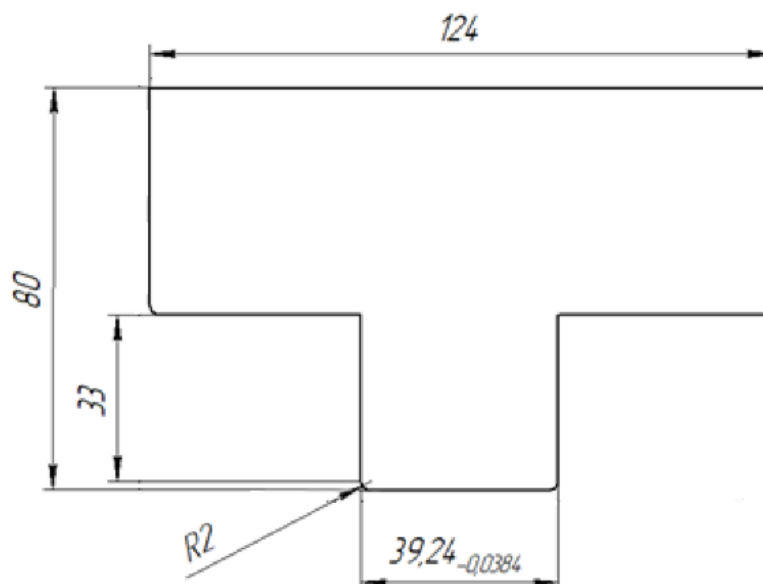


Рисунок 7 – Чертеж пуансона

2.3 Выбор материала для деталей штампа

Выбираем материалы деталей штампы:

Матрица, пуансон – У10А [3, стр. 31, табл. 12];

Трафареты – Ст20;

Выталкиватель – У8А;

Плиты – Ст3;

Пуансонодержатель – Ст3;

Хвостовик – Ст4

Втулки – Ст35;

Пружина – 11А [3, стр. 32, табл. 13];

Колонки – Ст20 [3, стр. 462, табл. 8];

2.4 Нахождение параметров крепления деталей штампа

Крепление пуансона в пуансонодержателе осуществляется натягом.

Стенки пуансонодержателя при нагревании расширяются, куда вводится пуансон и при охлаждении пуансон закрепляется. Крепление матрицы и трафаретов осуществляется при помощи винтов и штифтов. Диаметры винтов и штифтов для матрицы определены на наибольший габаритный размер матрицы и технологическому усилию, воспринимаемой матрицей: винт- М10, штифт- 10 [3, стр. 77, табл. 18]. Размеры и координаты винтов и штифтов для крепления матрицы: $e_1=15$ мм, $e_2= 25$ мм, число болтов в ряду- 2. Чертеж матрицы с расположением винтов и штифтов по координатам демонстрируется на рисунке

8. Винты и координаты винтов для трафаретов подобраны конструктивно [3, стр. 77, табл. 19];

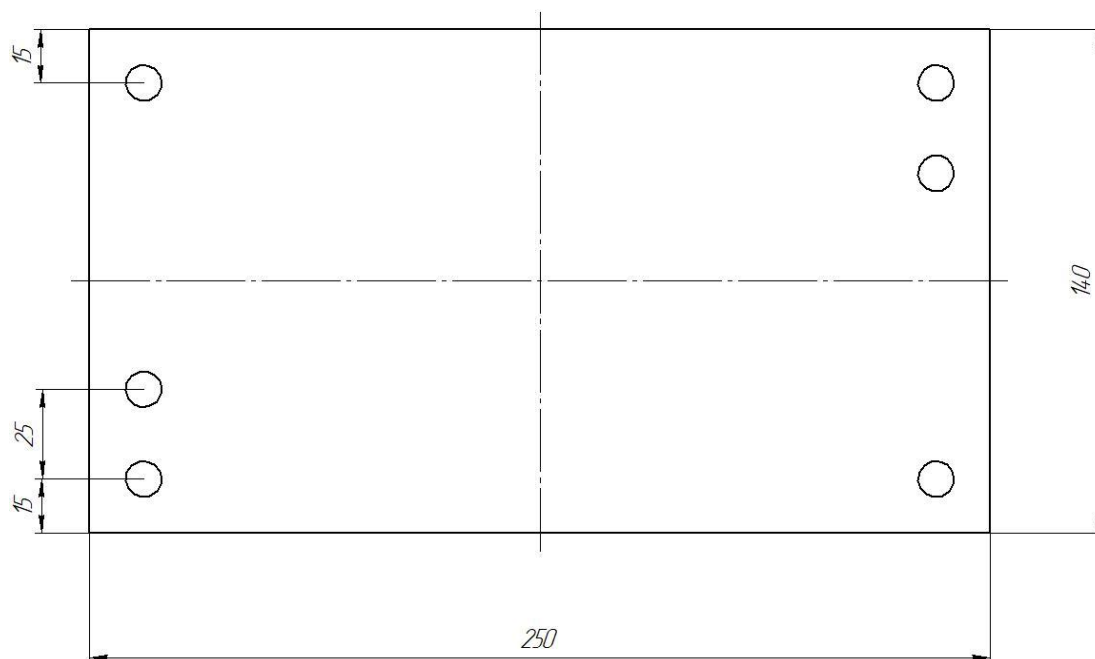


Рисунок 8 – Расположение винтов и штифтов по координатам

2.5 Подбор размеров для остальных деталей штампа

По размерам матрицы подбираем блок 1004-4805 1 исполнения по ГОСТу 13126-83, указан в приложение А. Размеры деталей штампа для данного блока: $L=250$ мм, $B=160$ мм, $D=40$ мм, $d_1=36$, $H=100\dots125$ мм, $H_1=219\dots244$ мм, $h=63$ мм, $h_1=56$ мм, $l_{вт}=50$ мм, $A=360$ мм, $m=83,32$ кг. [8, стр. 144]

Для определения геометрических размеров втулок и колонок в будущем определен номер блока- 32 [3, стр. 448 табл. 4];

Для выбранного блока выбираем размеры нижней и верхней плит 1022-4731 по ГОСТу 13113-83, демонстрирующийся в приложение Б: $L=250$ мм, $B=160$ мм, $A=360$ мм, $r=56$ мм, $r_1=25$ мм, $l_1=90$ мм, $m=29,83$ кг [8, стр. 25];

Для выбранного блока подбираем колонки 2 типов для 2 диаметров по ГОСТу 13118-83, показанные в приложениях В и Г:

1030-6071 с геометрическими размерами – $d=40$ мм, $L=170$ мм, $l=8$ мм, $R_1=5$ мм, $c=4,0$ мм, $m=1,655$ кг;

1030-6057 с геометрическими размерами - $d=36$ мм, $L=170$ мм, $l=8$ мм, $R_1=5$ мм, $c=4,0$ мм, $m=1,35$ кг [8, стр. 48];

Для выбранных колонок по их диаметрам подбираем втулки по ГОСТу 13121-83:

По номеру блока №32 выбраны длина колонок и втулок: $H_{кол}=200$ мм, $H_{вт}=110$ мм [3, стр. 455, табл. 5];

По $d_{нп}=36$ мм - $D_{вт}=50$ мм, $D_{вт}'=56$ мм

По $d_{\text{НП}} = 40 \text{ мм}$ - $D_{\text{ВТ}} = 56 \text{ мм}$, $D_{\text{ВТ}}' = 60 \text{ мм}$ [3, стр. 459, табл. 6];

По длине втулки и соответствующим диаметрам выбрано соотношения $l_{\text{ВТ}}/l_{\text{Р}} = 50/52$ [3, стр. 461, табл. 7], указанные в приложениях Д и Е;

По толщине верхней плиты штампа подобраны размеры хвостовика с резьбой по ГОСТу 16716-71, чертеж которого представлен в приложение Ё: $d_{\text{ХВ}} = 40 \text{ мм}$; М30х2; $L_{\text{ХВ}}/l_{\text{ХВ}} = 95/40$ [3, стр. 470, табл. 12];

Роль выталкивателя для данного штампа будет выполнять пружина.

2.6 Формирование сборочного чертежа штампа

Затем после выбора необходимых деталей штампа производится сборка верхней и нижней частей штампа.

Штамп собирается в следующей последовательности: нижняя плита закрепляется на верстаке, в неё запрессовываются две направляющие колонки. Затем на плиту устанавливается матрица. Устанавливается и запрессовываются 2 штифта и 4 винта. На матрицу устанавливаются 2 трафарета при помощи 8 винтов. В верхнюю плиту запрессовываются 2 втулки в соответствии колонкам. Затем, в верхнюю плиту по резьбе устанавливается хвостовик. В пуансонодержатель устанавливается пуансон. Верхняя часть стыкуется и устанавливается в нижнюю, штамп собран. Рисунки 9,10 показывают нижнюю и верхнюю часть штампа соответственно.

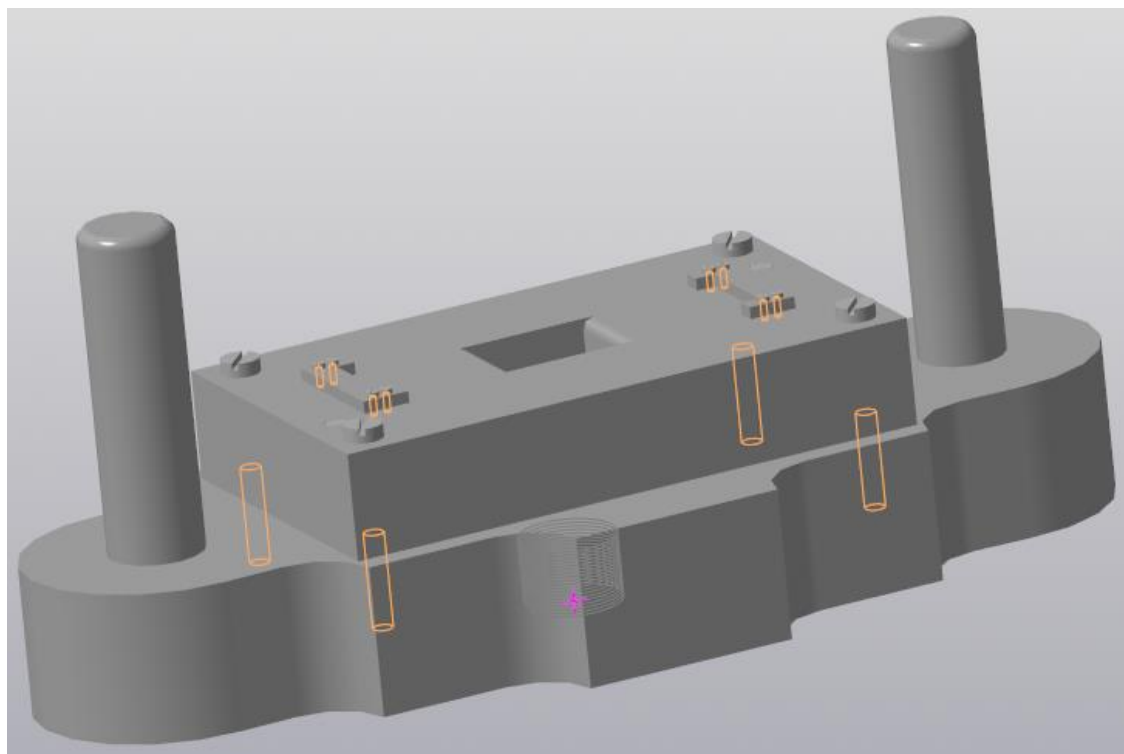


Рисунок 9 – Нижняя часть штампа

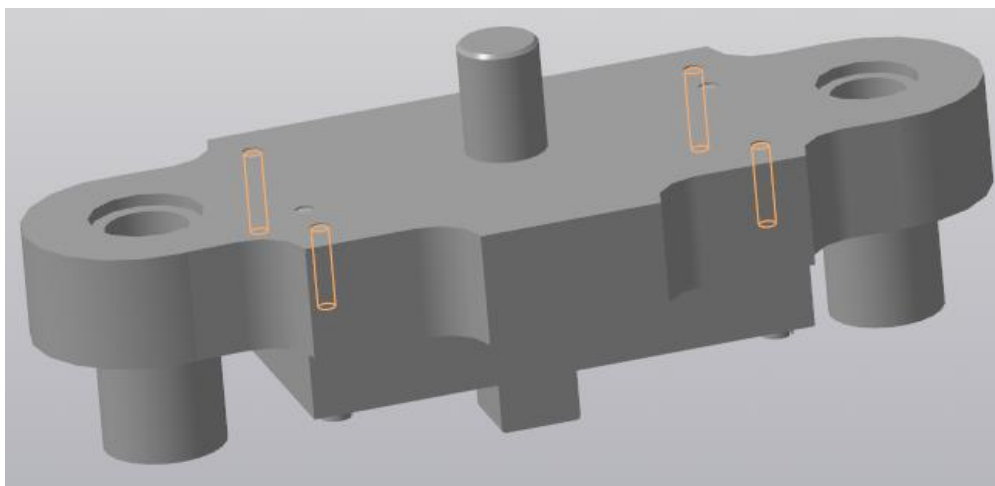


Рисунок 10 – Верхняя часть штампа

На рисунке 11 показан сборочный чертеж штампа:

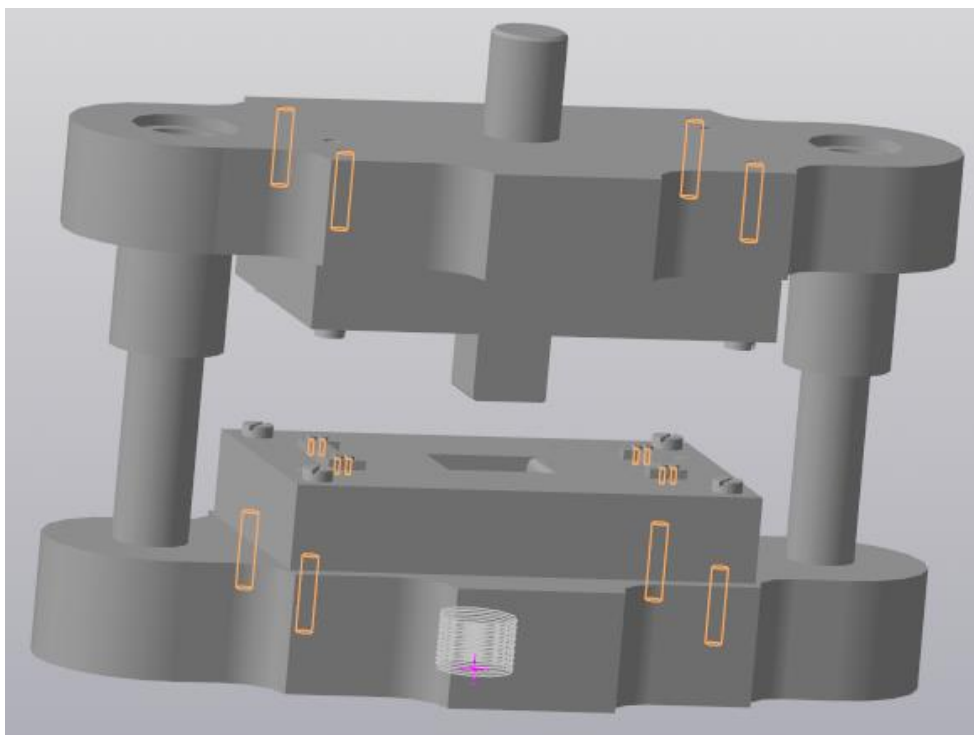


Рисунок 11 – Сборочный чертеж штампа

2.7 Аналитический расчет максимального напряжения для матрицы и пуансона

Расчет матрицы и пуансона на прочность проведены аналитически:
Матрица:

$$[\sigma_p] \geq (0,4 \cdot P)/F, \quad (18)$$

где $[\sigma_p]$ -допускаемое напряжение на разрыв (для стали У10А $[\sigma_p]=250\text{МПа}$);
 P - технологическое усилие, Н;
 F - площадь опасного сечения, мм^2 [3, стр. 79];
 $[\sigma_p] \geq (0,4 \cdot 76950)/59,94 \cdot 40=128\text{МПа}$
 Пуансон:

$$[\sigma_{сж}] \geq P/(\varphi \cdot F_k), \quad (19)$$

где φ -коэффициент понижения допускаемого напряжения, зависит от условной гибкости пуансона (μ) [3, стр. 102];
 Гибкость пуансона с некруглым сечением вычисляем по следующей формуле:

$$\mu=(0,7 \cdot h_{п} \sqrt{F_{раб}})/\sqrt{I}, \quad (20)$$

где I -минимальный осевой момент инерции, мм^4 ,
 $F_{раб}$ -площадь сечения рабочей части пуансона, мм^2 .
 Осевой момент инерции вычисляем для прямоугольного сечения пуансона со сторонами $a=35,24 \text{ мм}$, $b=40 \text{ мм}$:

$$I= b \cdot a^3/12, \quad (21)$$

$$I= a \cdot b^3/12. \quad (22)$$

$I= 40 \cdot 35,24^3/12 =145\,876 \text{ мм}^4$,
 $I= a \cdot b^3/12= 35,24 \cdot 40^3/12 = 187\,946 \text{ мм}^4$.
 Выбираем минимальный момент инерции $I= 145\,876 \text{ мм}^4$
 $\mu= (0,7 \cdot 35 \sqrt{40} \cdot 35,24)/\sqrt{145\,876} = 2,4$
 Из зависимости по $\mu=2,4$ выбран коэффициент понижения $\varphi=1$ [3, стр. 102];
 $[\sigma_{сж}] \geq 76950/(1 \cdot 35,25 \cdot 40)=76950/1409,6=54,6\text{МПа}$.

2.8 Расчет максимального напряжения и коэффициента запаса на прочность для матрицы и пуансона при помощи САЕ-систем

Для подтверждения выполненных аналитически расчетов пуансона и матрицы проведем расчет на прочность матрицы и пуансона в программе Компас при помощи инженерного модуля прочностного расчета- АРМ Fem:

Порядок расчета следующий: создаем 3D модель пуансона в программе Компас, чертеж которого предоставлен на рисунке 12.

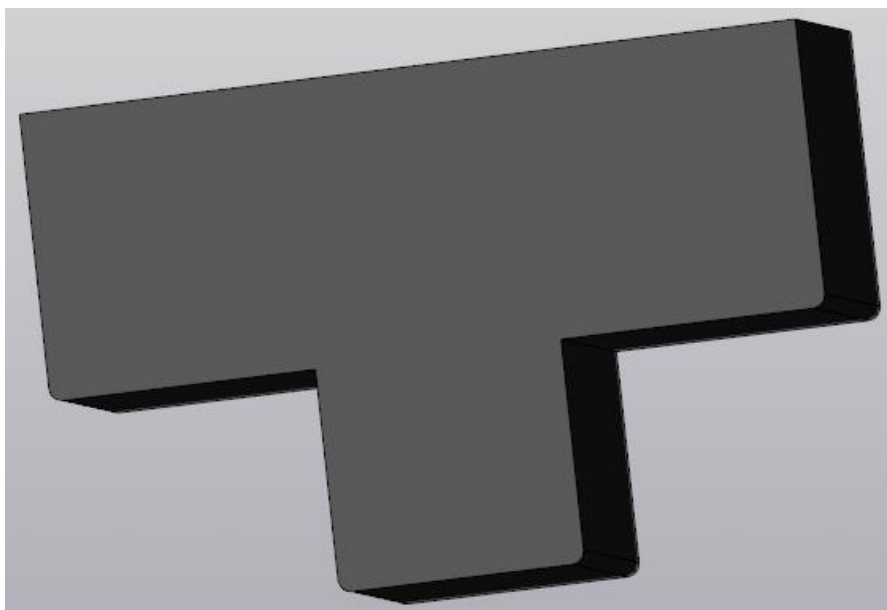


Рисунок 12 – 3D модель пуансона

На созданную модель нажимаем кнопку «подготовка модели», затем устанавливаем закрепление для верхней площадки по поверхности крепления в пуансонодержателе и распределенную силу, равную по величине усилию гибки $P=76950$ Н на нижнюю поверхность, модель после данных операций показана на рисунке 13.

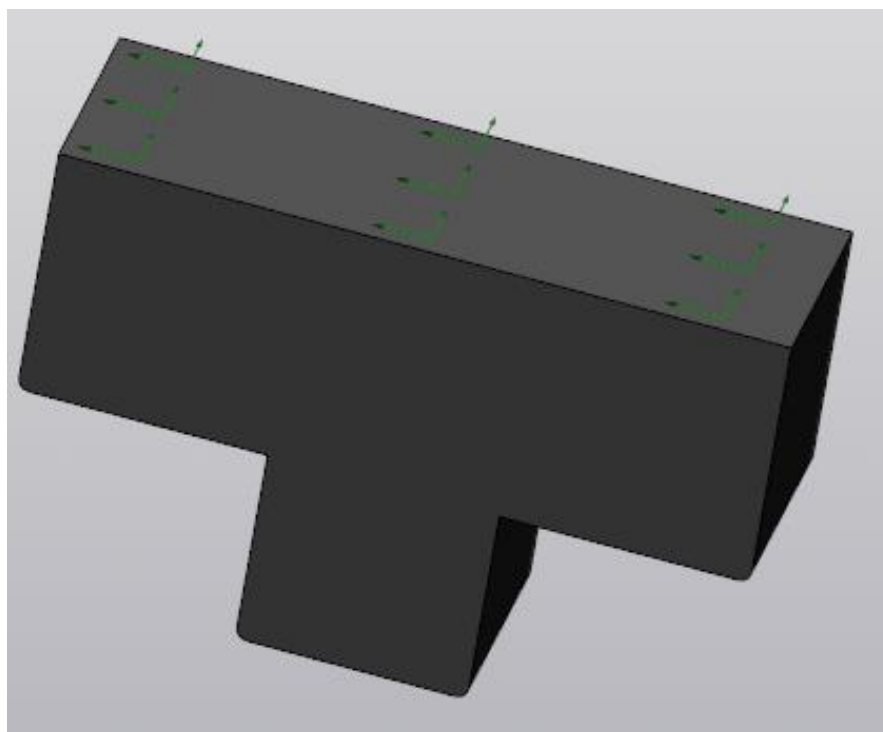


Рисунок 13 – Модель пуансона до расчетов

Следующим шагом – задаем параметры материала пуансона У10А и генерируем сетку из конечных элементов (КЭ сетка) из 4-узловых тетраэдров с максимальной стороной элемента 5 мм, сама сетка, количество конечных элементов и узлов показаны на рисунке 14.

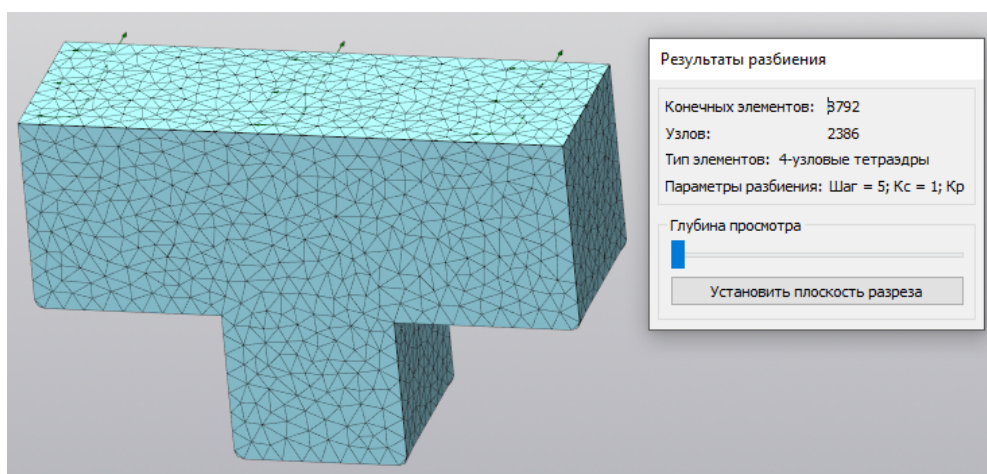


Рисунок 14 – Генерация конечно-элементной сетки

Затем отправляем пуансон на линейный статический расчет и выводим карты результатов для напряжений и коэффициента запаса прочности, показанные на рисунках 15 и 16.

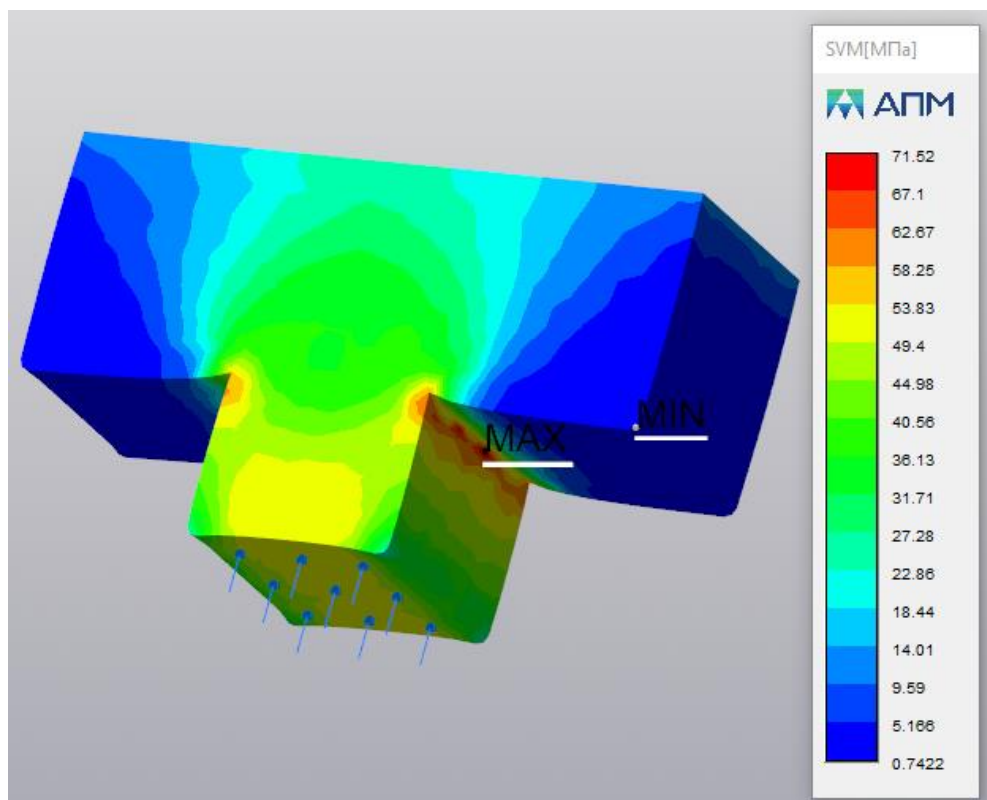


Рисунок 15 – Карта результатов напряжений пуансона

Из расчета видно, что максимальное напряжение возникает на боковой грани пуансона, в месте перехода размеров и оно составляет 71,52 МПа, что не превышает допускаемое напряжения для материала У10А, которое равно 250 МПа.

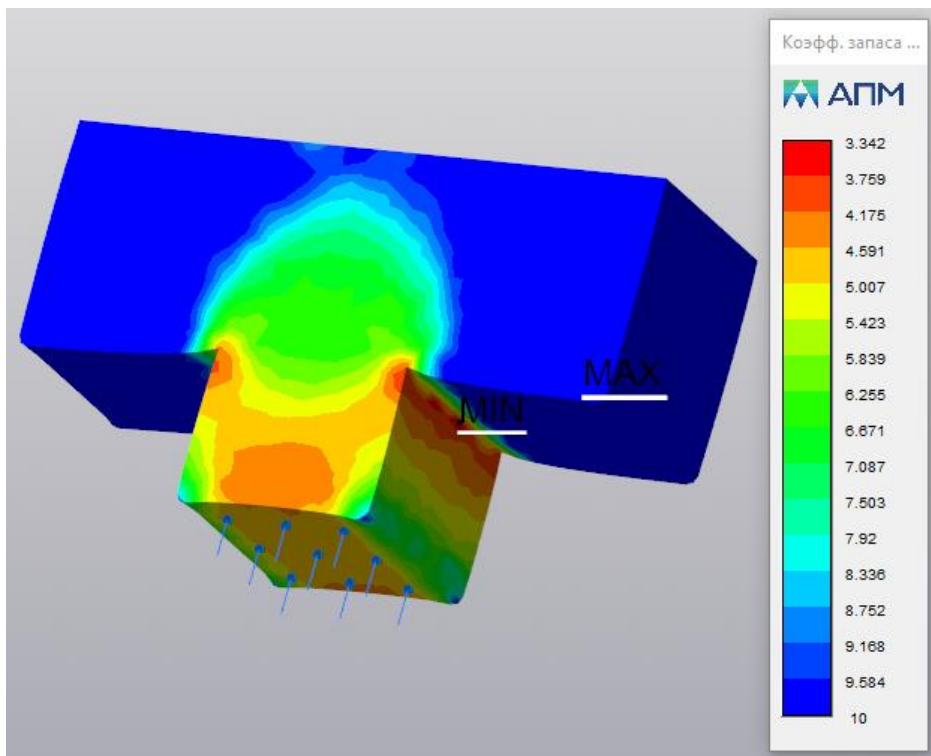


Рисунок 16 – Карта коэффициента запаса на прочность пуансона

Минимальное значение коэффициента запаса $n=3,34$ – величина, которого расположена так же на боковой грани пуансона, то есть в месте опасного сечения;

Для расчета матрицы проводим следующие операции:

Создаем в программе Компас 3D модель матрицы, показанной на рисунке 17.

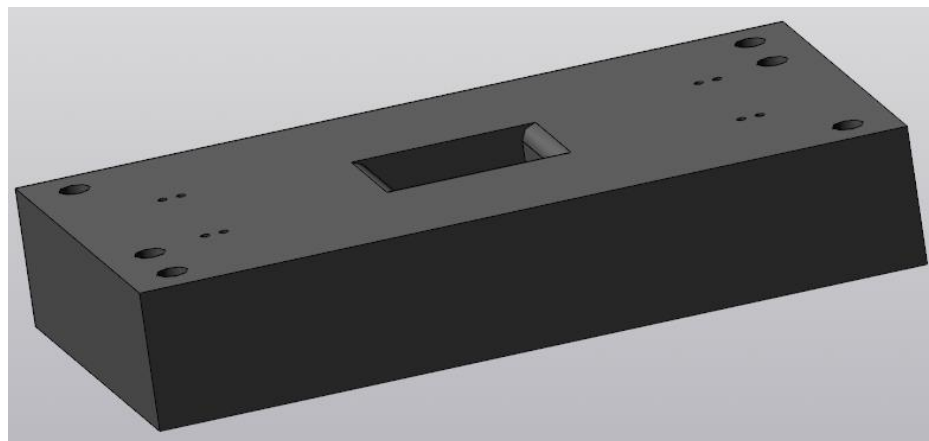


Рисунок 17 – 3D модуль матрицы

Задаем закрепления на нижней площадке в местах крепления винтами матрицы к нижней плите. Потом прикладываем действующую нагрузку, действующую на матрицу, равную по величине усилию гибки $P=76950$ Н. Выделяем поверхность, на которую будем прикладывать силу и задаем величину, как показано на рисунке 18.

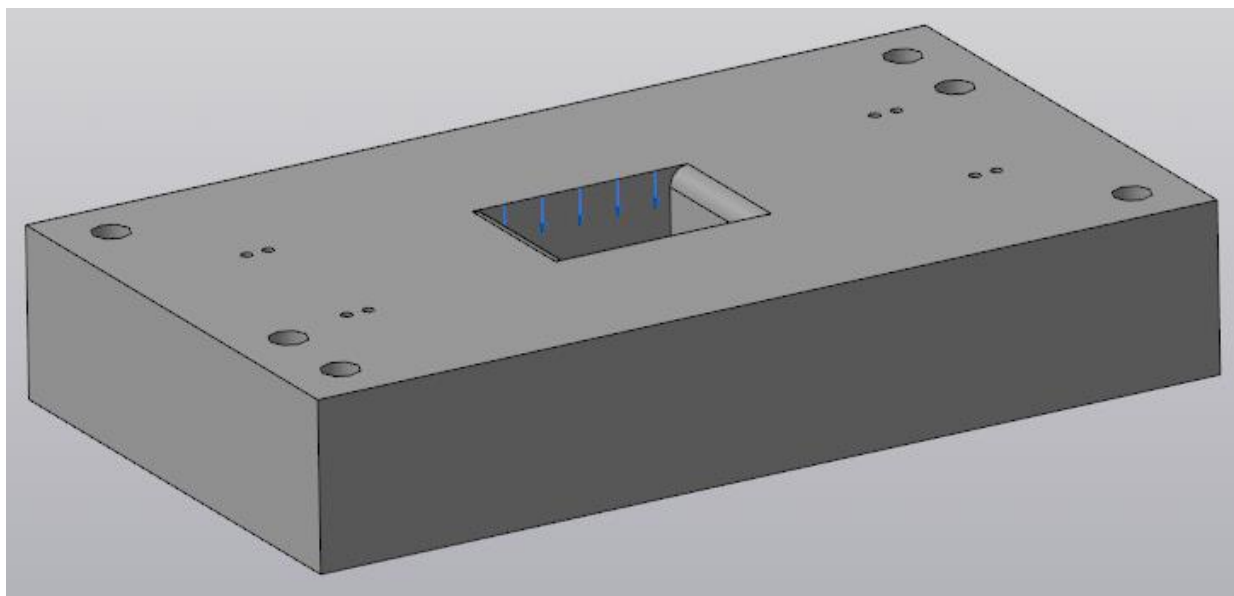


Рисунок 18 – Матрица до расчетов

Следующий шаг- задаем параметры инструментальной стали У10А для матрицы и генерируем КЭ стек из 4-узловых тетраэдров с максимальной стороной элемента 10 мм, где указывается количество конечных элементов, количество узлов и сама сетка на рисунке 19.

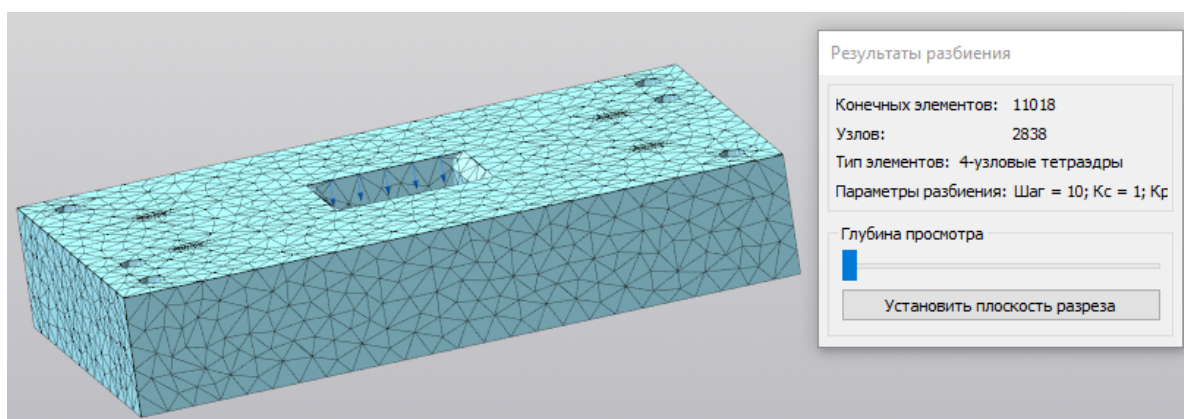


Рисунок 19 – КЭ сетка матрицы

Затем рассчитываем матрицу, выбираем тип расчета - линейный статический, и получаем карты результатов для напряжений и коэффициента запаса прочности, которые можно увидеть на рисунках 20 и 21.

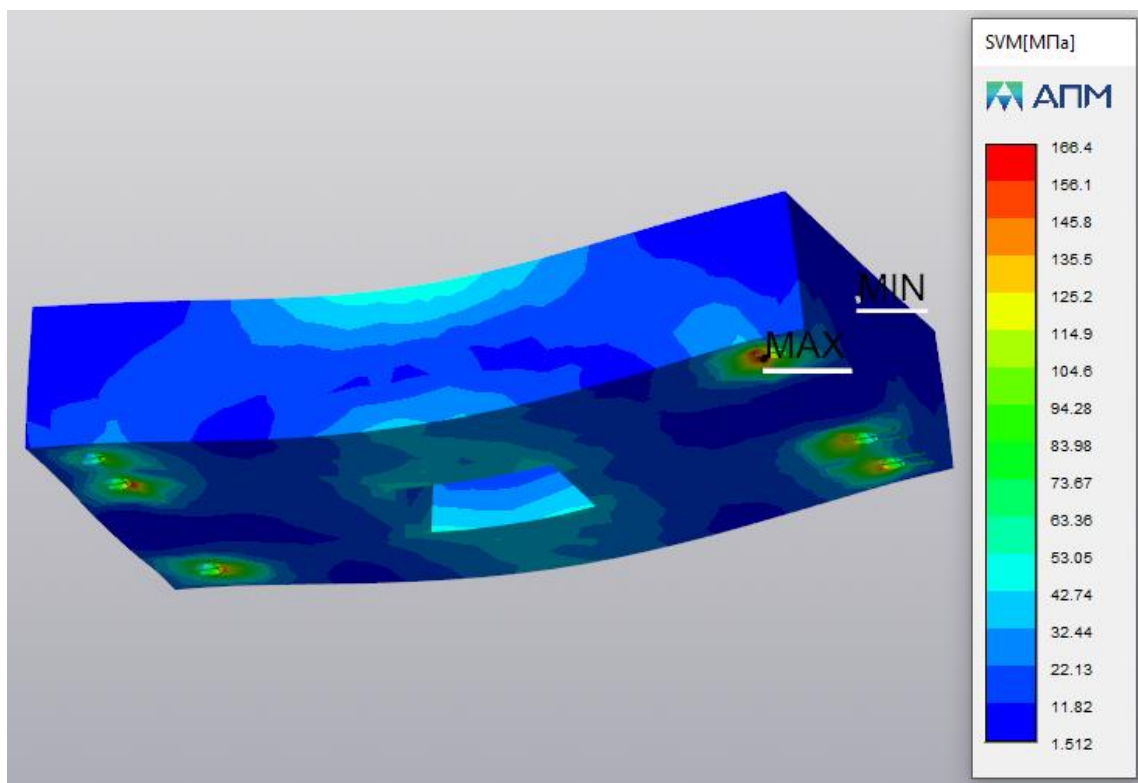


Рисунок 20 – Результаты расчета напряжения матрицы

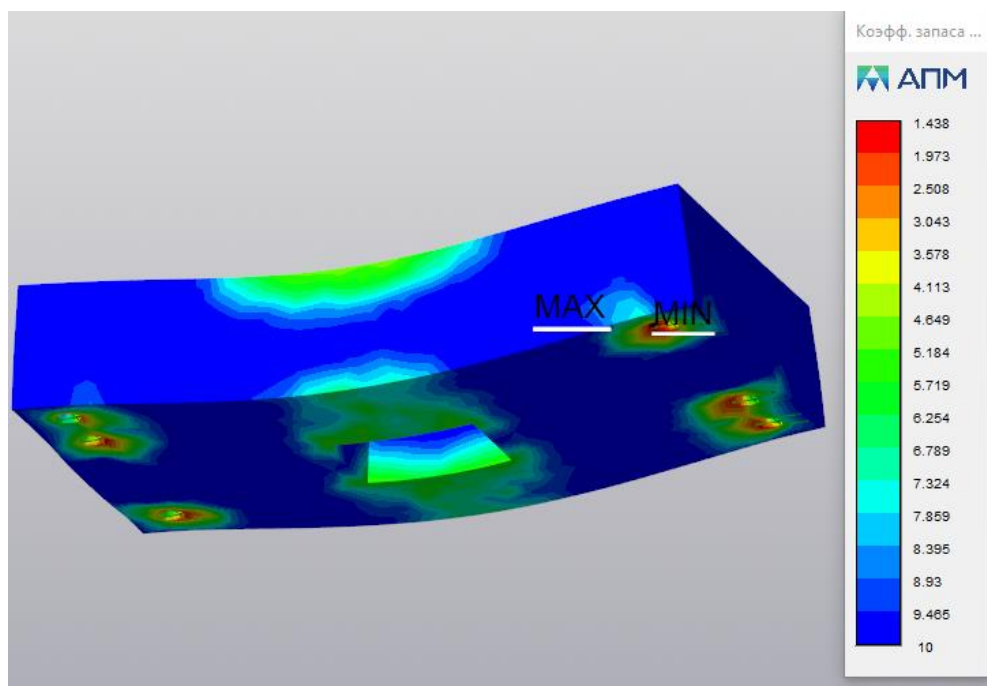


Рисунок 21 – Результаты расчета коэффициента запаса матрицы

Определено по полученным для матрицы картам результаты: максимальное напряжение составило 166,4 МПа, что меньше допускаемого напряжения для заданного материала, величиной 250 МПа, а минимальный коэффициент запаса прочности составил 1,4, обе величины расположены на нижней плоскости матрицы в месте крепления одного из винтов.

2.9 Выводы по разнице значений напряжения

Величины, полученные аналитически и при помощи программы результаты напряжений и коэффициентов запаса на прочность для пуансона и матрицы, отличаются:

Величина напряжения матрицы, полученная в программе в $166,4/128 = 1,3$ раз больше, чем результат полученный аналитически;

Величина напряжения пуансона, полученная в программе в $71,52/54,6 = 1,3$ раз больше, чем результат величины полученный аналитически;

Результаты отличаются по следующим причинам:

Различие методов расчетов параметров;

Погрешности, возникшие при аналитическом расчете;

Величина стороны конечного элемента, взятого в программе при разбиении была недостаточной большой, чем меньше сторона конечного элемента - тем точнее расчет;

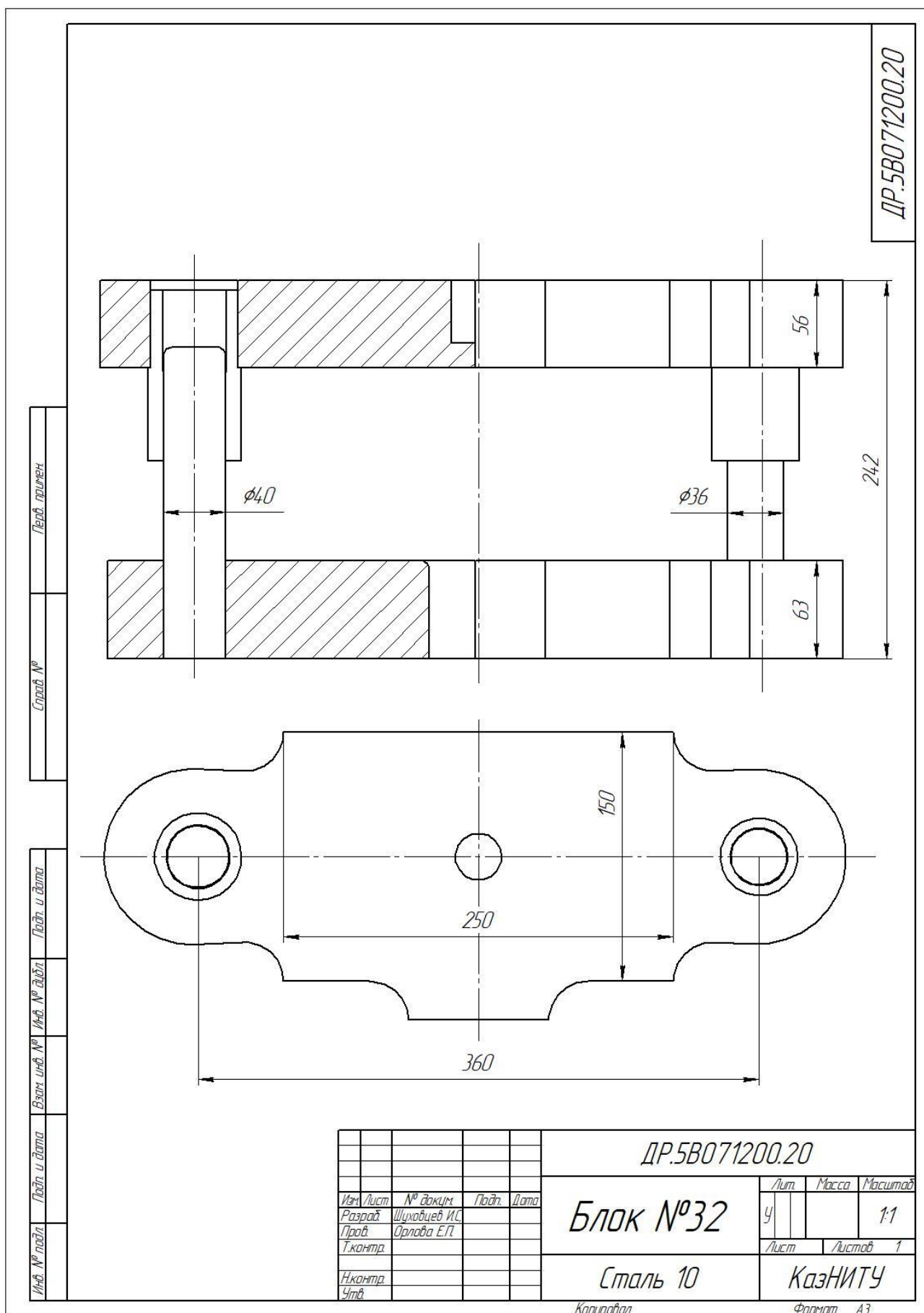
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенной работе, выбирая исходя из материала и размеров детали, составляющие штампа спроектировали штамп для изготовления гнутых детали, на основе необходимости производства скобы СТ41х41 ССТ 631. В ходе работы использовали программы «AutoCAD», «Компас 3D», «APR WinMachine». После проверили правильность проектирования деталей штампа проверив наиболее ответственные (матрицу, пуансон) на прочность, рассчитав наибольшее напряжения для данных деталей и коэффициент запаса на прочность. Проанализировали почему значения напряжения, полученные аналитически и при помощи программы, отличаются.

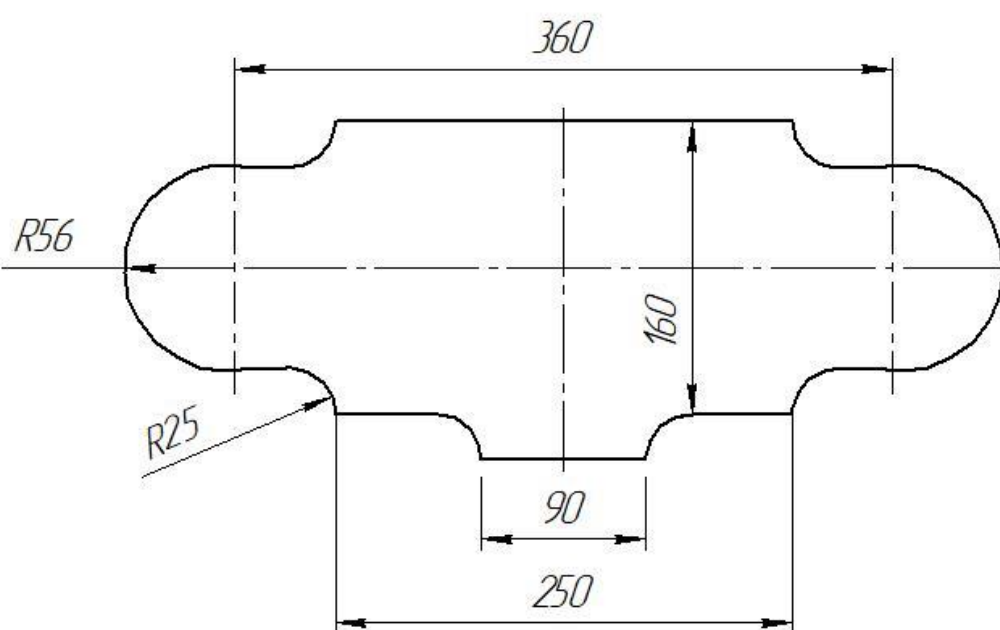
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Производственная компания кабеленесущие системы/электронная версия на сайте <https://pkks.ru/nesushchie-konstruktsii/item/pryamougolnaya-skoba-dlya-profilya-st41h41-sst-631>.
- 2 В.П.Романовский. Справочник по холодной штамповке. – 6 изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1979.
- 3 Л.И. Рудман. Справочник конструктора штампов/ Под общ. ред. Л.И. Рудман. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
- 4 Е.И.Семенов, Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./Ред. совет: К56. Е.И. Семенов (пред.) и др.- М.: Машиностроение, 1985 – Т.1.
- 5 Кузнечно-прессовое оборудование
- 6 Проектирование штампов листовой штамповки на сайте <https://proizvodim.com/proektirovanie-shtampov-listovoj-shtampovki-poryadok-proektirovaniya-shtampov.html>
- 7 Матрица и пуансон на сайте <https://promexcute.ru/matrica-i-puanson>
- 8 Штампы для листовой штамповки. Блоки с направляющими скольжения/ Под ред. В.Н. Шалаев – М.: Москва.

Приложение А



Приложение Б

Перв. примен.		ДР.5В071200.20																																							
Справ. №																																									
Подп. и дата		ДР.5В071200.20																																							
Взам. инв. №		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Изм.</td> <td style="width: 10%;">Лист</td> <td style="width: 20%;">№ докум.</td> <td style="width: 10%;">Подп.</td> <td style="width: 10%;">Дата</td> </tr> <tr> <td>Разраб.</td> <td></td> <td>Шуховцев И.С.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Пров.</td> <td></td> <td>Орлова Е.П.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Т.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разраб.		Шуховцев И.С.			Пров.		Орлова Е.П.			Т.контр.					Н.контр.					Утв.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата																																					
Разраб.		Шуховцев И.С.																																							
Пров.		Орлова Е.П.																																							
Т.контр.																																									
Н.контр.																																									
Утв.																																									
Инв. № подл.		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="2" style="width: 60%;">Плиты</td> <td style="width: 10%;">Лит.</td> <td style="width: 10%;">Масса</td> <td style="width: 20%;">Масштаб</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Сталь 3</td> <td style="text-align: center;">У</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1:1</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;">Лист</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Листов 1</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">КазННТУ</td> <td colspan="3"></td> </tr> </table>										Плиты		Лит.	Масса	Масштаб	Сталь 3		У		1:1			Лист	Листов 1		КазННТУ														
Плиты		Лит.	Масса	Масштаб																																					
Сталь 3		У		1:1																																					
		Лист	Листов 1																																						
КазННТУ																																									

Копировал

Формат А4

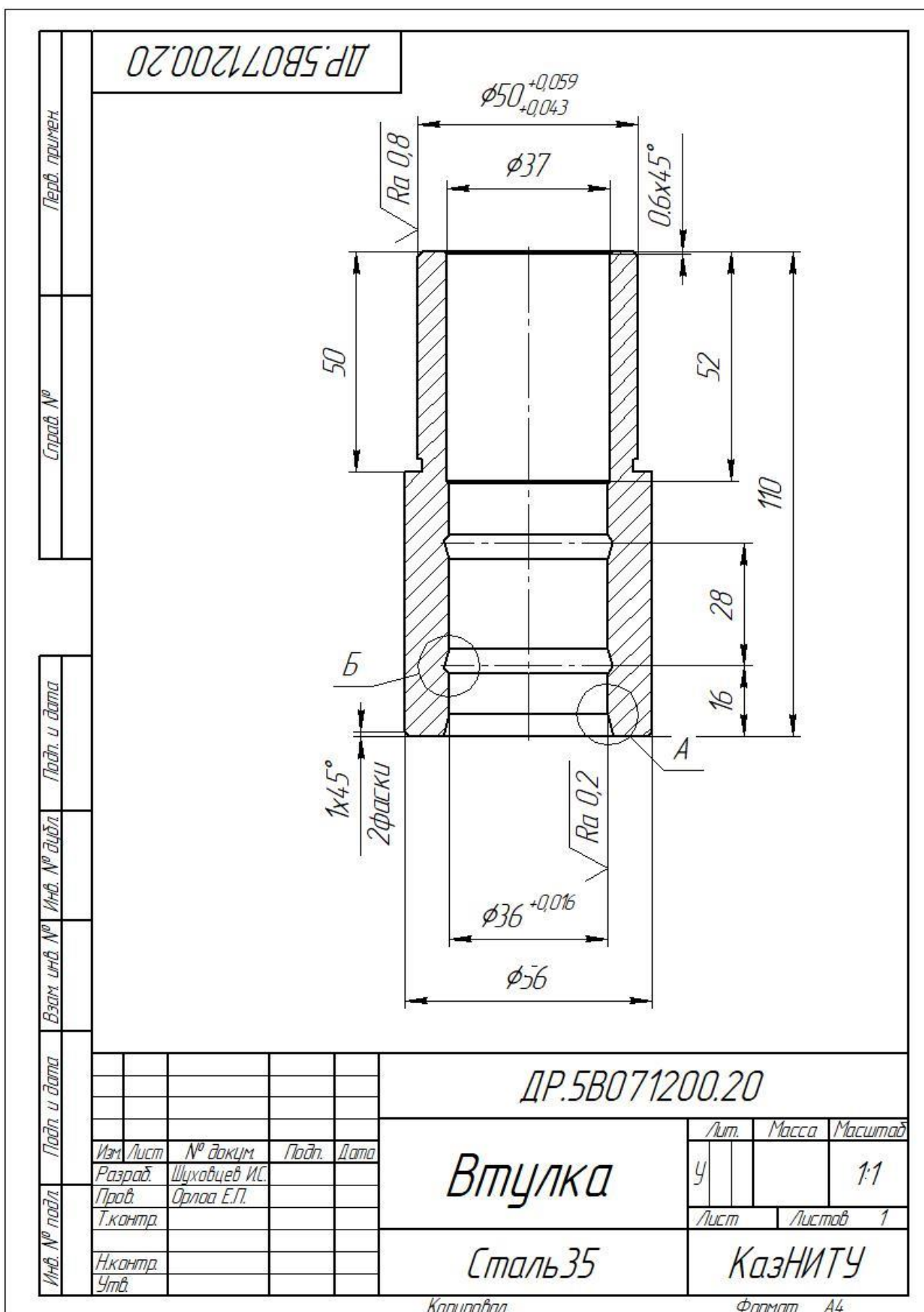
Приложение В

Перв. примен.	Справ. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.																																																				
ДР.5В071200.20																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Изм.</td> <td style="width: 10%;">Лист</td> <td style="width: 20%;">№ докум.</td> <td style="width: 10%;">Подп.</td> <td style="width: 10%;">Дата</td> <td style="width: 40%; text-align: center; vertical-align: middle;"> Колонки 1030-6071 </td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Лит.</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Масса</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">Масштаб</td> </tr> <tr> <td>Разраб.</td> <td></td> <td>Шуховцев И.С.</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> Сталь 20 </td> <td style="text-align: center;">У</td> <td></td> <td style="text-align: center;">1:1</td> </tr> <tr> <td>Пров.</td> <td></td> <td>Орлова Е.П.</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">Лист</td> <td style="text-align: center;">Листов</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>Т.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3" style="text-align: center;"> КазНИТУ </td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> </tr> </table>							Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Колонки 1030-6071	Лит.	Масса	Масштаб	Разраб.		Шуховцев И.С.			Сталь 20	У		1:1	Пров.		Орлова Е.П.			Лист	Листов	1	Т.контр.					КазНИТУ			Н.контр.									Утв.								
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Колонки 1030-6071	Лит.	Масса	Масштаб																																																		
Разраб.		Шуховцев И.С.			Сталь 20	У		1:1																																																		
Пров.		Орлова Е.П.				Лист	Листов	1																																																		
Т.контр.						КазНИТУ																																																				
Н.контр.																																																										
Утв.																																																										
Копировал Формат А4																																																										

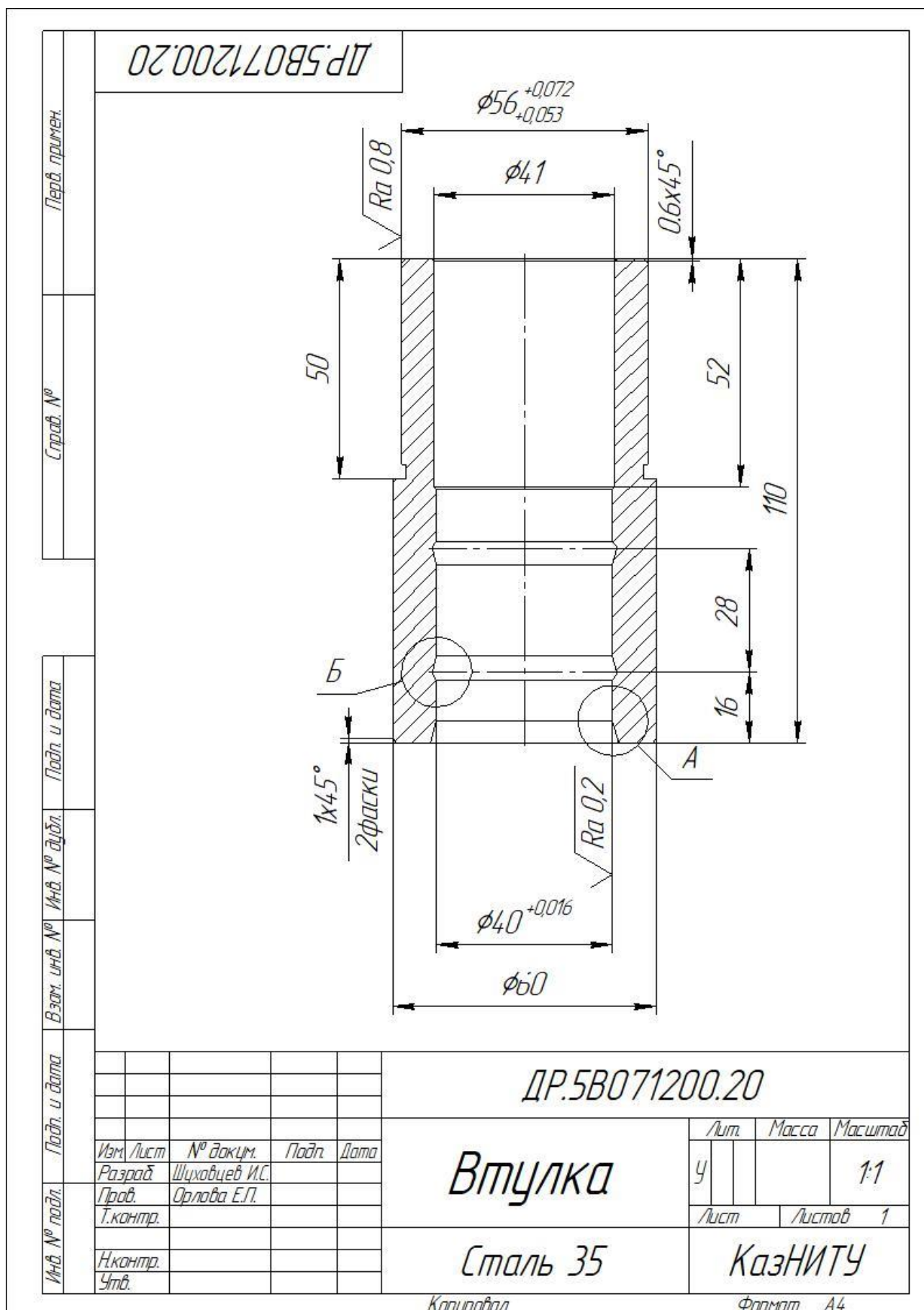
Приложение Г

Перв. примен.	Справ. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.																																							
ДР.5В071200.20																																													
ДР.5В071200.20																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Изм.</td> <td style="width: 15%;">Лист</td> <td style="width: 15%;">№ докум.</td> <td style="width: 15%;">Подп.</td> <td style="width: 15%;">Дата</td> </tr> <tr> <td>Разраб.</td> <td></td> <td>Шуховцев И.С.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Пров.</td> <td></td> <td>Орлова Е.П.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Т.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Н.контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Утв.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Разраб.		Шуховцев И.С.			Пров.		Орлова Е.П.			Т.контр.					Н.контр.					Утв.					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Лит.</td> <td style="width: 15%;">Масса</td> <td style="width: 15%;">Масштаб</td> </tr> <tr> <td>у</td> <td></td> <td>1:1</td> </tr> <tr> <td>Лист</td> <td>Листов</td> <td>1</td> </tr> </table>		Лит.	Масса	Масштаб	у		1:1	Лист	Листов	1
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата																																									
Разраб.		Шуховцев И.С.																																											
Пров.		Орлова Е.П.																																											
Т.контр.																																													
Н.контр.																																													
Утв.																																													
Лит.	Масса	Масштаб																																											
у		1:1																																											
Лист	Листов	1																																											
Колонки 1030-6057					Сталь 20																																								
Копировал					КазНИТУ																																								
Формат А4					Формат А4																																								

Приложение Д



Приложение Е



Приложение Ё

Инв. № подл.	Т.контр.	Пров.	Разраб.	Изм./Лист	Дата	Подп.	№ докум.	Инв. №	Взам инв. №	Подп. и дата	Инд. №	Склад №	Перв. примен.	
Инв. № подл. Т.контр. Пров. Разраб. Изм./Лист Дата Подп. № докум. Инв. № Взам инв. № Подп. и дата Инд. № Склад № Перв. примен.														
Инв. № подл. Т.контр. Пров. Разраб. Изм./Лист Дата Подп. № докум. Инв. № Взам инв. № Подп. и дата Инд. № Склад № Перв. примен.														