Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра проектирования технологических машин

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «***Системы компьютерной поддержки инженерных решений***», 8 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны средствами программных продуктов: 1. *APM WinMachine и ANSYS* осуществить моделирование напряженно-деформированного состояния элементов привода технологического оборудования; 2. *Sysweld* осуществить конечно-элементное моделирование технологического процесса (сварка или термообработка).

Выставление оценок за РГЗ осуществляется на основе выполнения и защиты одного типового задания. Защита расчетно-графического задания в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 20…24 баллов; "хорошо" – 25…30 баллов; "отлично" – 31…35 баллов.

2. Критерии оценки

Работа считается ***не выполненной,*** если студент не освоил теоретический материал и не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет 0…19 баллов.

Р*абота считается выполненной на* ***пороговом уровне***, если студент освоил теоретический материал, но не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет 20…24 баллов.

Работа считается выполненной на ***базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок при определении параметров математической модели, привёл не достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения в отношении рациональности принятых режимных параметров сварки, оценка составляет 25…30 баллов

Работа считается выполненной на ***продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения по всем разделам, оценка составляет 31…35 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Оценка	**Сумма баллов за защиту РГЗ(Р) в общем рейтинге**
«Отлично»	31…35
«Хорошо»	25…30
«Удовлетворительно»	20…24
«Неудовлетворительно»	0…19

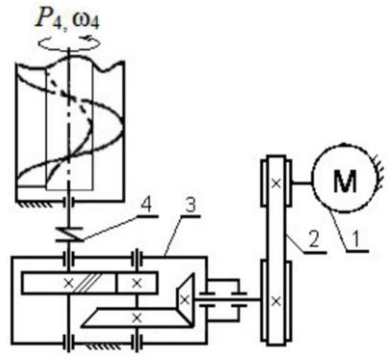
Студент имеет возможность получить дополнительно до 20 баллов при выполнении работ, не предусмотренных основной программой освоения курса. Данные виды работ согласуются с преподавателем. Одним из вариантов дополнительной работы может быть выполнение второй расчётно-графической работы по другой тематике.

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

Рекомендуемая структура и пример выполненного расчетно-графического задания

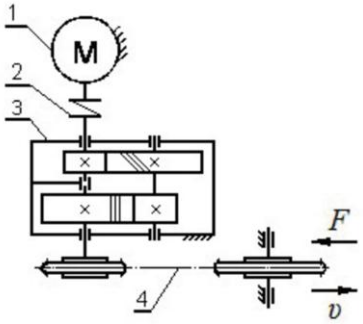
1. Исходные данные:

Кинематическая схема привода технологического оборудования, нагрузочные характеристики (рис. 1)



Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_4, кВт	1	1,3	2	2,8	3,5	5	7	10	4,5	6,5
ω_4, с$^{-1}$	7,5	8	8,5	9	9,5	10	9,5	9	8,5	7,5

а)



Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F, кН	2,5	2,8	2,5	2	6	3	4,5	6	2,5	4,5
υ, м/с	1,2	0,8	0,9	0,5	1,6	0,8	0,7	0,9	1	0,4
D, м	0,3	0,2	0,2	0,1	0,5	0,2	0,2	0,3	0,3	0,1

б)

Рис. 1. – Технические задания:
а) Привод шнекового транспортера: 1 – электродвигатель, 2 – ременная передача, 3 – редуктор коническо-цилиндрический, 4 – упругая муфта;
б) Привод цепного транспортера: 1 – электродвигатель, 2 – муфта, 3 – редуктор цилиндрический соосный, 4 – цепная передача.

Задание:

1. Кинематический расчет средствами АРМ WinMachine.

Силовой расчет привода. Выбор электродвигателя.

Расчет двух передач привода с получением основных размеров и действующих сил.

Расчет валов редуктора на кручение с последующим их проектированием: диаметров участков валов под уплотнения (с выбором стандартных уплотнений); диаметров под подшипники (с выбором стандартных подшипников); диаметров упорных буртиков (возможно совмещение с другими диаметрами); посадочных диаметров под зубчатые колеса. Уточненный расчет валов на прочность при совместном действии изгиба и кручения, с определением реакций в опорах валов и построением эпюр изгибающих и крутящих моментов.

Проверка наиболее нагруженных подшипников валов на долговечность. По результатам – рекомендация для выбора более легкой или тяжелой серии.

Проверка шпоночных и/или шлицевых соединений валов на прочность.

2. Выполнить в конечно-элементном комплексе Sysweld моделирование напряженно-деформированного состояния материала в условиях соответствующего технологического процесса.

2. Основная часть работы:

Проведение математического моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) конструктивных элементов привода технологического оборудования с использованием сертифицированных комплексов АРМ WinMachine и ANSYS.

Представление результатов математического моделирования в среде Sysweld НДС материала при действии технологической нагрузки.

3. Выводы.

4. Список использованной литературы

Для выполнения задания студенты имеют доступ к современному компьютерному оборудованию, на котором установлены программные конечно-элементные комплексы SYSWELD и ANSYS. Для проведения натурных экспериментов студентам предлагается воспользоваться сварочным технологическим оборудованием, находящимся в научно-образовательном центре «Сварочные технологии» — «НГТУ–Kjellberg Finsterwalde». Металлографические исследования проводятся на современном оборудовании, которое располагается на территории кафедры "Материаловедение в машиностроении": световые микроскопы Axiovert 40MAT, AXIO Observer A1m; просвечивающий электронный микроскоп Tecnai G2 20TWIN, растровый электронный микроскоп EVO 50 XVP, установка рентгеноструктурного анализа ARL X'TRA, Оптико-эмиссионный спектрометр ARL 3460 Quantris.

Объем пояснительной записки 20-25 стр. компьютерного набора. Формат бумаги А4 – 210 х 297 мм. На титульном листе должны быть указаны дисциплина, номер и наименование темы РГЗ, фамилия, имя и группа студента. Титульный лист оформляется по образцу, приведенному на рисунке 1. Основные составляющие РГЗ: содержание, введение, основная часть, заключение, список использованной литературы. Брошюровка работы должна быть книжной; поля: сверху – 2,0 см, слева – 1,5 см, внизу – 2,0 см, справа – 3,0 см. Шрифт набора текста должен быть 12-14 пунктов. Межстрочный интервал полуторный. Текст должен иллюстрироваться схемами, графиками, рисунками, таблицами. Рисунки должны быть сделаны в векторном графическом редакторе (Компас, AutoCAD, CorelDraw, и т.п.) и могут быть расположены на отдельной странице. Подрисуночная подпись должна располагаться под рисунком. Нумерация рисунков сквозная. Список использованной литературы оформляется по ГОСТ.

Пример выполненной работы:

Цель работы и исходные данные

Цель работы:
1. Провести проектировочные расчеты конструктивных элементов привода технологического оборудования средствами комплексов APMWinMachine и AnsysWorkbench.
Рассчитать прочностные характеристики червячно-цилиндрического редуктора.

2. Осуществить моделирование напряженно-деформированного состояния материала в условиях электродуговой сварки.

Для достижения поставленной цели не обходимо решить следующие задачи:

Используя программный продукт *APM WinMachine*

1 Произвести расчет передач
2 Произвести расчет валов
3 Произвести расчет подшипников
4 Произвести расчет шпоночных соединений

Используя программный продукт *Ansys*:

1. Определить полную деформацию.
2. Определить эквивалентные напряжения.
3. Определить коэффициент запаса статической прочности.

2. В конечно-элементном комплексе Sysweld посредством использования мастера сварки Welding Advisor выполнить расчет напряженно-деформированного состояния материала в условиях электродуговой сварки.

1. Проектировочные расчеты конструктивных элементов привода технологического оборудования средствами комплексов APMWinMachine и AnsysWorkbench

Исходные данные для расчета редуктора:

Тяговое усилие на элеваторе, F	4500 Н
Скорость цепи элеватора,V	0,2 м/с
Диаметр тяговой звёздочки,D	0,58 м
Срок службы,	8 лет
Коэффициент годового использования,	0,3
Коэффициент суточного использования,	0,6

1. Кинематический расчет

Найдем частоту вращения исполнительного органа $n_{ро}$ (d=58 мм)

$$n_{ро} = \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{60 \cdot 0{,}2}{3{,}14 \cdot 0{,}58} = 6{,}6 \quad \frac{об}{мин}$$

Найдем требуемую мощность двигателя:

$$P_{ро} = F * V = 4500 \cdot 0{,}2 = 900 Вт$$

$$\eta_{общ} = \eta_{м} * \eta_{подш}^{3} * \eta_{тх} * \eta_{бх} * \eta_{ц.пер} = 0{,}96 * 0{,}99^{3} * 0{,}8 * 0{,}93 * 0{,}9 = 0{,}6 \frac{об}{мин}$$

Теперь рассчитаем мощность двигателя:

$$P_{дв} = \frac{P_{ро}}{\eta_{общ}} = \frac{900}{0{,}623723} = 1442{,}9466 Вт = 1{,}44 кВт$$

Выберем по справочнику электродвигатель с мощностью более 1,44 кВт. В данном случае возьмём электродвигатель, мощность которого равна $P_{дв} = 2,2$Вт
Далее определим подходящие частоты вращения: 3000, 1000 и 750 об/мин.

$$i_{общ1} = \frac{n_{дв1}}{n_{ро}} = \frac{750}{6,58906} = 113,9$$

$$i_{общ2} = \frac{n_{дв2}}{n_{ро}} = \frac{1000}{6,58906} = 151,8$$

$$i_{общ3} = \frac{n_{дв3}}{n_{ро}} = \frac{1500}{6,58906} = 227,7$$

$$i_{общ4} = \frac{n_{дв4}}{n_{ро}} = \frac{3000}{6,58906} = 455,3$$

$$i_{общ} = i_{цеп.п} * i_{цил.х} * i_{чер.х.} = 4*16*2,25 = 144,15$$

Выберем наиболее оптимальную из четырёх параметров редукторов. В нашем случае подходит двигатель 100L6/945, где n=945 $\frac{об}{мин}$, $P_{дв}$=1000 кВт. Рассчитаем $i_{общ}$

$$i_{общ} = \frac{n_1}{n_{ро}} = \frac{945}{6,59} = 143,4$$

Расчёт оборотов на каждой ступени, а так же угловых скоростей.

$$n_1 = 945\frac{об}{мин} \qquad \omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14*945}{30} = 98,91c^{-1}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{цеп.п}} = \frac{945}{4} = 236,25\frac{об}{мин} \qquad \omega_2 = \frac{\pi n_2}{30} = \frac{3,14*236,25}{30} = 24,72c^{-1}$$

$$n_3 = \frac{n_2}{i_{цил.п}} = \frac{236,25}{16} = 14,765\frac{об}{мин} \qquad \omega_3 = \frac{\pi n_3}{30} = \frac{3,14*14,765}{30} = 1,54c^{-1}$$

$$n_4 = \frac{n_3}{i_{р.п}} = \frac{14,765}{2,25} = 6,5625\frac{об}{мин} \qquad \omega_4 = \frac{\pi n_4}{30} = \frac{3,14*6,5625}{30} = 0,68c^{-1}$$

Рассчитаем крутящие моменты.

$$T_{дв} = \frac{P_{дв}}{\omega_1} = \frac{1442,946}{98,91} = 14,58Н*м$$

$$T_2 = T_{дв} * i_{р.п} * \eta_{р.п} * \eta_{подш} = 14,5884*0,99*0,9*4 = 51,99Н*м$$

$$T_3 = T_2 * i_{цил.п} * \eta_{цил.п} * \eta_{подш} = 51,99332*0,99*0,8*16 = 658,85Н*м$$

$$T_4 = T_3 * i_{чер.п} * \eta_{чер.п} * \eta_{подш} = 658,85938*0,99*0,93*2,25 = 1364,87Н*м$$

2. Расчет передач редуктора

2.1 Цилиндрическая зубчатая передача

Выбор материала для зубчатых колес.

Для шестерни:

сталь *45*,
термообработка – улучшение,
твердость *HB=250*,
σ_B =730 МПа – предел прочности,
σ_T =390 МПа – предел текучести.

Для колеса:

сталь *45*,
термообработка – улучшение,
твердость *HB=210*,
σ_B =730 МПа – предел прочности,
σ_T =390 МПа – предел текучести.

На основе этих данных произведем расчет передачи в программном продукте *АРМ WinMachine*.

Для начала необходимо выбрать тип передачи как указанно на рисунке 1. После указать основные данные передачи в специально отведенные для этого графы (Рисунок 2):

- Момент на выходе,
- Обороты на выходе,
- Передаточное число,
- Требуемый ресурс,
- Число зацеплений,
- Термообработку

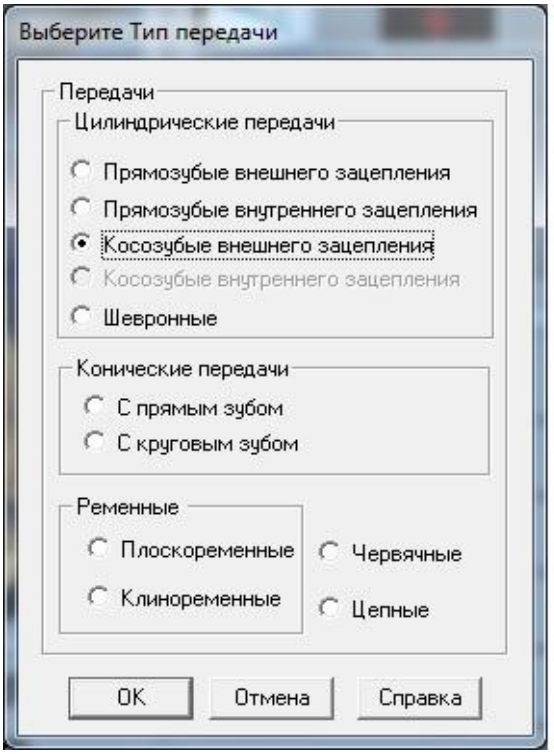


Рисунок 1 – Выбор типа передачи

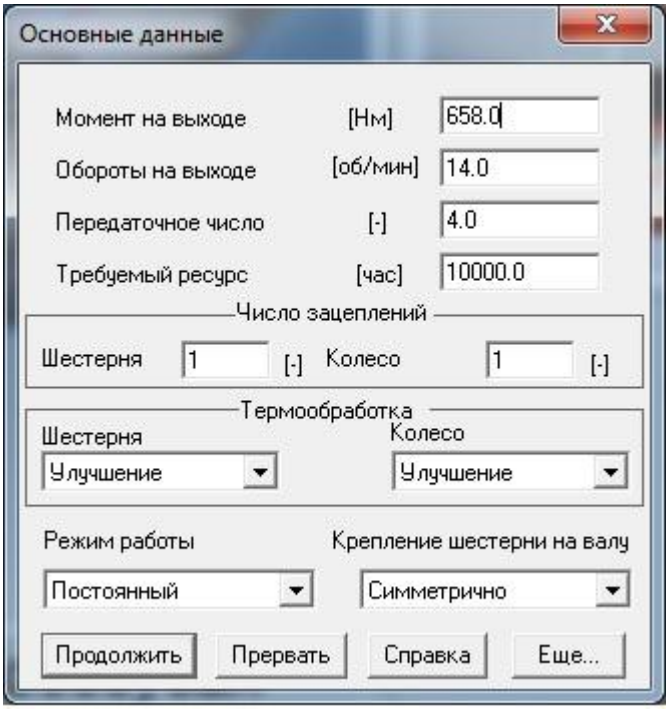


Рисунок 2 – Графы для заполнения основных данных

Помимо этого, в опции «Ещё» необходимо указать дополнительные данные (Рисунок 3): материал зубчатых колес, их твёрдость, межосевое расстояние, модуль, угол наклона зубьев и другие данные необходимые для расчета.

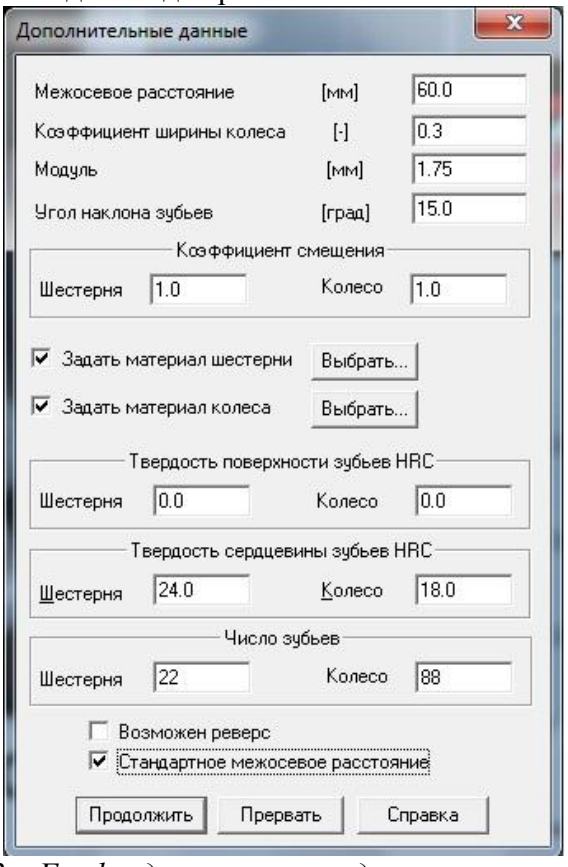


Рисунок 3 – Графы для заполнения дополнительных данных.

После того, как все данные введены, производим расчет. Результаты на рисунках 4, 5, 6.

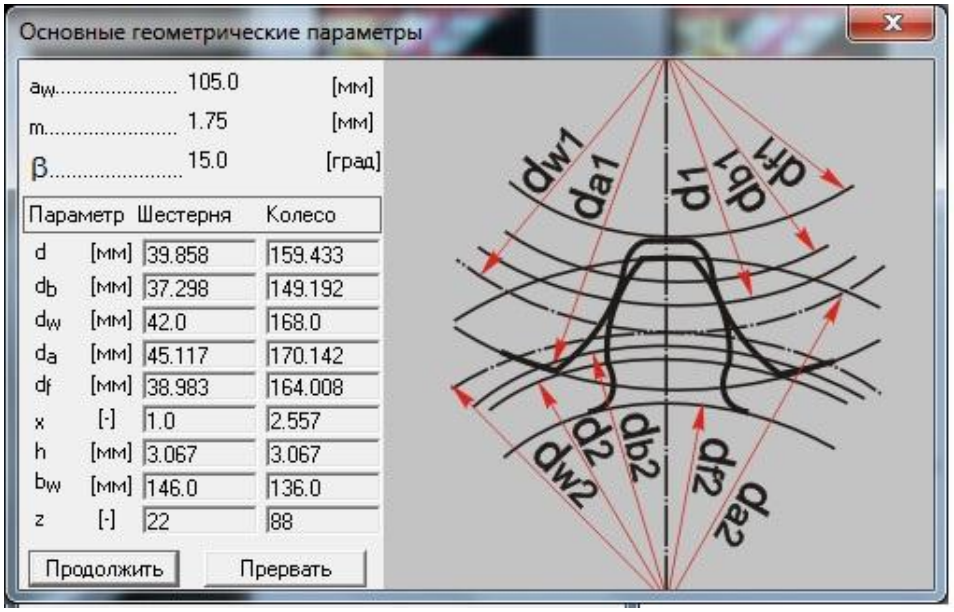


Рисунок 4 – Расчетные геометрические параметры

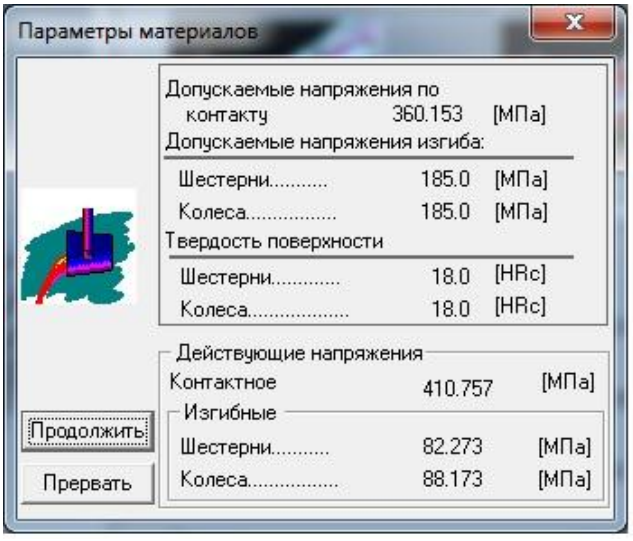


Рисунок 5 – Расчетные параметры материалов

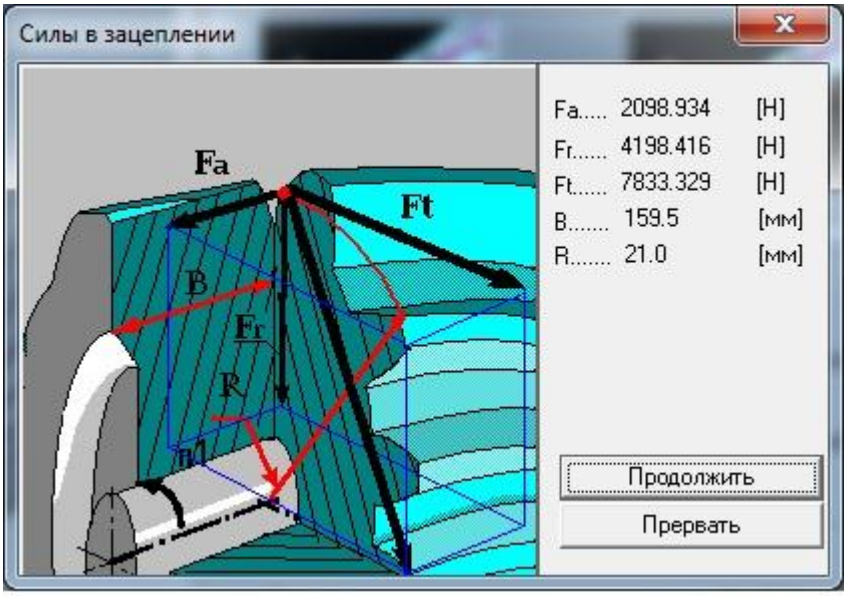


Рисунок 6 – Расчетные силы в зацеплении

2.2 Расчет червячной передачи

Расчет червячной передачи ведется по червячному колесу.

Предварительно по рекомендациям выбираем $u=16$, $Z_1=2$, $q=8$, $K=1{,}2$ тогда $Z_2=Z_1\cdot u=2\cdot 16=32$

Выбираем материал червяка и венца червячного колеса. Принимаем для червяка сталь 45.Так как к редуктору не предъявляются специальные требования, то в целях экономии принимаем для венца червячного колеса бронзу БрА9Ж3Л.

Допускаемое напряжение изгиба для нереверсивной работы $[\sigma_{0F}]=K_{FL}\cdot[\sigma_{0F}]'$, где основные допускаемые напряжения изгиба $[\sigma_{0F}]'$=81, а коэффициент K_{FL}=0.543.

Тогда $[\sigma_{0F}]=0{,}543\cdot 81=43{,}983$

Межосевое расстояние будет считаться по формуле:

$$a_w=\left(\frac{Z_2}{q}+1\right)\cdot\sqrt[3]{\left(\frac{170}{[\sigma_H]\cdot\left(\frac{Z_2}{q}\right)}\right)^2\cdot T_2K}=\cdot\left(\frac{32}{8}+1\right)\sqrt[3]{\left(\frac{170}{148\cdot\left(\frac{32}{8}\right)}\right)^2\cdot 658.86\cdot 10^3\cdot 1.2}=201.24$$ мм

Принимаем $a_w=200$, тогда $m=\frac{2\cdot a_w}{q+z_2}=\frac{2\cdot 200}{32+8}=10$

Межосевое расстояние при стандартных значениях m и q

$$a_\omega=\frac{m(q+Z_2)}{2}=\frac{8(10+40)}{2}=200$$ мм

Рассчитаем скорость сложения

$$v_s=4.5\cdot 10^{-4}n_2\sqrt[3]{T_2}=4.5\cdot 10^{-4}\cdot 236.25\cdot\sqrt[3]{658.86}=0.9251$$ м/с

Данные расчеты необходимы для заполнения граф при расчете червячной передачи. Аналогичным образом выбираем тип передачи червячный и заполняем основные параметры. (Рисунок 7)

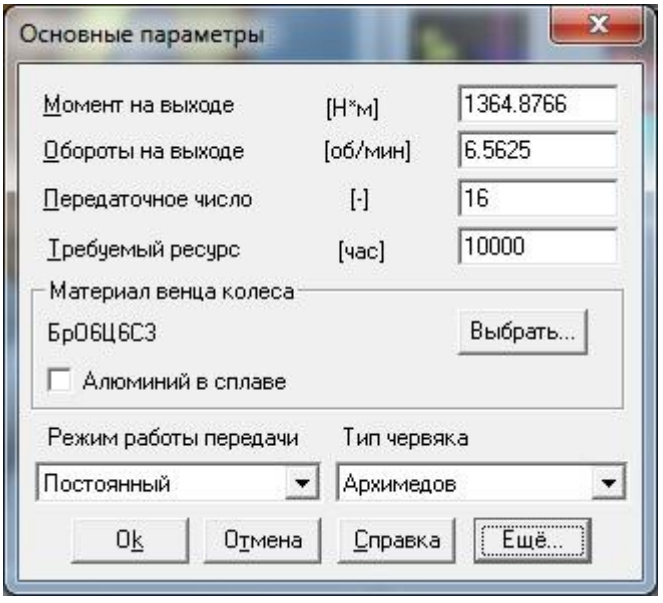


Рисунок 7 – Основные параметры червячной передачи

Дополнительные параметры заполняем в опции «Ещё» (Рисунок 8)

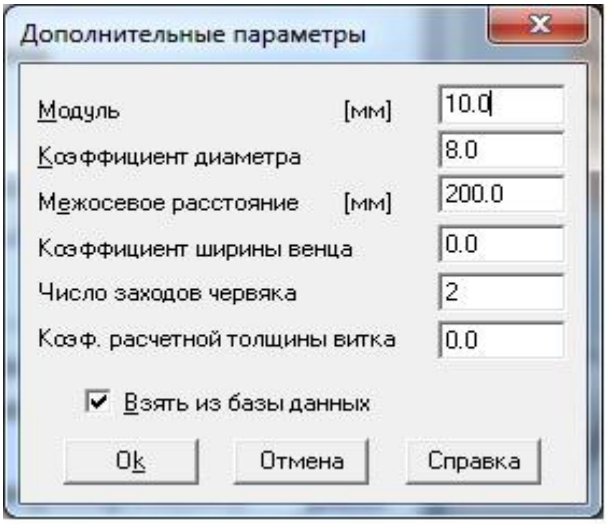


Рисунок 8 – Дополнительные параметры червячной передачи

Затем производим расчет и анализируем результаты (Рисунок 9, 10, 11)

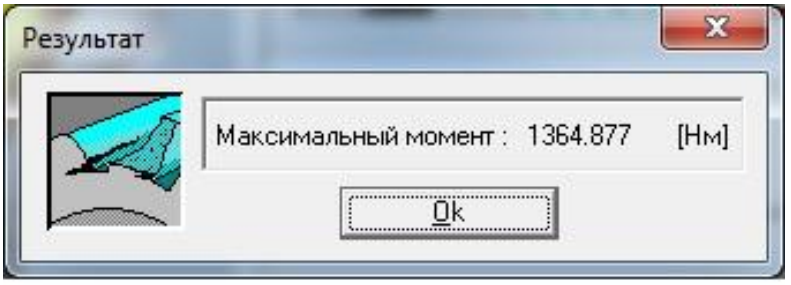


Рисунок 9– Расчетный максимальный момент

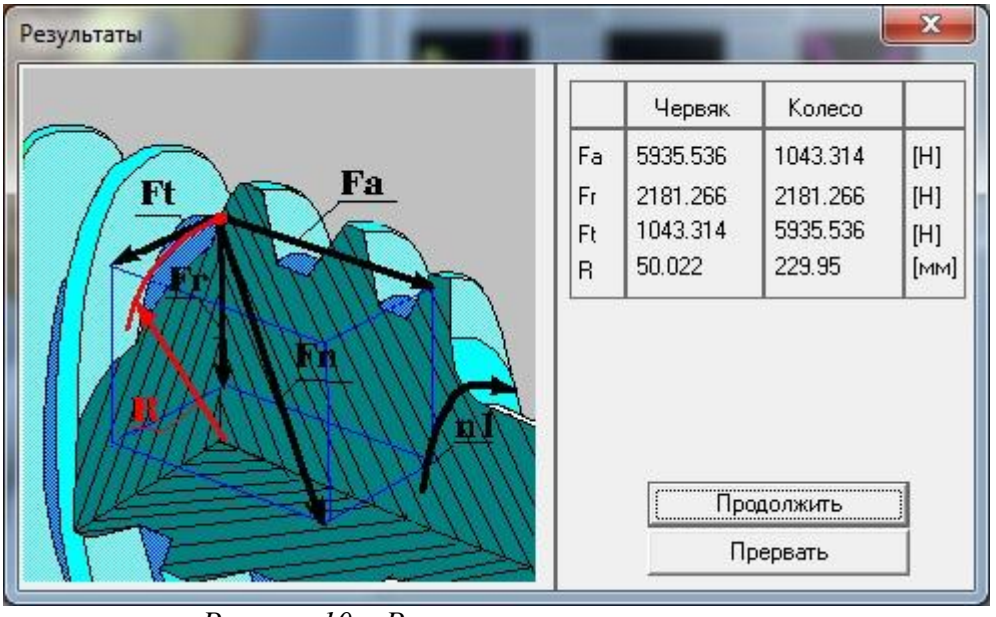


Рисунок 10 – Расчетные силы в зацеплении

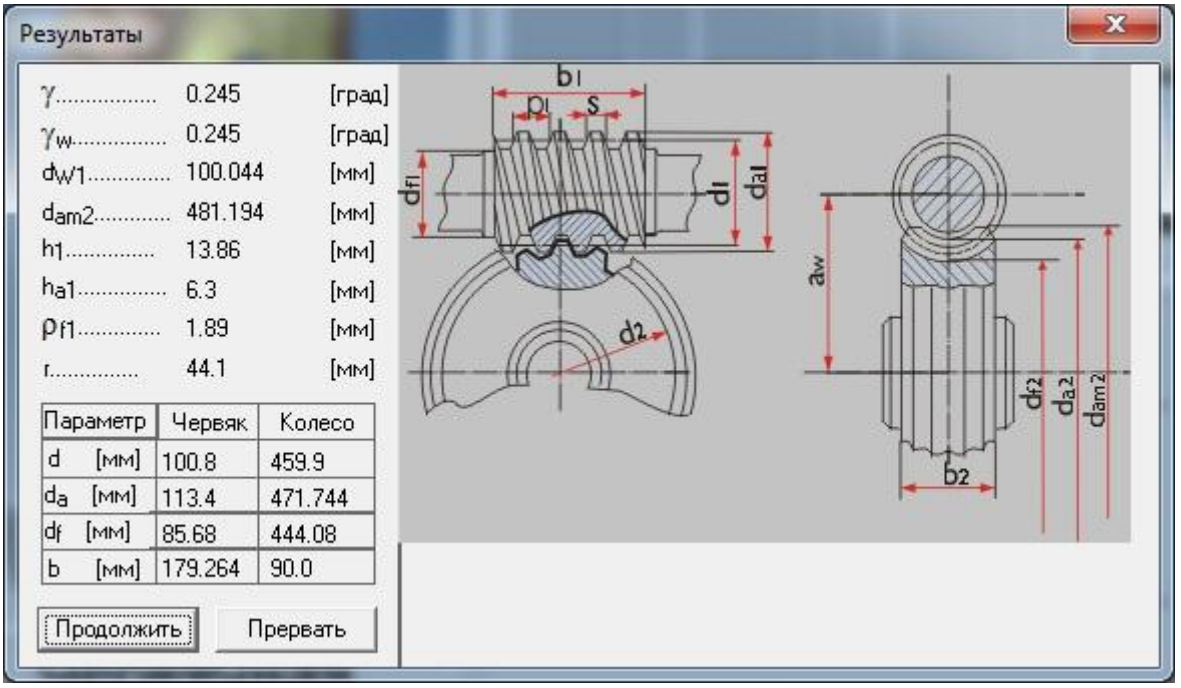


Рисунок 11 – Расчетные геометрические параметры

3. Расчет валов

Зная силы и моменты, возникающие в зацеплении, можно рассчитать валы редуктора.

Для этого необходимо создать расчетную схему вала в модуле «APM Shaft».

Учитываем геометрические параметры конструктивных элементов вала, координаты расположения подшипников, моменты инерции дополнительных элементов привода, вид термообработки, направление и величину моментов и сил в зацеплении.

После задаем частоту вращения и требуемый ресурс (Рисунок 12).

Расчетные данные приведены на рисунках 13-27 и таблицах 1, 2.

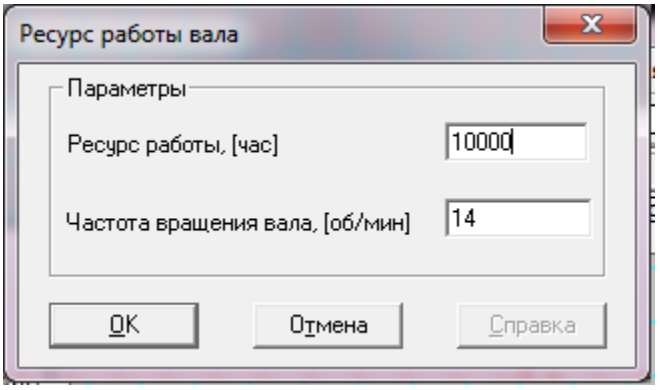


Рисунок 12– Ресурс работы вала

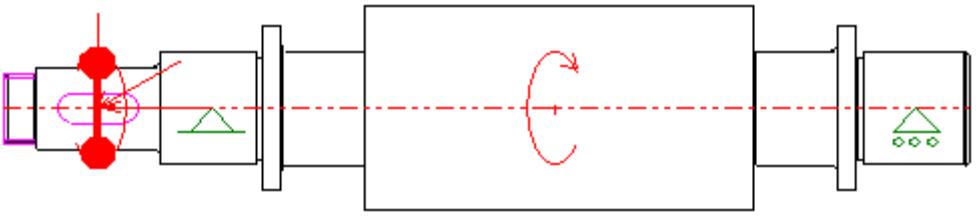


Рисунок 13 – Расчетная схема промежуточного вала

Таблица 1

Нагрузки

Радиальные силы

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Модуль, Н	Угол, град
0	46.00	4198.00	180.00
1	46.00	2577.91	-125.53

Осевые силы

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, Н
0	46.00	-2098.00

Моменты кручения

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, Нхм
0	46.00	658.00
1	268.00	-658.00

Моменты инерции

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, кг х кв.м
0	31.000	7833.000

Таблица 2

Реакции в опорах

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Реакция верт., Н	Реакция гориз., Н	Реакция осевая, Н	Модуль, Н	Угол, град
0	101.00	6612.02	2435.40	2098.00	7046.28	69.78
1	443.00	-916.02	-337.40	0.00	976.18	-110.22

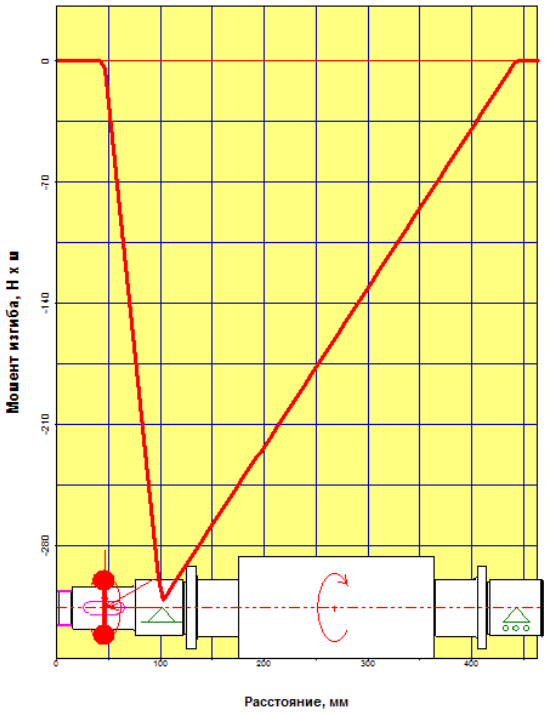


Рисунок 14 – Момент изгиба в вертикальной плоскости

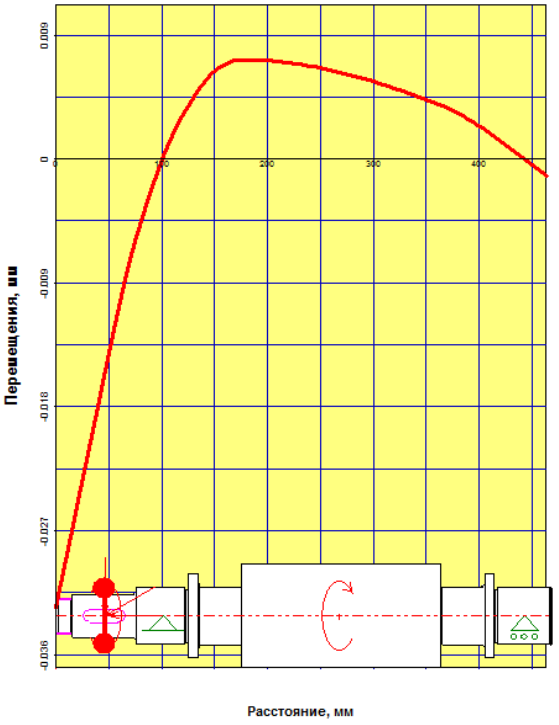


Рисунок 15 – Перемещения в вертикальной плоскости

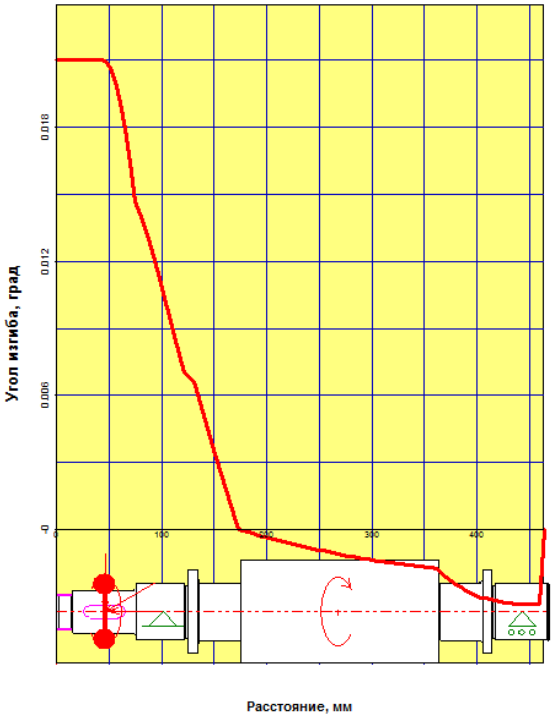


Рисунок 16– Угол изгиба в вертикальной плоскости

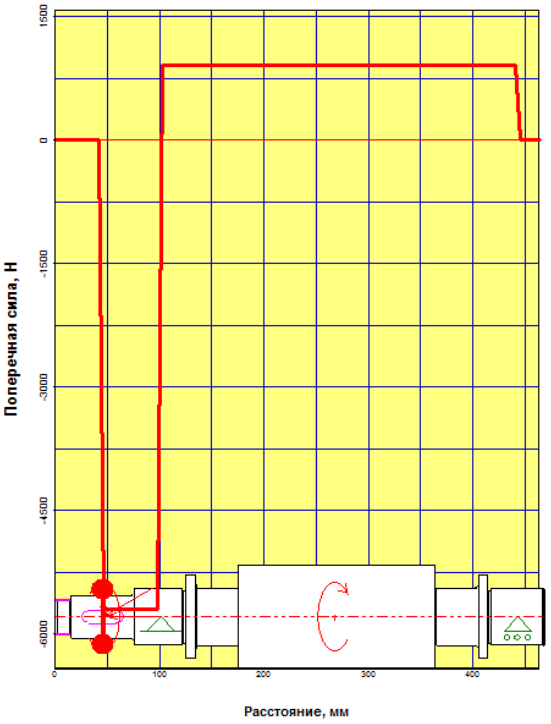


Рисунок 17 – Поперечные силы в вертикальной плоскости

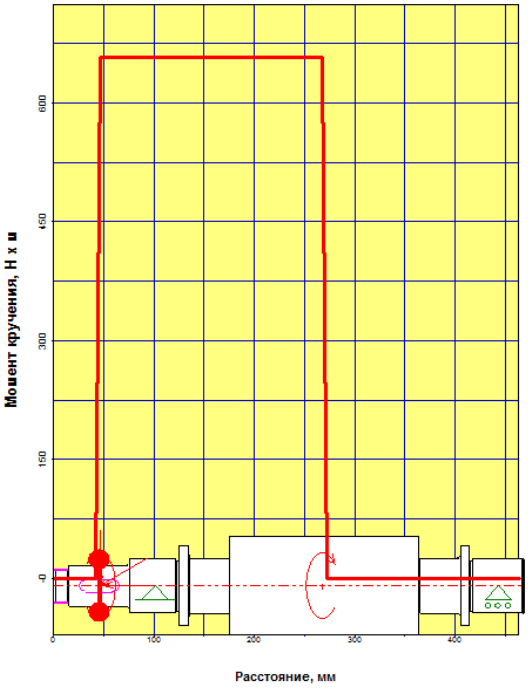


Рисунок 18– Момент кручения

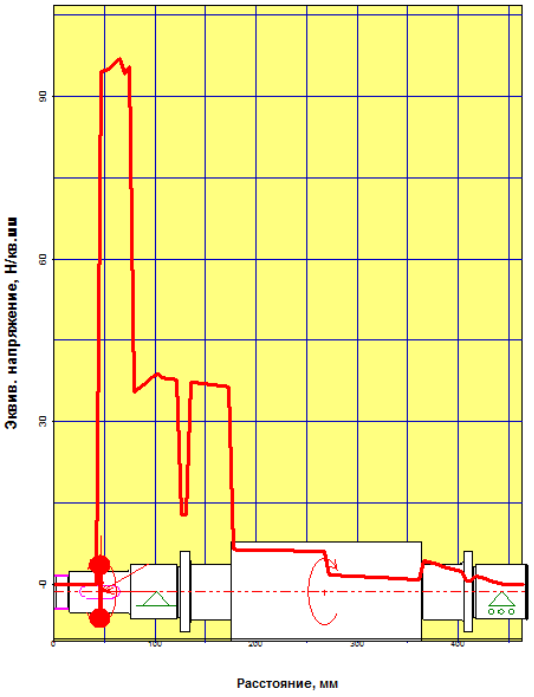


Рисунок 19 – Эквивалентное напряжение

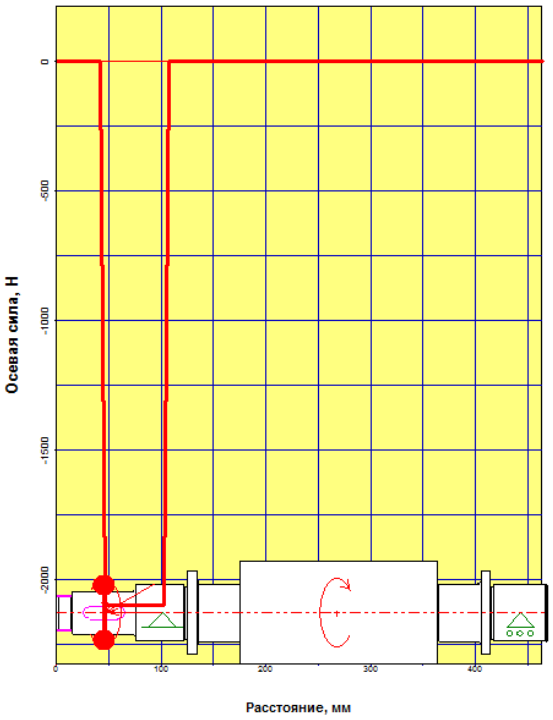


Рисунок 20– Осевые силы

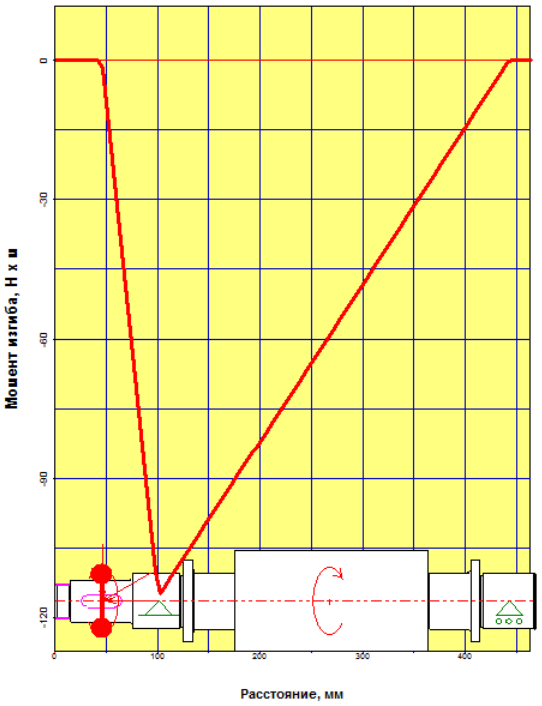


Рисунок 21 – Момент изгиба в горизонтальной плоскости

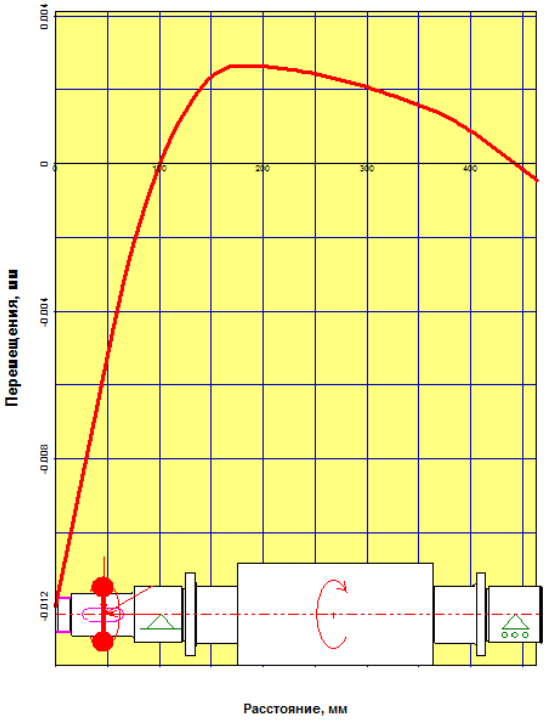


Рисунок 22– Перемещения в горизонтальной плоскости

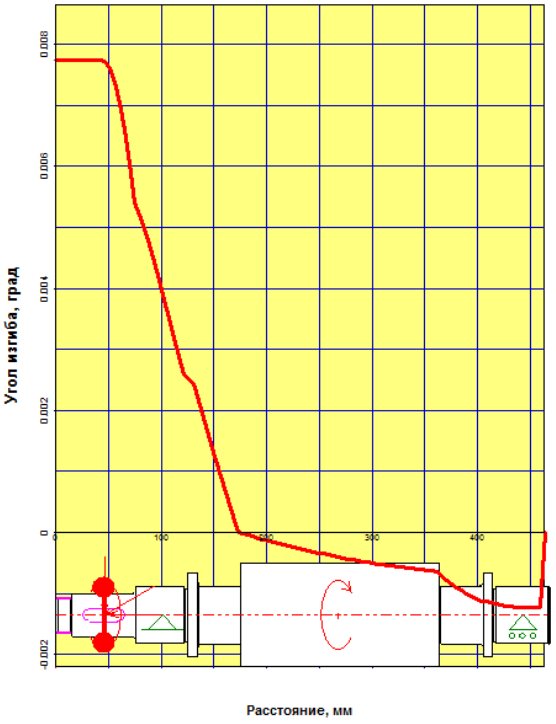


Рисунок 23 – Угол изгиба в горизонтальной плоскости

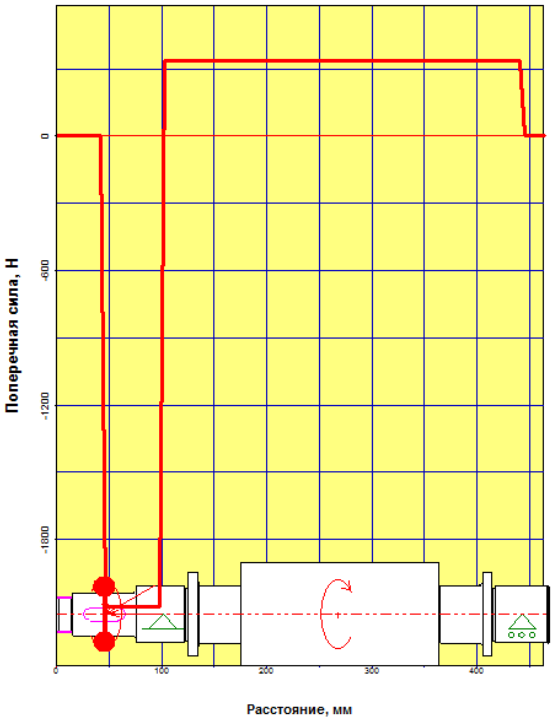


Рисунок 24 – Поперечные силы в горизонтальной плоскости

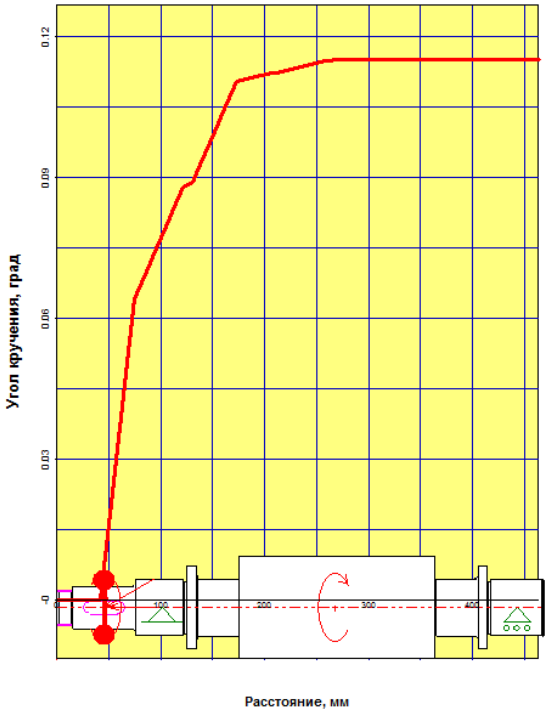


Рисунок 25 – Угол кручения

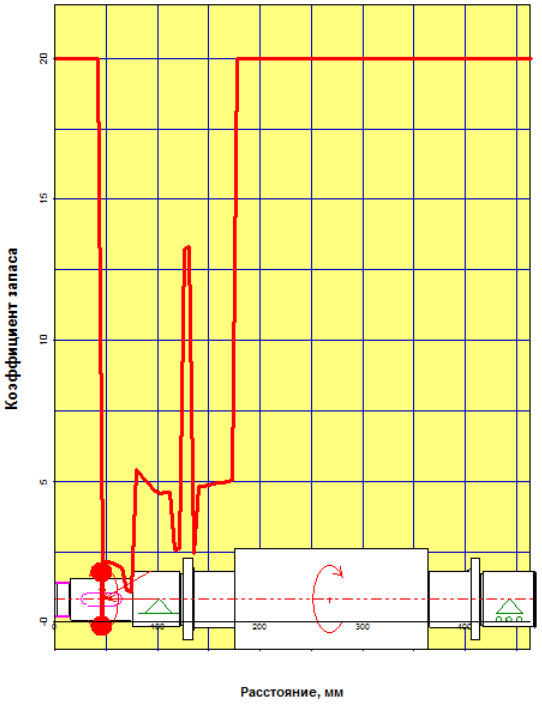


Рисунок 26– Коэффициент запаса по усталостной прочности

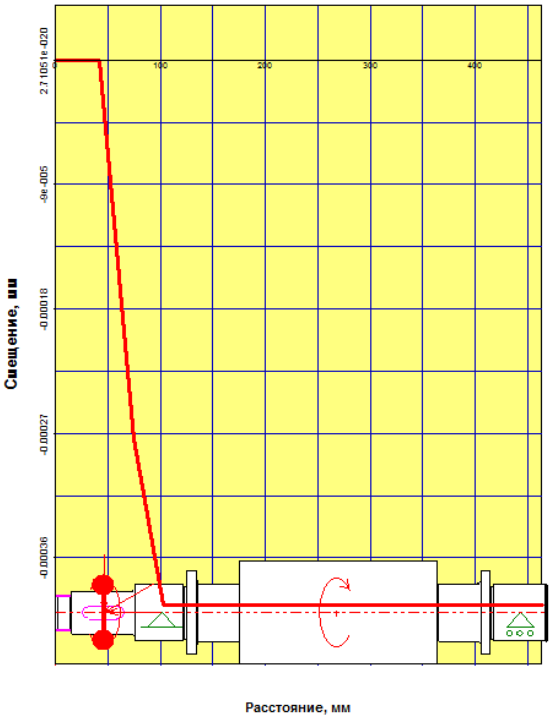


Рисунок 27 – Осевые перемещения

Аналогично производится расчет и тихоходного вала (Рисунок 28 - 42).

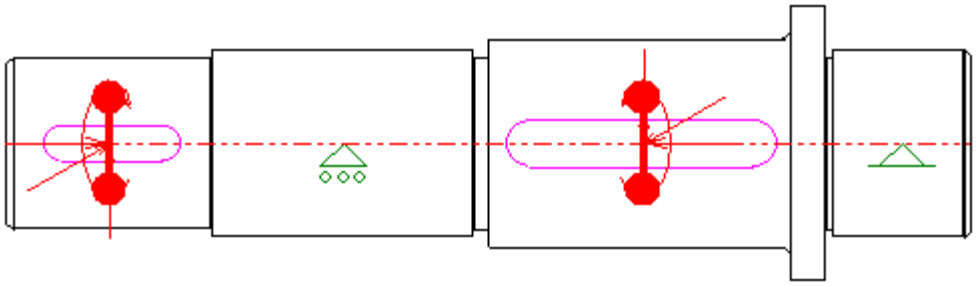


Рисунок 28 – Расчетная схема тихоходного вала

Таблица 3

Нагрузки

Радиальные силы

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Модуль, Н	Угол, град
0	30.00	2181.00	0.00
1	30.00	2417.56	25.56
2	185.00	2181.00	180.00
3	185.00	2417.56	-154.44

Осевые силы

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, Н
0	30.00	1043.00
1	185.00	-1043.00

Моменты кручения

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, Нхм
0	30.00	-1364.00
1	185.00	1364.00

Моменты инерции

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, кг х кв.м
0	30.000	-5935.000
1	45.000	5935.000

Таблица 4

Реакции в опорах

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Реакция верт., Н	Реакция гориз., Н	Реакция осевая, Н	Модуль, Н	Угол, град
0	98.00	-4173.52	-997.93	0.00	4291.17	-103.45
1	260.00	4173.52	997.93	-0.00	4291.17	76.55

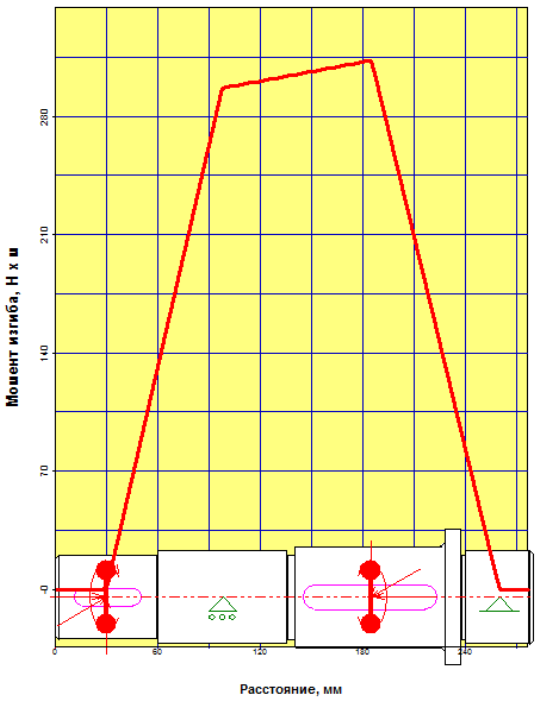


Рисунок 29– Момент изгиба в вертикальной плоскости

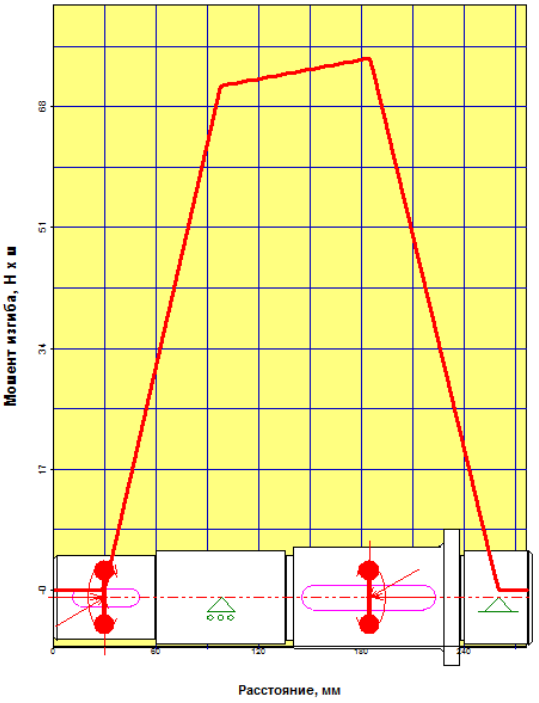


Рисунок 30 – Момент изгиба в горизонтальной плоскости

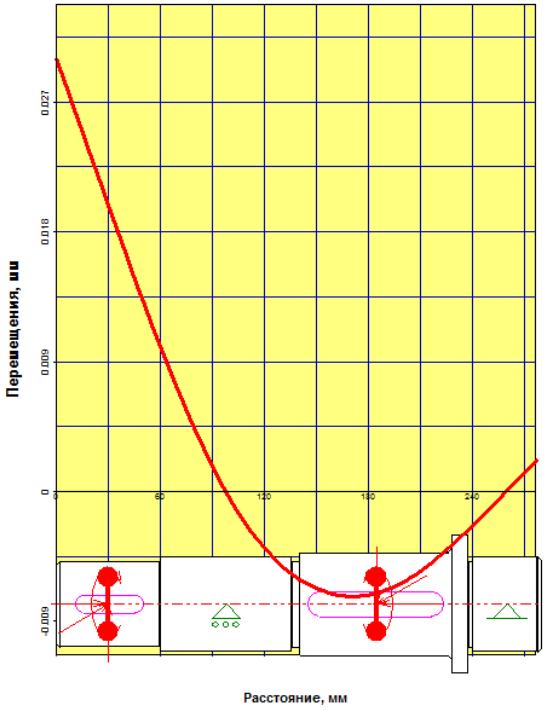


Рисунок 31– Перемещения в вертикальной плоскости

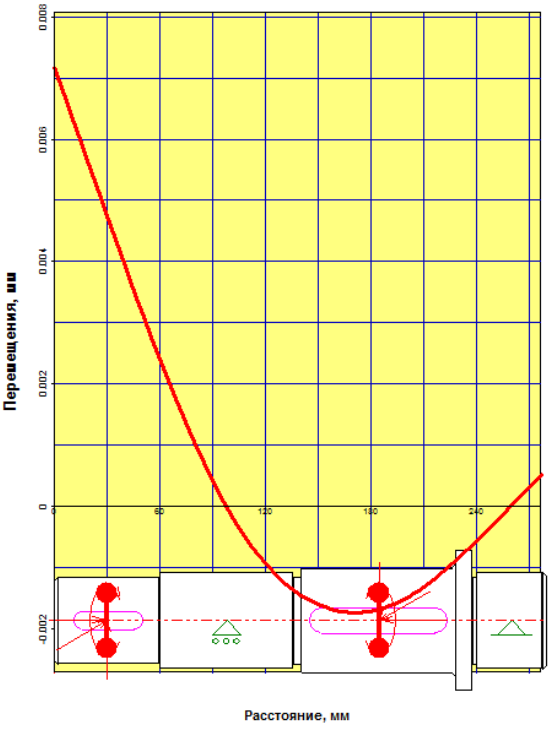


Рисунок 32 – Перемещения в горизонтальной плоскости

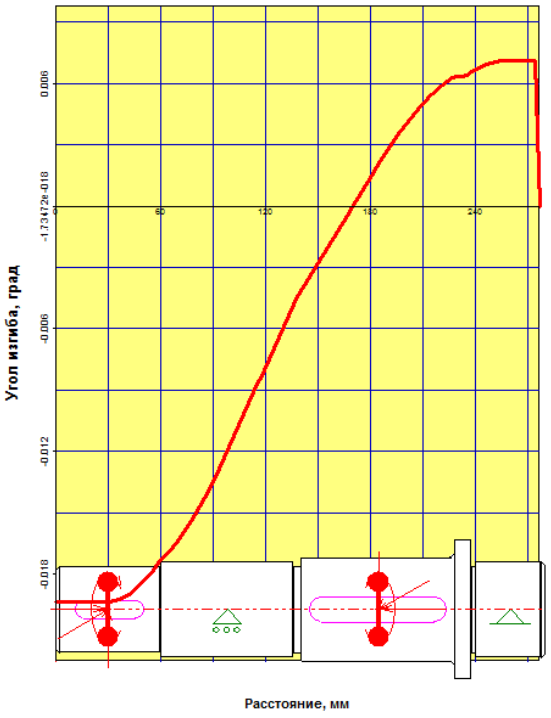


Рисунок 33– Угол изгиба в вертикальной плоскости

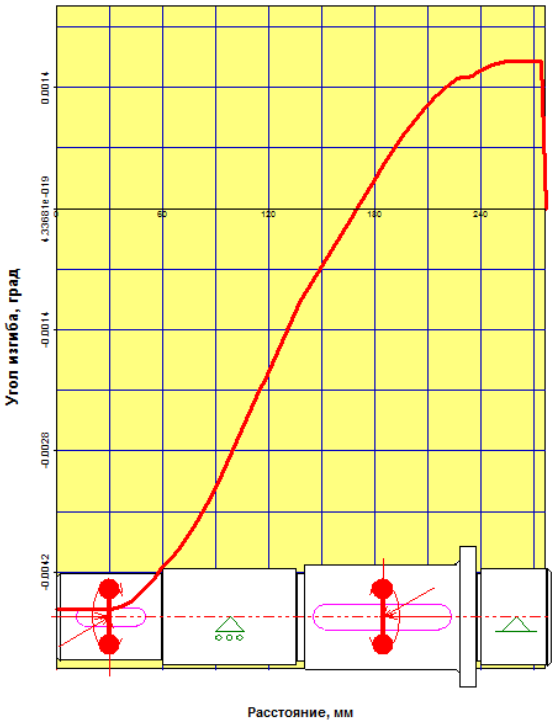


Рисунок 34 – Угол изгиба в горизонтальной плоскости

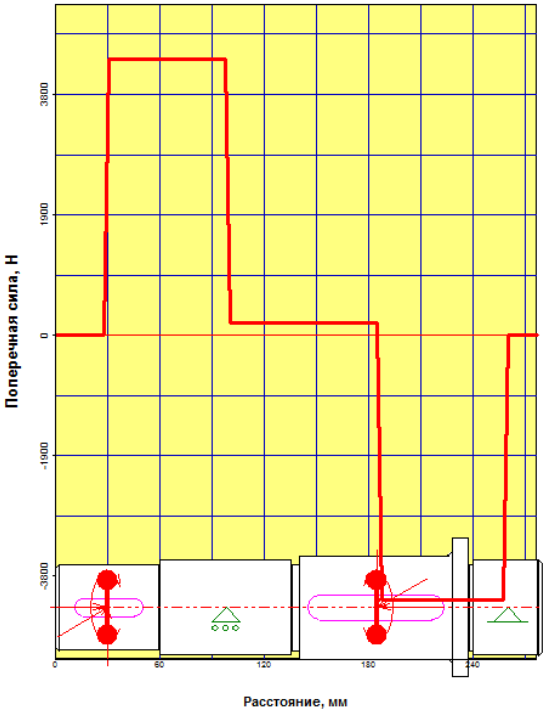


Рисунок 35 – Поперечные силы в вертикальной плоскости

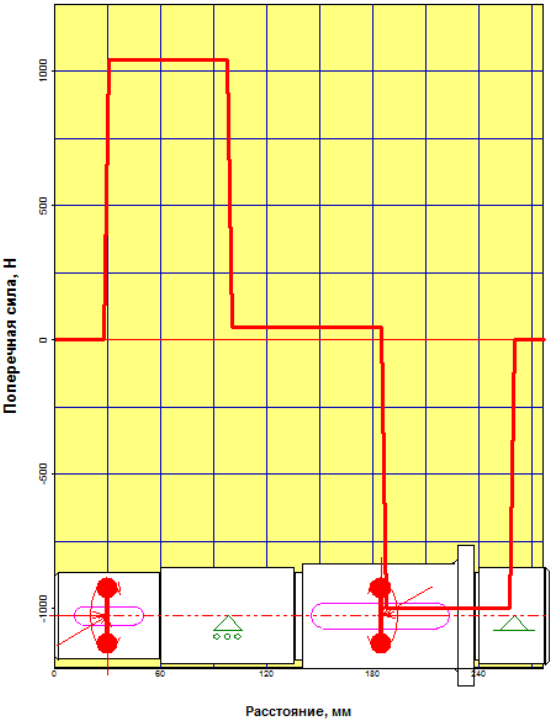


Рисунок 36 – Поперечные силы в горизонтальной плоскости

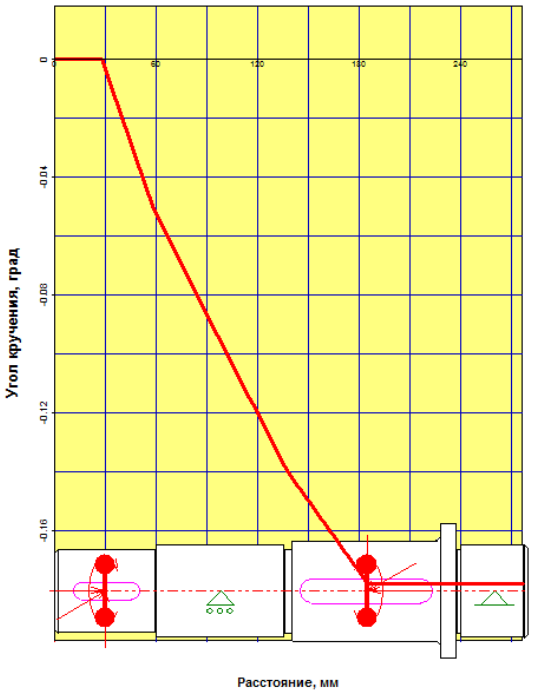


Рисунок 37– Угол кручения

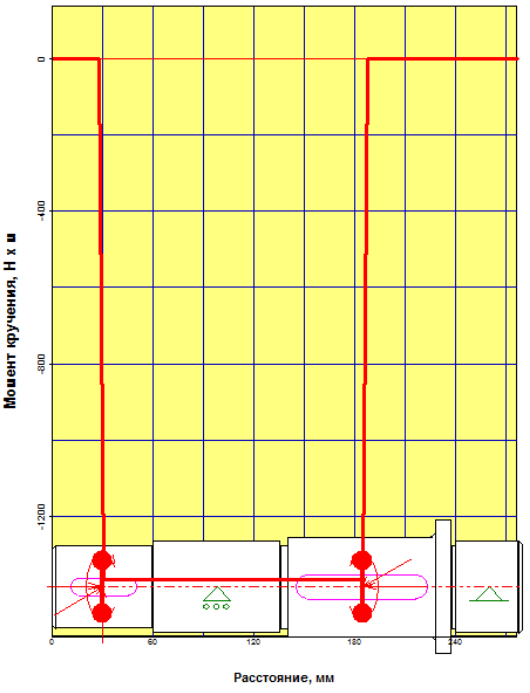


Рисунок 38 – Момент кручения

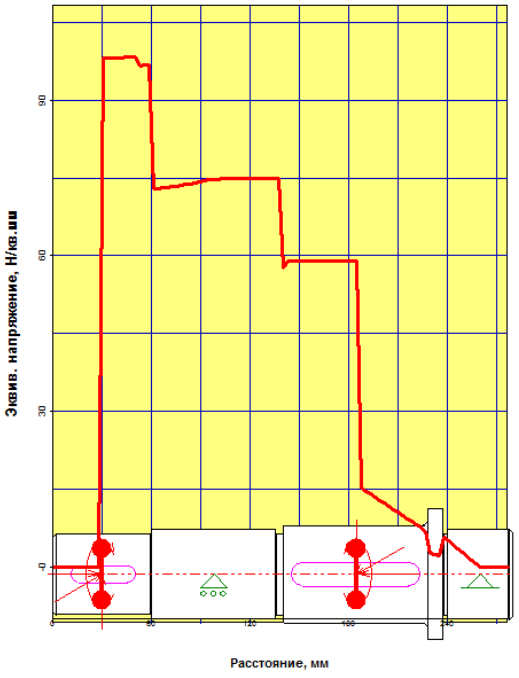


Рисунок 39– Эквивалентное напряжение

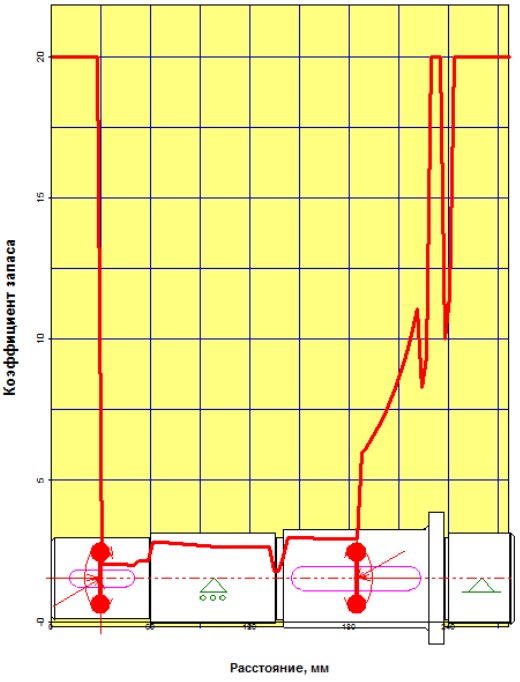


Рисунок 40 – Коэффициент запаса по усталостной прочности

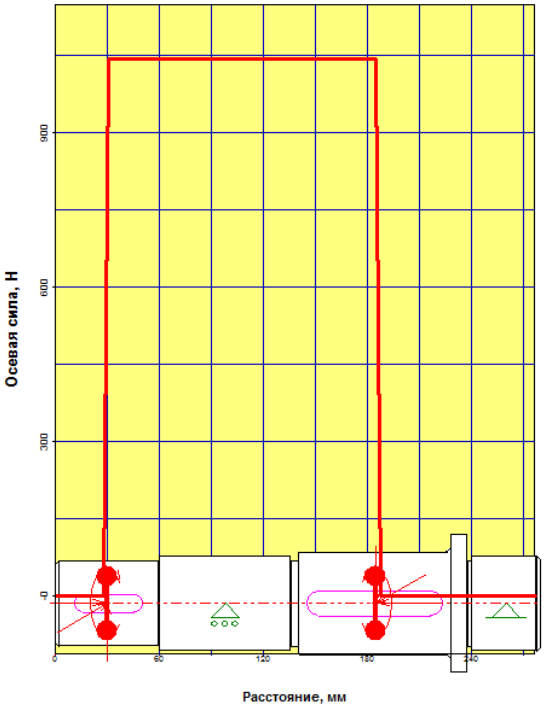


Рисунок 41– Осевые силы

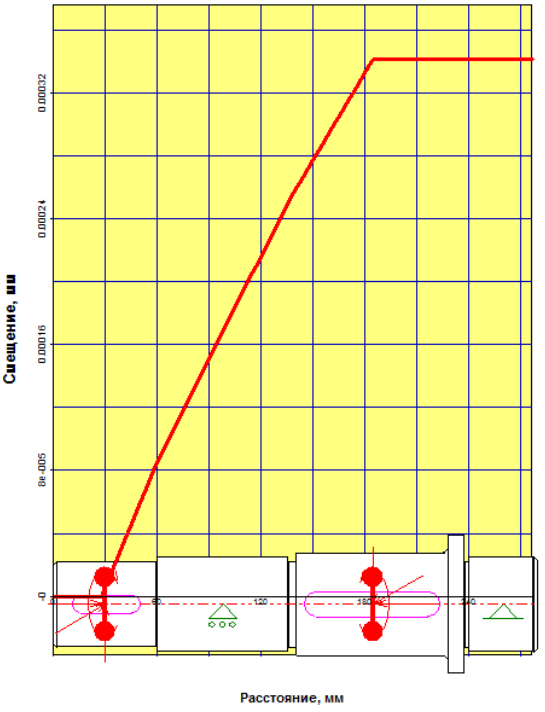


Рисунок 42 – Осевые перемещения

4. Расчет подшипников

Зная реакции опор из предыдущих расчетов можно выполнить расчет подшипников.

Для начала необходимо указать тип подшипника. После этого необходимо указать геометрические данные, точность и условия работы. Зная ГОСТ используемого подшипника, в нашем случае ГОСТ 831-75, мы можем воспользоваться базой данных при заполнении геометрии подшипника.

Заполнив все данные производим расчет. Результаты представлены на рисунке 43, 44.

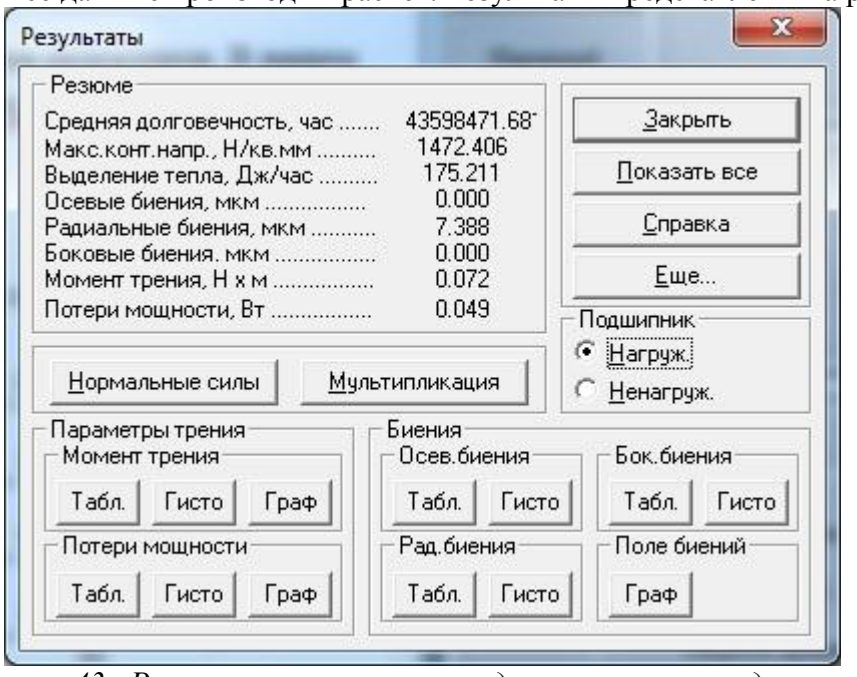


Рисунок 43– Расчетные параметры подшипников тихоходного вала

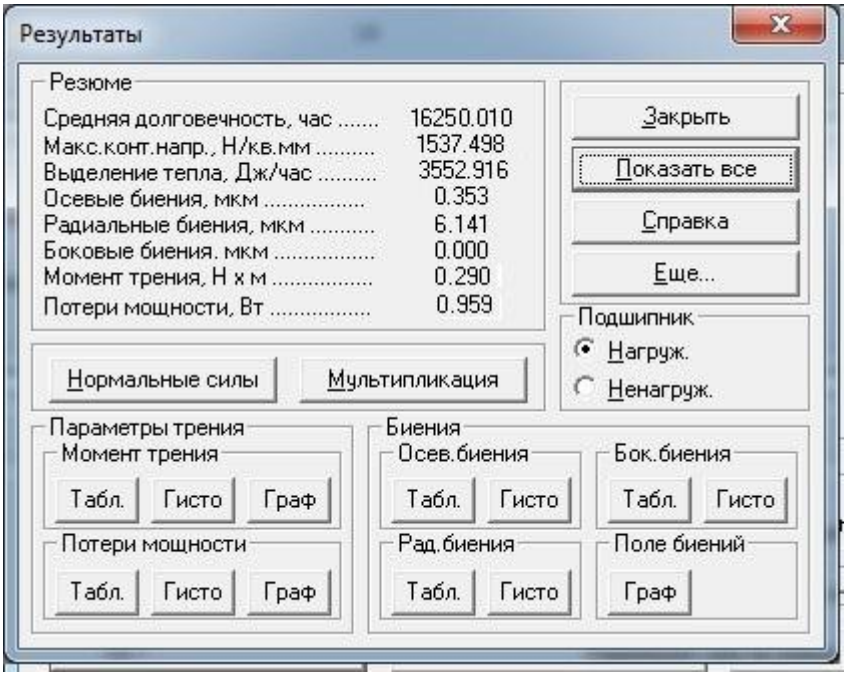


Рисунок 44– Расчетные параметры подшипников промежуточного вала

Также в данном программном продукте можно выполнять расчеты шпоночных шлицевых соединений. Так, как у нас в редукторе передача крутящего момента осуществляется за счет шпонки, проведем ее расчет.

5. Расчет шпоночного соединения

Расчет шпоночного соединения осуществляется в модуле *APM Joint*.Выбираем «Соединение деталей вращения» (Рисунок 45)

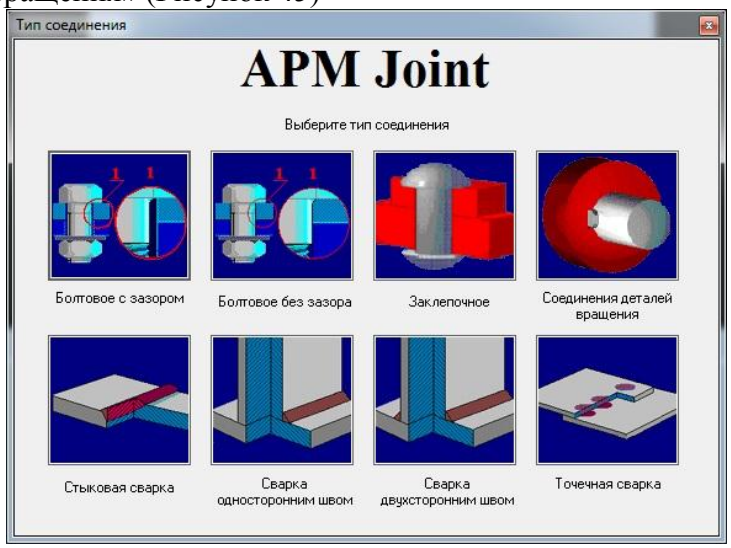


Рисунок 45 – Выбор типа соединения

Определяемся с типом соединения в нашем случае — это шпонка призматическая (Рисунок 46).

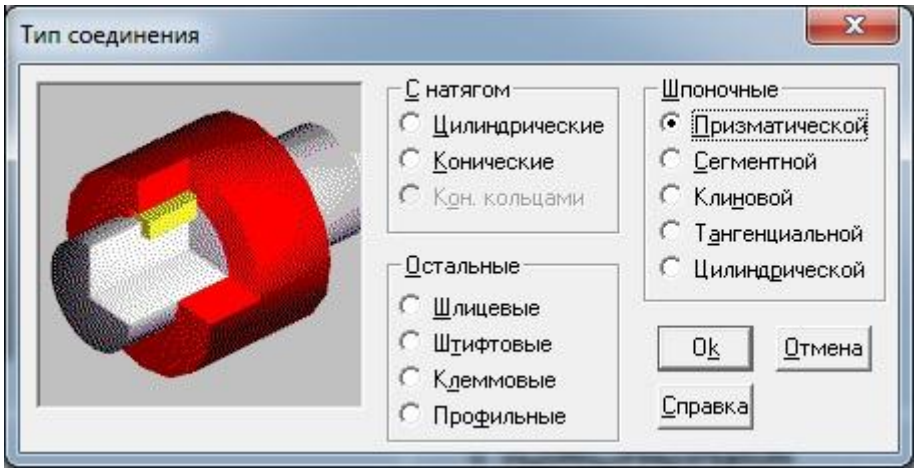


Рисунок 46 – Выбор типа передачи момента

Далее вводим исходные данные для расчета (Рисунок 47).

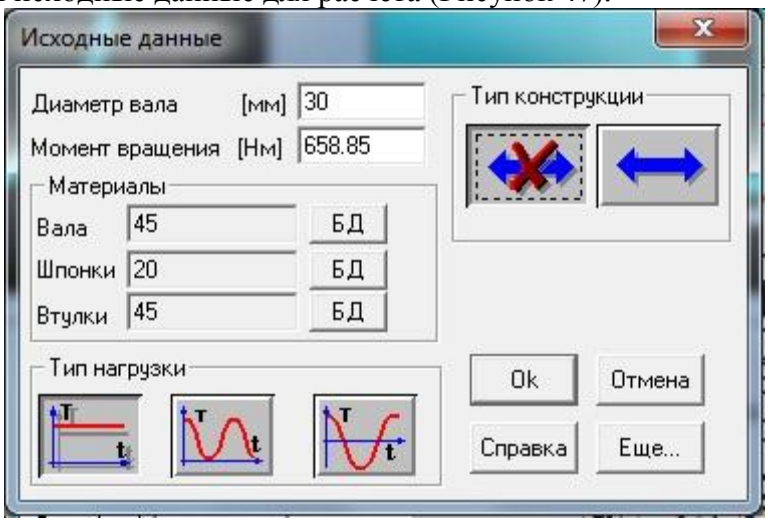


Рисунок 47 – Ввод исходных данных

Далее производим расчет и получаем следующие характеристики (Рисунок 48).

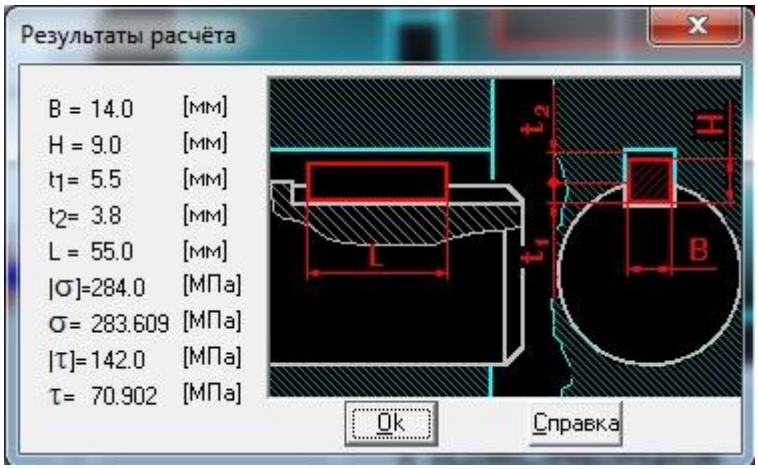


Рисунок 48 – Результаты расчета шпонки

Вывод

В данной работе мы познакомились с работой программного продукта *APM WinMachine*. При расчете передач определили геометрические данные зубчатой цилиндрической и червяной передачах, силы в зацеплении, получили рекомендации используемого материала.

При расчете вала, учитывая данные, которые мы получили из предыдущего расчета, мы построили эпюры вала в зависимости от нагрузок, действующих на него, а также определили реакции в опорах для того, чтобы провести подбор и расчет подшипников.

Учитывая долговечность, полученную при расчете подшипника, можем сделать вывод, что необходимо на тихоходном валу увеличить серию подшипника, а на промежуточном валу так, как используется подшипник сверх легкой серии необходимо уменьшить посадочные диаметры под подшипники.

Расчет шпоночных соединений позволяет совершенно точно в соответствии с ГОСТом определиться с длинной шпонки, учитывая материалы и крутящий момент.

6. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния вала

3D модель вала создаем в среде SolidEdge и посредством Design Modeler импортируем в комплекс Ansys (Рисунок 49).

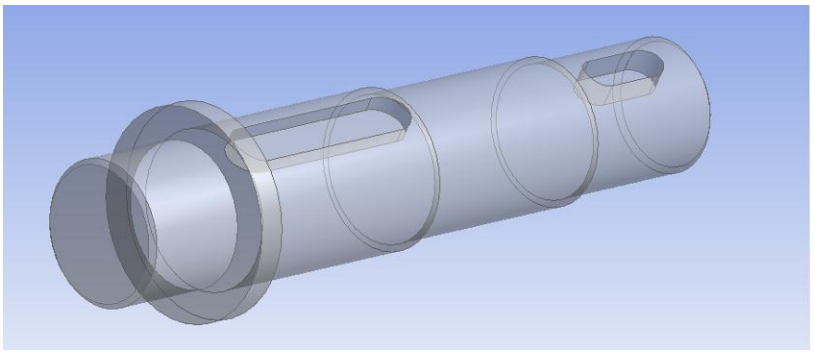


Рисунок 49 – Импорт 3D модели

После выбора в разделе задач пункта «*Static structural*» (Рисунок 50), осуществляем ввод физико-механических свойств материала вала используя опцию «*Engineering Data*» (Рисунок 51).

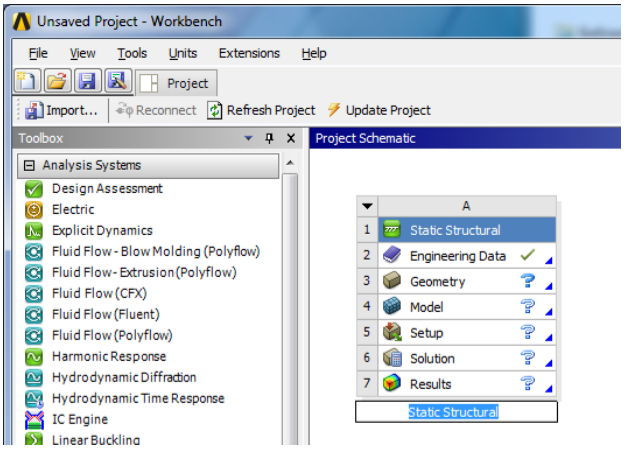


Рисунок 50 – Раздел Static Structural

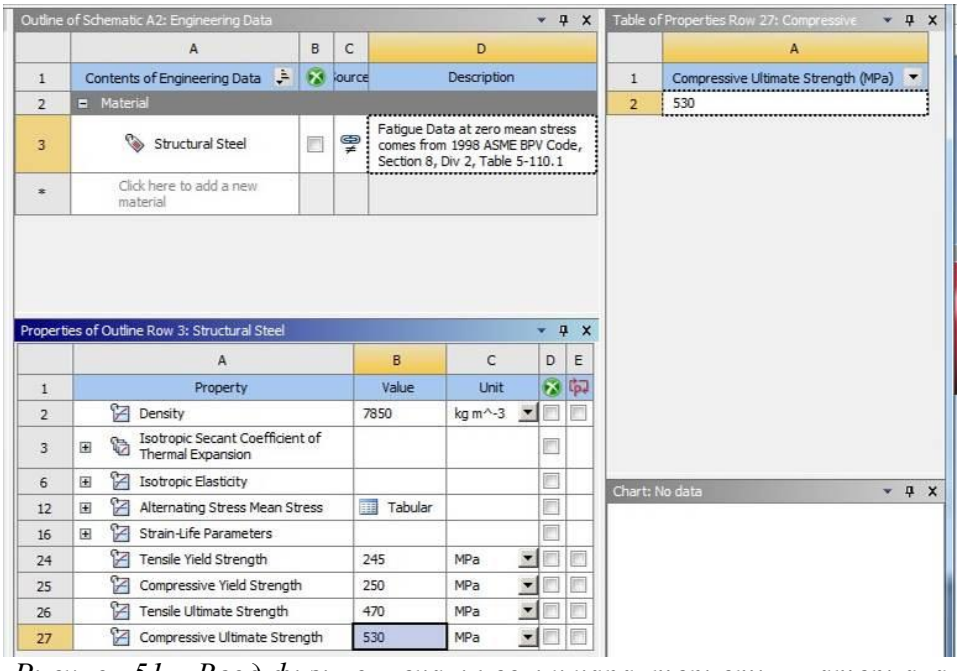


Рисунок 51 – Ввод физико-механических характеристик материала

В разделе дерева математической модели «*Model*» осуществляем построение конечной элементарной сетки. Обозначаем предпочтительный метод разбиения сетки - HexDominantMethod. Зададим размер конечных элементов (Рисунок 52).

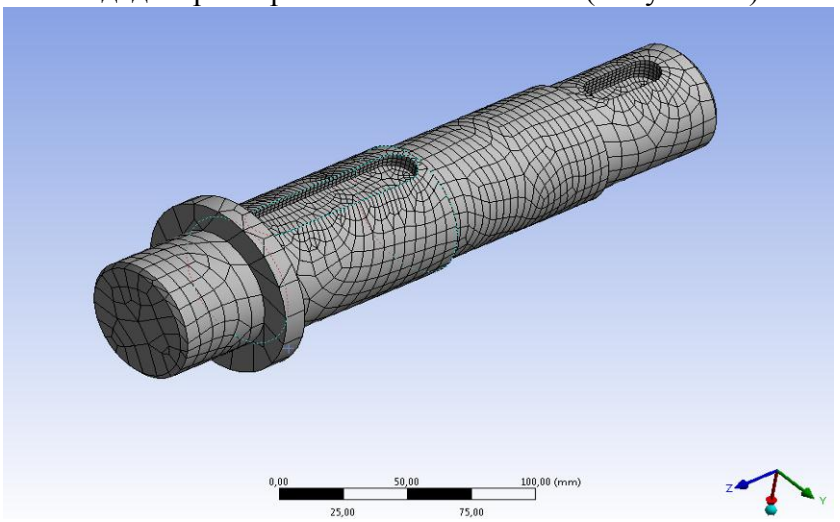


Рисунок 52 – Элементная сетка

Описание начальных и граничных условий происходит в разделе «*Static structural*».

Далее необходимо указать все силы, действующие на данное импортированное тело (Рисунок 53).

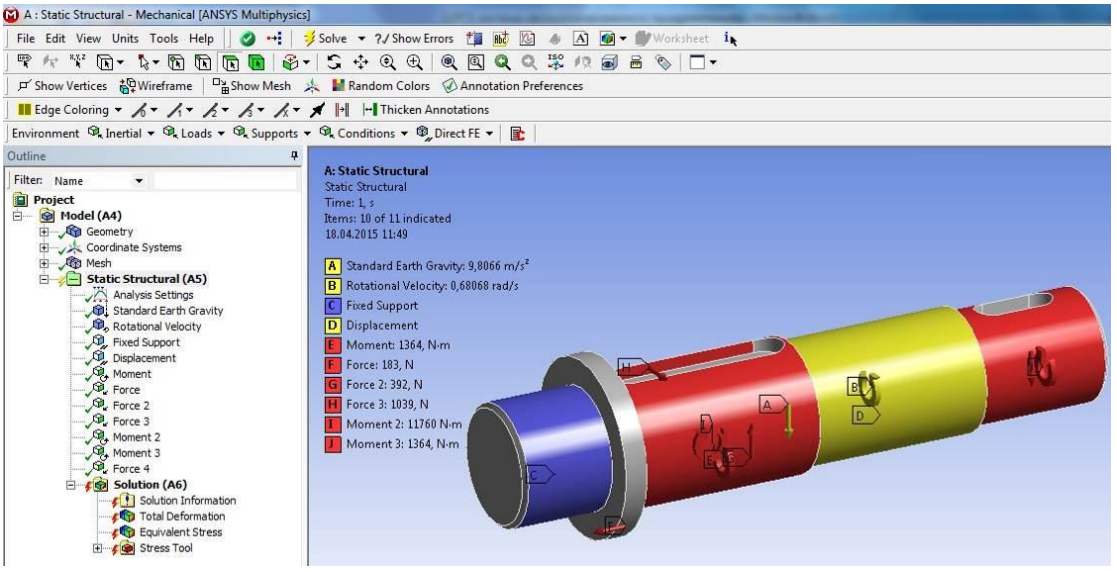


Рисунок 53 – Простановка сил, действующих на вал

После того, как мы указали необходимые данные можно произвести расчет. Далее, чтобы просмотреть результаты необходимо в дереве действий открыть вкладку «*Solution*» и просмотреть полученные характеристики (Рисунок 54, 55, 56).

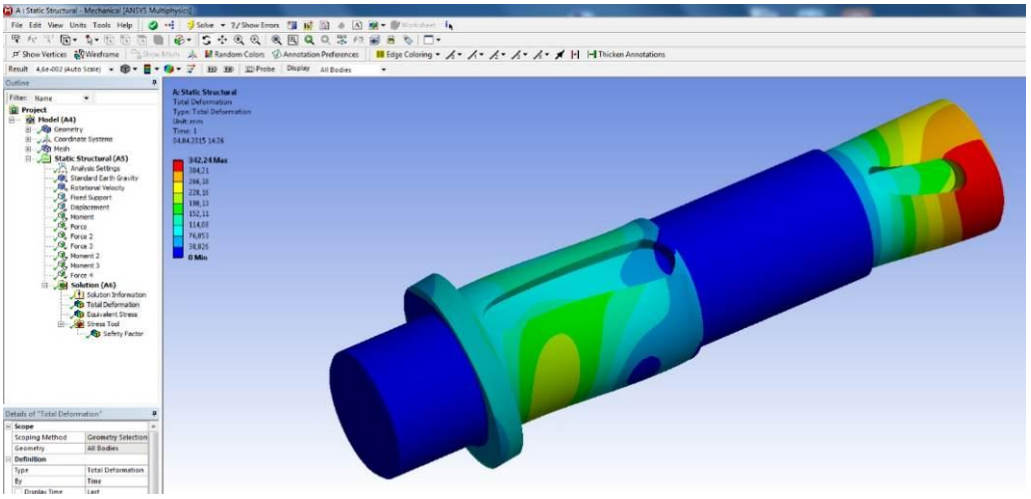


Рисунок 54 – Полные деформации вала

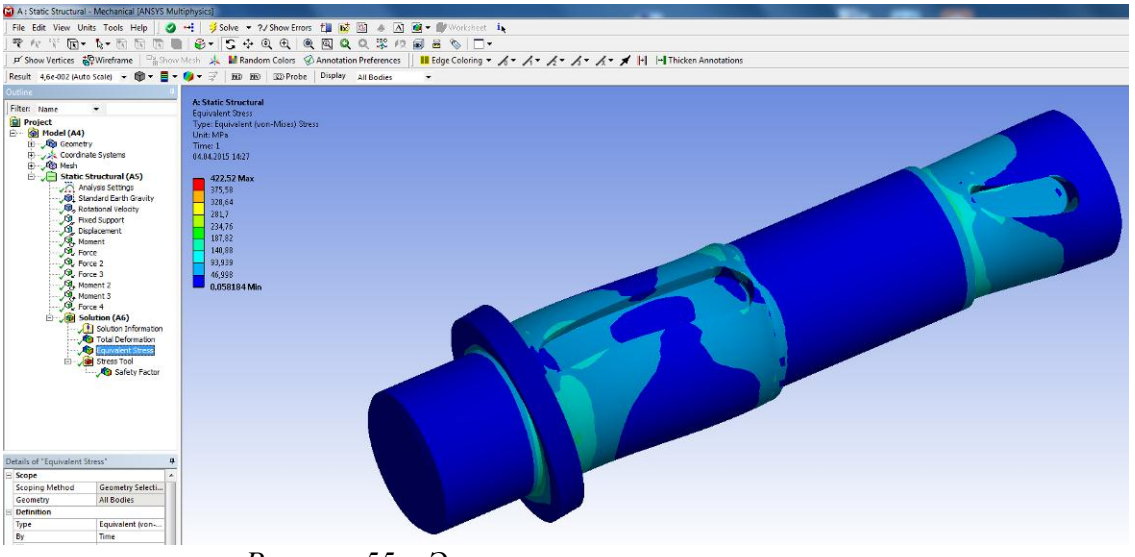


Рисунок 55 – Эквивалентные напряжения вала

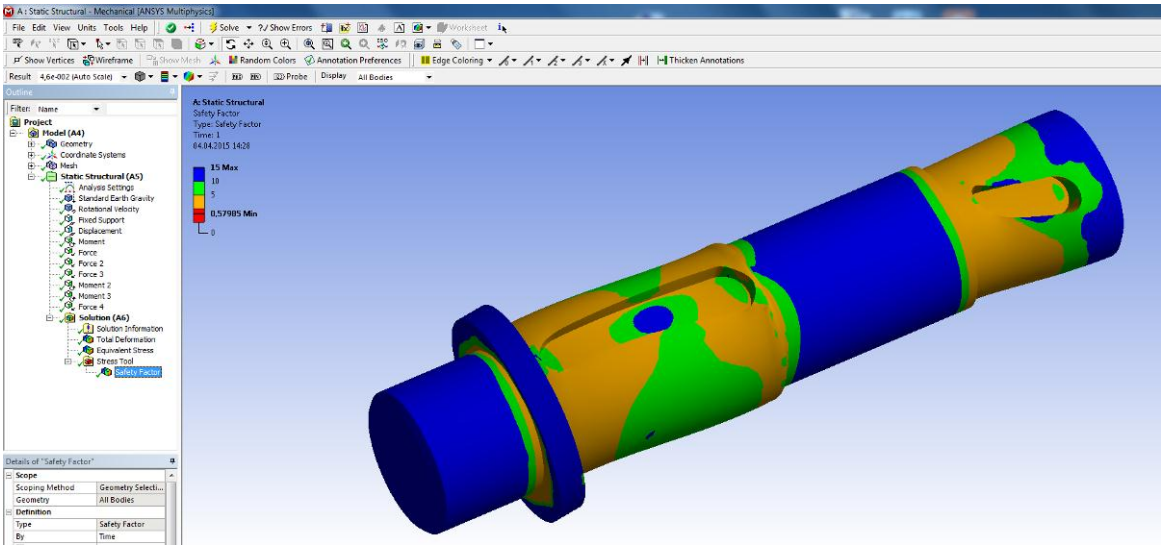


Рисунок 56 –Коэффициент запаса прочности вала

Вывод

В данной работе мы познакомились с работой программного продукта *APM WinMachine*. При расчете передач определили геометрические данные зубчатой цилиндрической и червяной передачах, силы в зацеплении, получили рекомендации используемого материала.

При расчете вала, учитывая данные, которые мы получили из предыдущего расчета, мы построили эпюры вала в зависимости от нагрузок, действующих на него, а также определили реакции в опорах для того, чтобы провести подбор и расчет подшипников.

Учитывая долговечность, полученную при расчете подшипника, можем сделать вывод, что необходимо на тихоходном валу увеличить серию подшипника, а на промежуточном валу так, как используется подшипник сверх легкой серии необходимо уменьшить посадочные диаметры под подшипники.

Расчет шпоночных соединений позволяет совершенно точно в соответствии с ГОСТом определиться с длинной шпонки, учитывая материалы и крутящий момент.

В программном комплексе *Ansys* провели расчет по определению полной деформации, эквивалентных напряжений и коэффициента запаса статической прочности.

Все эти системы необходимы для автоматизированного расчета и проектирования механического оборудования и конструкций в области машиностроения. Данные CAE-systems в полном объеме учитывает требования государственных стандартов и правил, относящихся как к оформлению конструкторской документации, так и к расчетным алгоритмам.

2. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния материала в условиях электродуговой сварки.

1. Техническое задание

1.1.Провести натурный эксперимент – соединить пластины из нержавеющей стали при помощи технологии сварки согласно рисунку 1 и оценить размер зоны термического влияния.

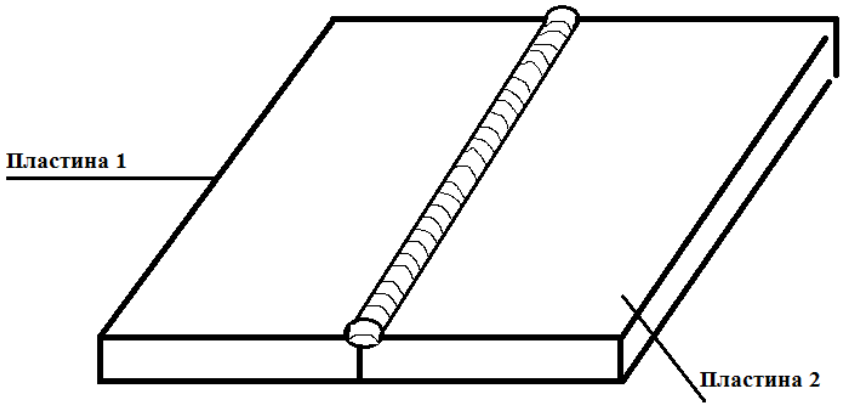


Рисунок 1.Условное изображение стыкового соединения.

1.2.Написать программу и выполнить расчет в программной среде Sysworld и сравнить с данными, полученными в результате эксперимента

2.Исходные данные

Требуется произвести сварку двух пластин встык.

В таблице 1 представлены габаритные размеры и материалы пластин.

Таблица 1 - Размеры и материалы свариваемых пластин.

	Пластина 1	Пластина 2
Ширина	50	50
Длина	100	100
Толщина	4	4
Материал	12Х18Н10Т	12Х18Н10Т

3. Натурный эксперимент

Соединение пластин из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т осуществляется при помощи технологии полуавтоматической сварки в среде аргона. Для нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т подбираются следующий режим сварки, представленные в таблице 2

Таблица 2 – Режим сварки

Напряжение	В	21
Сила тока	А	120
Диаметр электрода	мм	0,8

Сварка осуществляется электродом марки 12Х18Н10Т

диаметром 0.8 мм.

Время осуществления процесса-10с.

Необходимо подготовить микрошлиф сварного шва, для детального изучения структуры.



Рисунок 2. Микрошлиф сварного шва.

При помощи микроскопа изучается структура сварного шва и измеряется зона термического влияния.

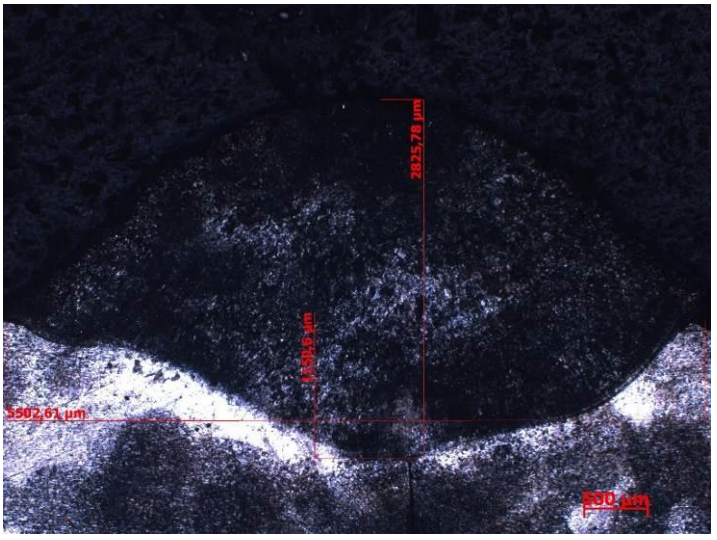


Рисунок 3. Микроструктура сварного шва.

3.1Создание сетки

Выбираем Application-Welding Advisor- Heat imput fitting. В открывшемся окне выбраем Materials подгружаем базу данных материалов. Далее необходимо нажать на иконку Pre-defined и выбрать тип соединения buttjoint wld_prf.cnd. Задаем параметры сетки (Рисунок 4).

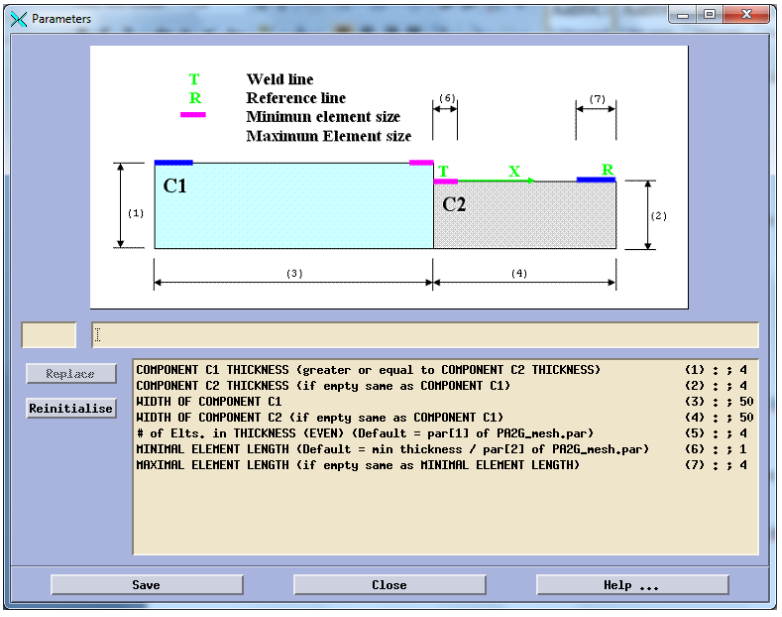


Рисунок 4. Параметры 2D сетки.

Далее необходимо задать следующую перечень параметров для создания пространственной сетки (Рисунок 5), и сгенерировать ее (Рисунок 6).

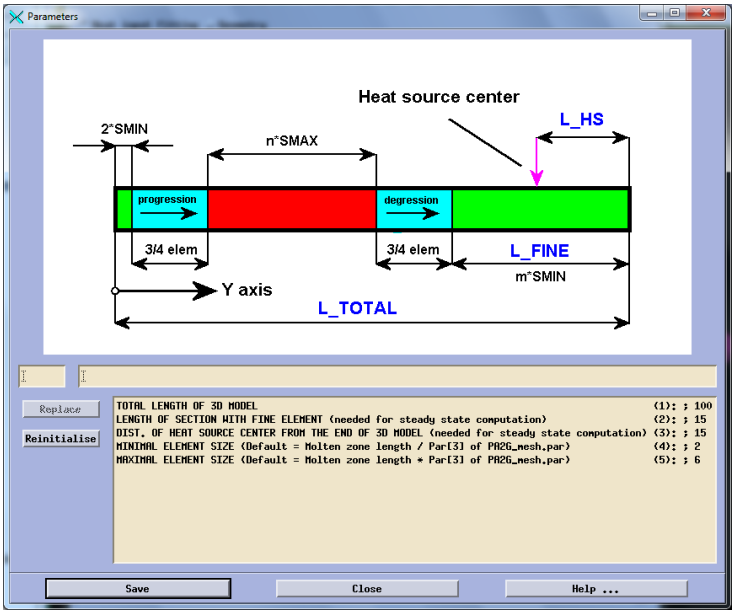


Рисунок 5. Параметры 3D сетки.

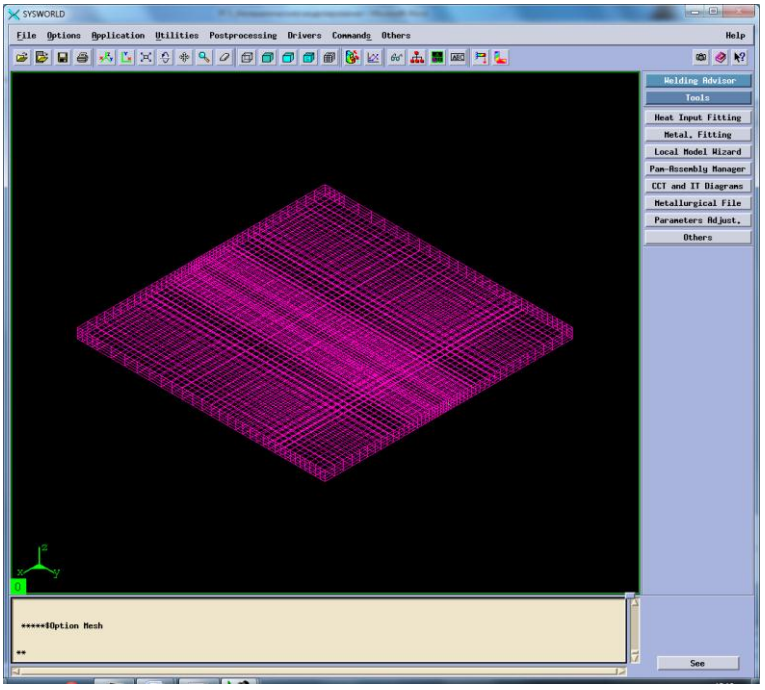


Рисунок 6. Модель сетки.

Далее необходимо задать материал пластин и электрода. В данном случае это нержавеющая сталь марки 12Х18Н10Т, которой в программном продукте Syswold соответствует X5CrNi1810.

3.2.Создание функции и макрофотографии.

Заполняем вкладку Process указывая в ней мощность, которая использовалась при проведении натурного эксперимента (Рисунок 7).

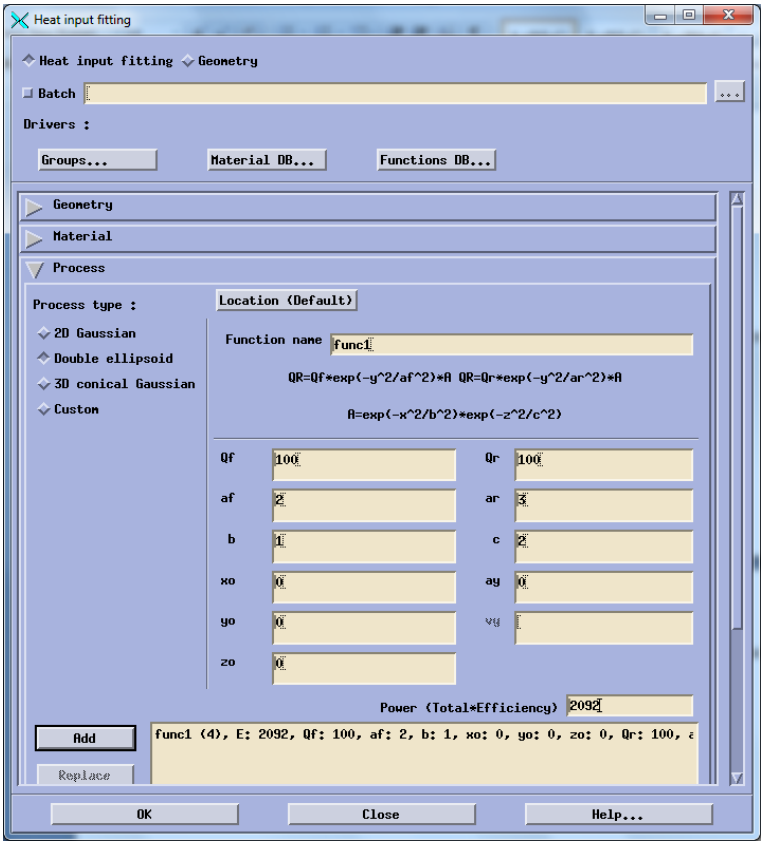


Рисунок 7. Создание функции.

Далее обратимся к вкладке Solve и введем значения температуры проведения процесса(20) и скорость процесса (10). После этого необходимо зайти в Time-space functions и ввести параметры необходимые для отображения источника нагрева в середине процесса.

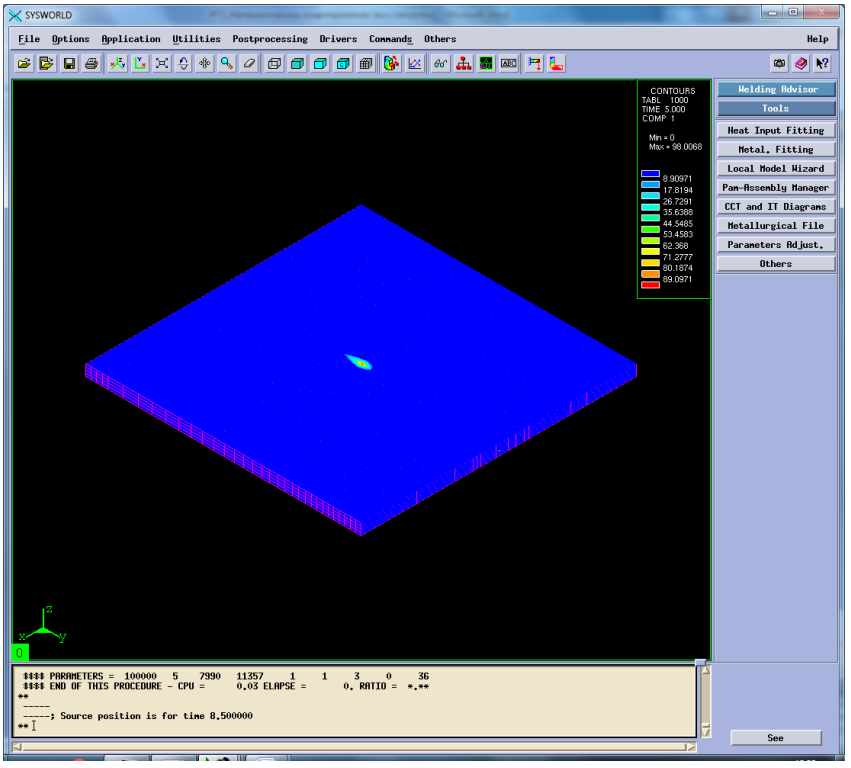


Рисунок 8.Источик нагрева в середине процесса

Далее выполняем расчет и изучаем получившуюся макрофотографию (Рисунок 9).

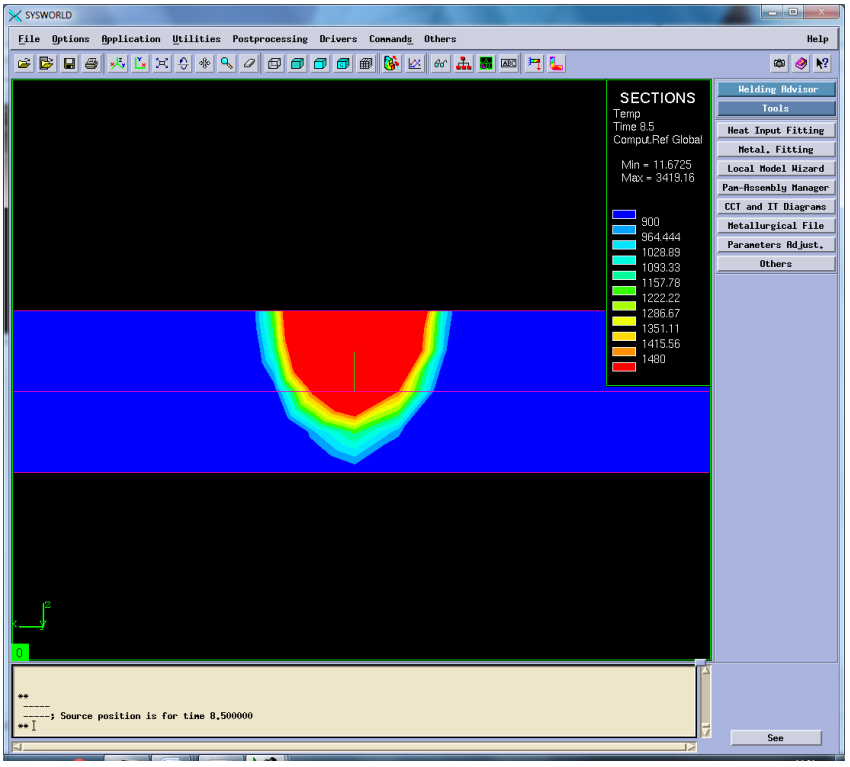


Рисунок 9. Макрофотография сварного шва натурного эксперимента.

Сохраняем функцию. Аналогичным методом создаем оставшиеся 8 функций (Рисунок10-17) согласно таблице 3.

Таблица 3. Параметры для создания функций.

V	q	1500	2092	3000
5		Func2	Func5	Func7(перевар)
10		Func3 (непровар)	Func1(эксперемент)	Func8
15		Func4	Func6(непровар)	Func9(нпровар)

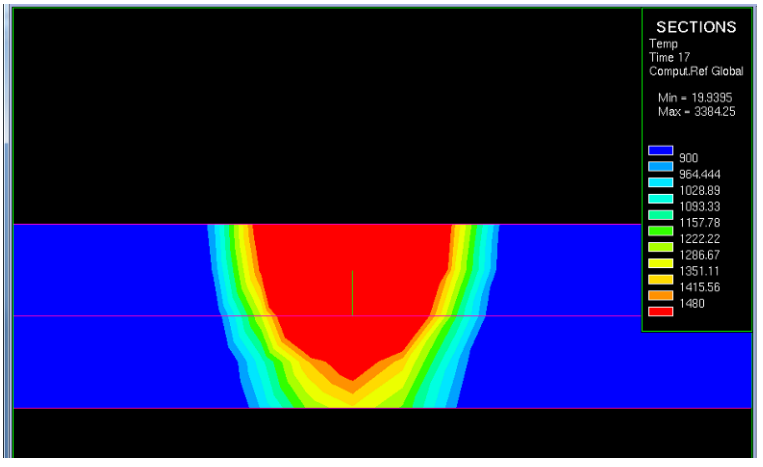


Рисунок10. Макрофотография соответствует функции №2.

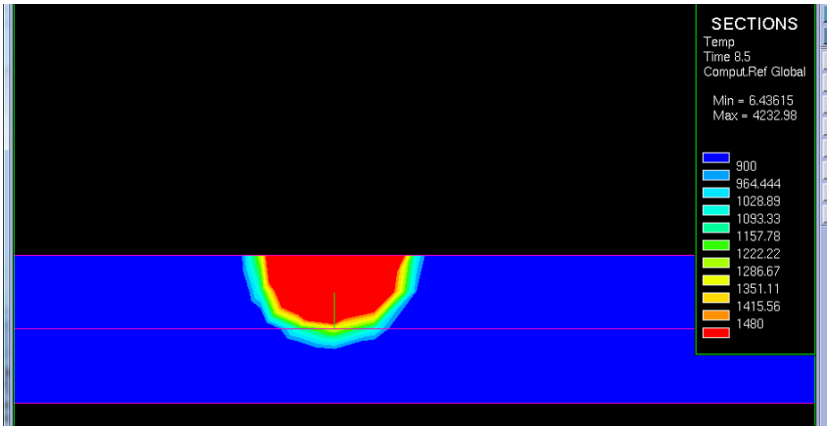


Рисунок 11. Макрофотография соответствует функции №3.

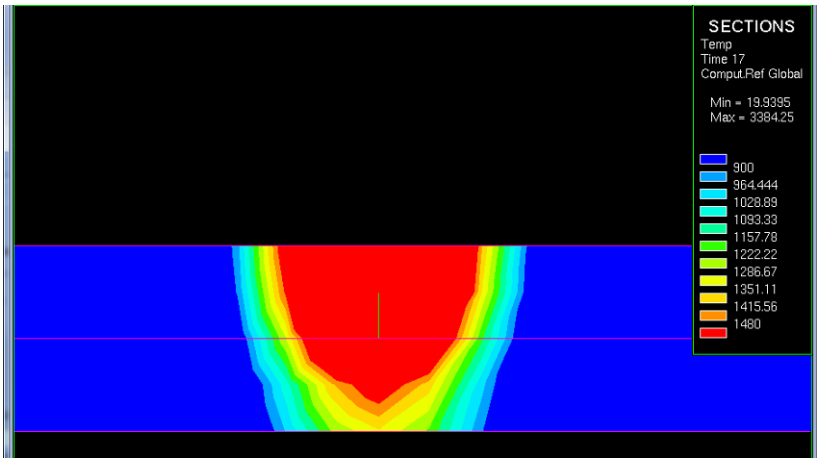


Рисунок 12. Макрофотография соответствует функции №4.

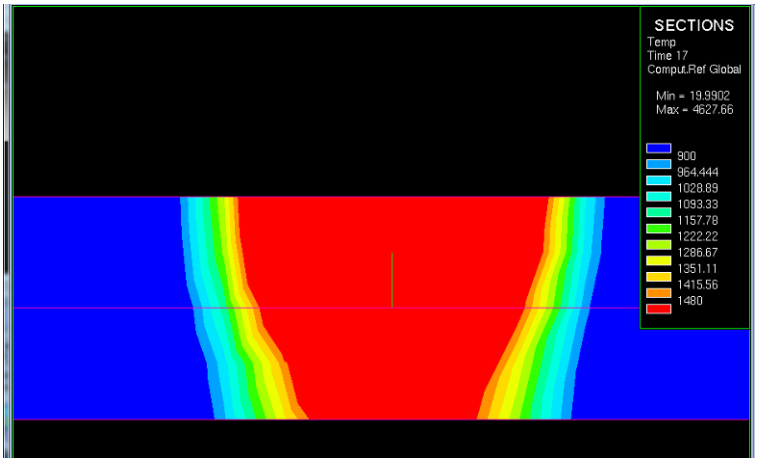


Рисунок 13. Макрофотографии соответствует функции №5.

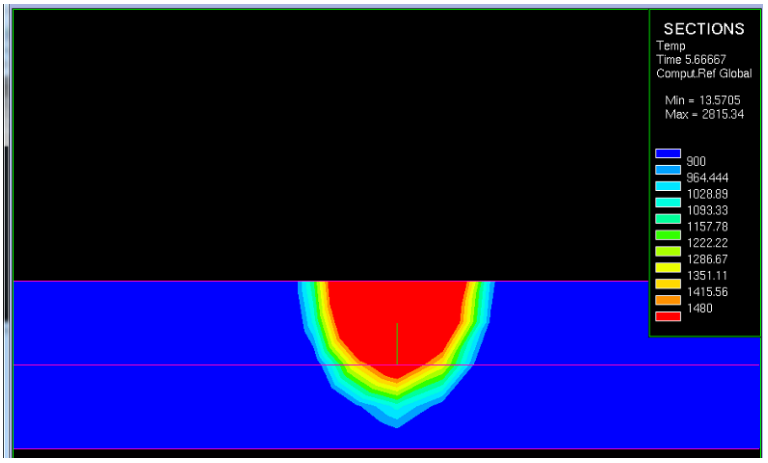


Рисунок 14. Макрофотографии соответствует функции №6.

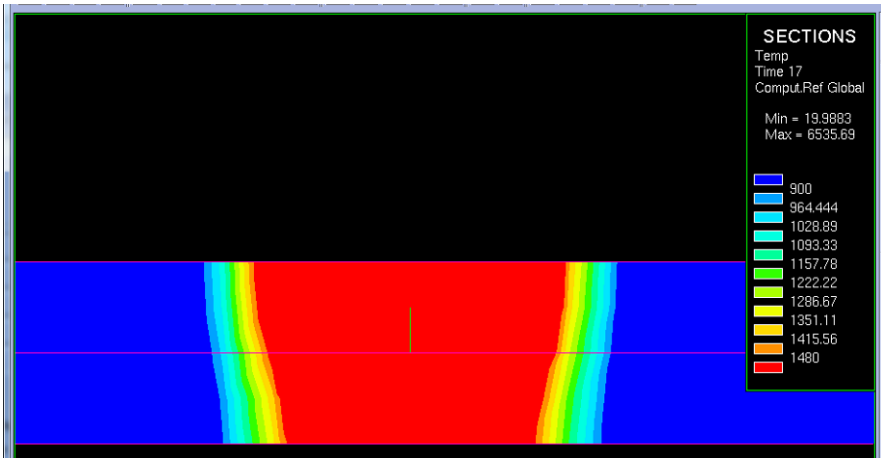


Рисунок15. Макрофотографии соответствует функции №7.

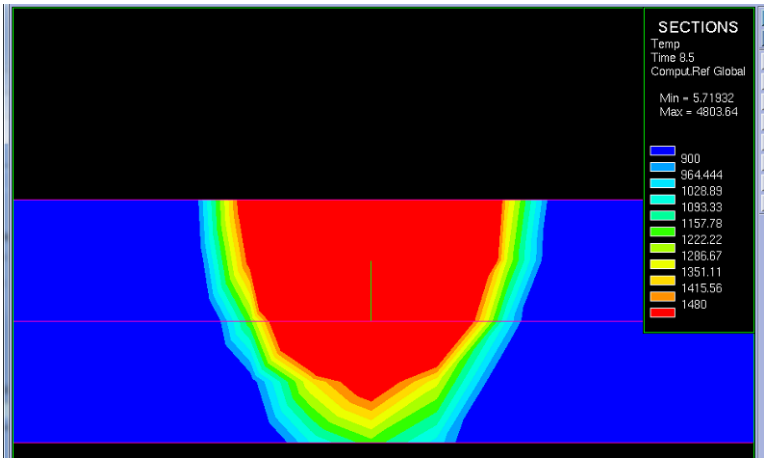


Рисунок 16. Макрофотографии соответствует функции №8.

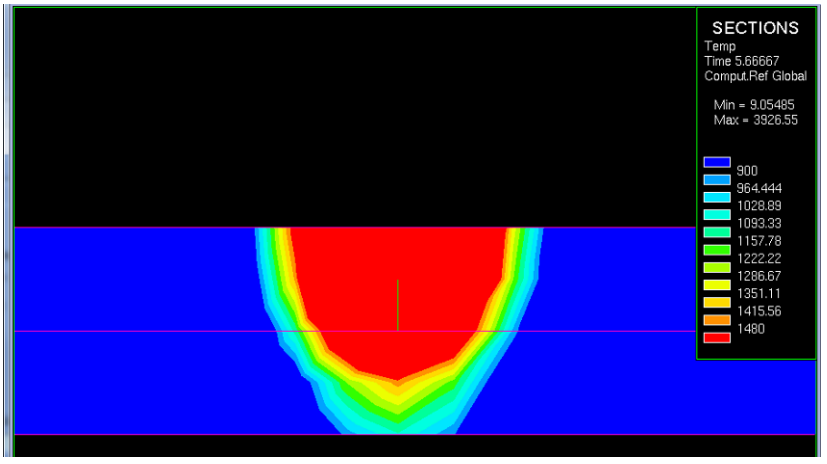
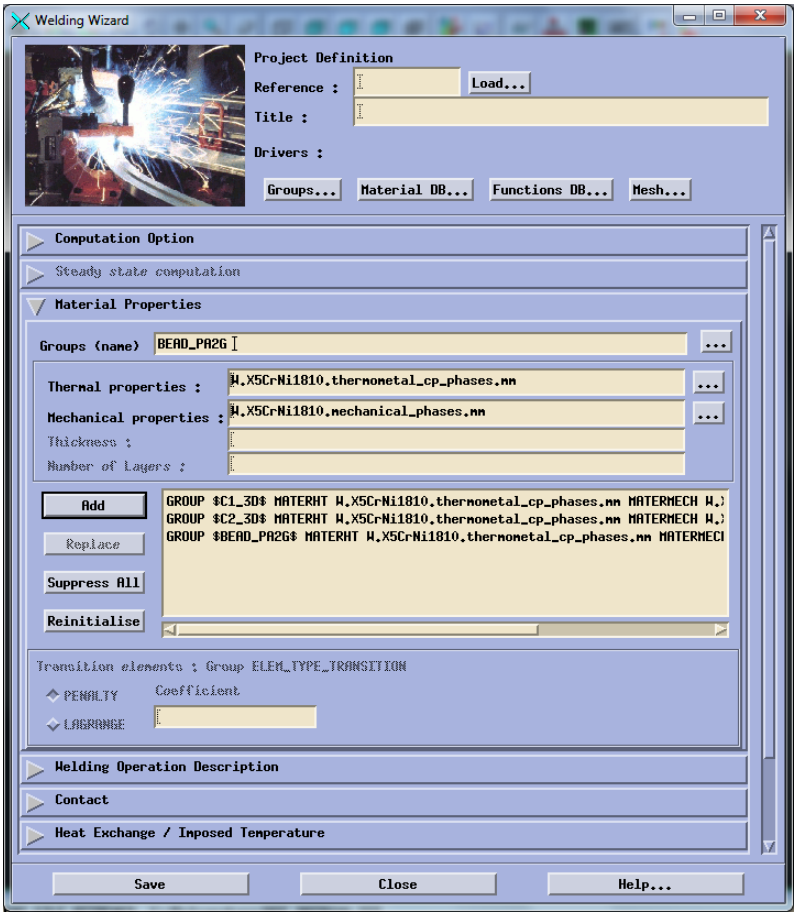


Рисунок 17. Макрофотографии соответствует функции №9.

По полученным макрофотографиям делаем вывод и том, какие варианты необходимо оставить и детальнее изучить для подбора наиболее рационального режима.

3.3. Создание проекта

Открываем окно Welding Wizard, в него подгружаем созданную функцию (Func1), базу данных материалов, и модель сгенерированной сетки. Далее заполняем раздел Material Properties (Рисунок 18).



Рисуок18. Создание групп свойств материалов.

Заполняем вкладку Heat Exchange (Рисунок 19)

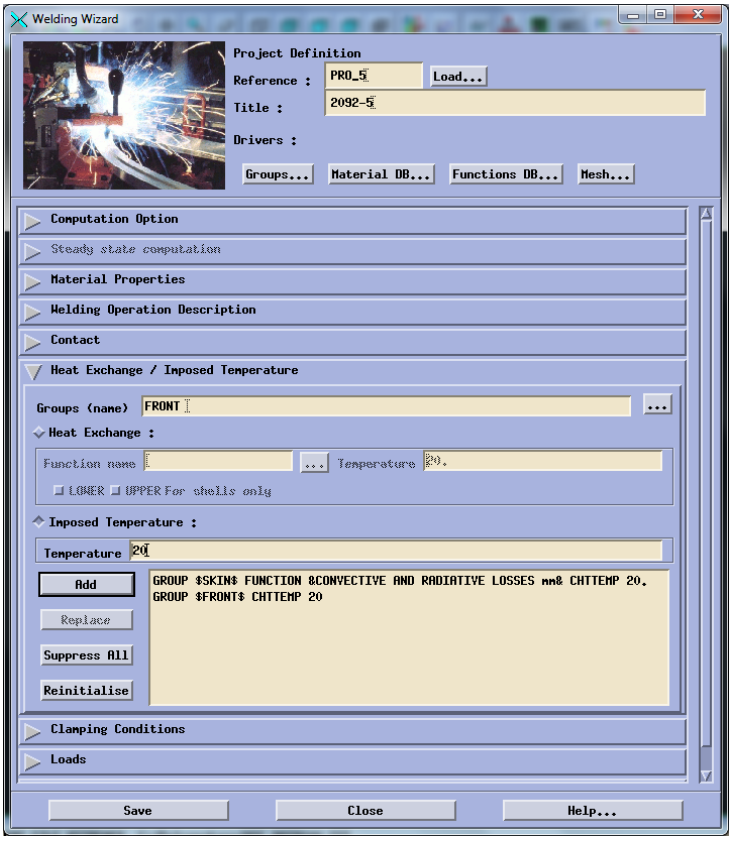


Рисунок 19. Данные Heat Exchange.

Заполняем вкладку Clamping Conditions (Рисунок20).

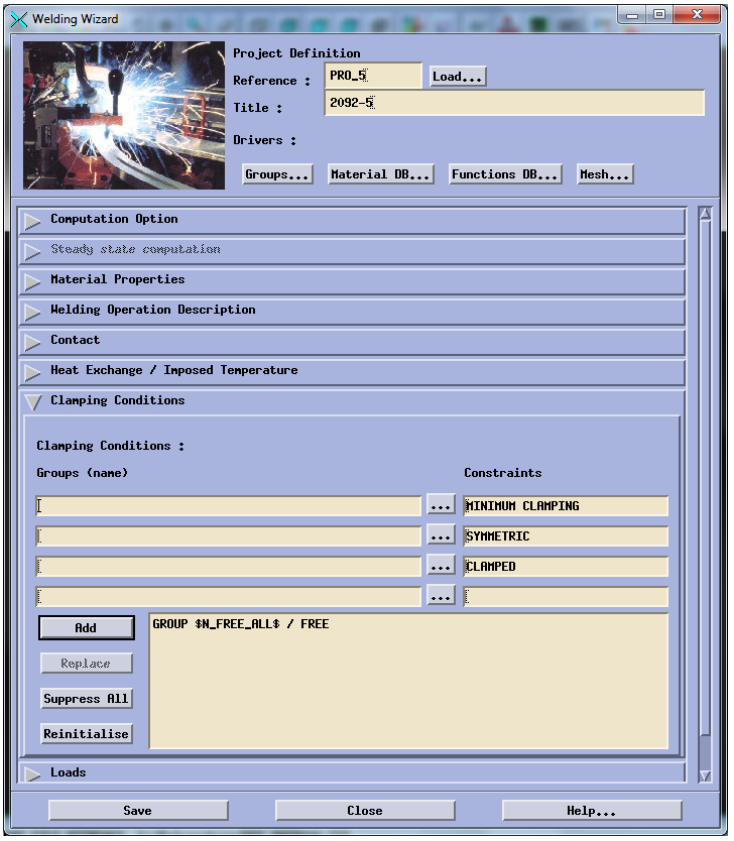


Рисунок 20. Данные Clamping Conditions.

Заполняем вкладку Solve Parameters(Рисунок21).

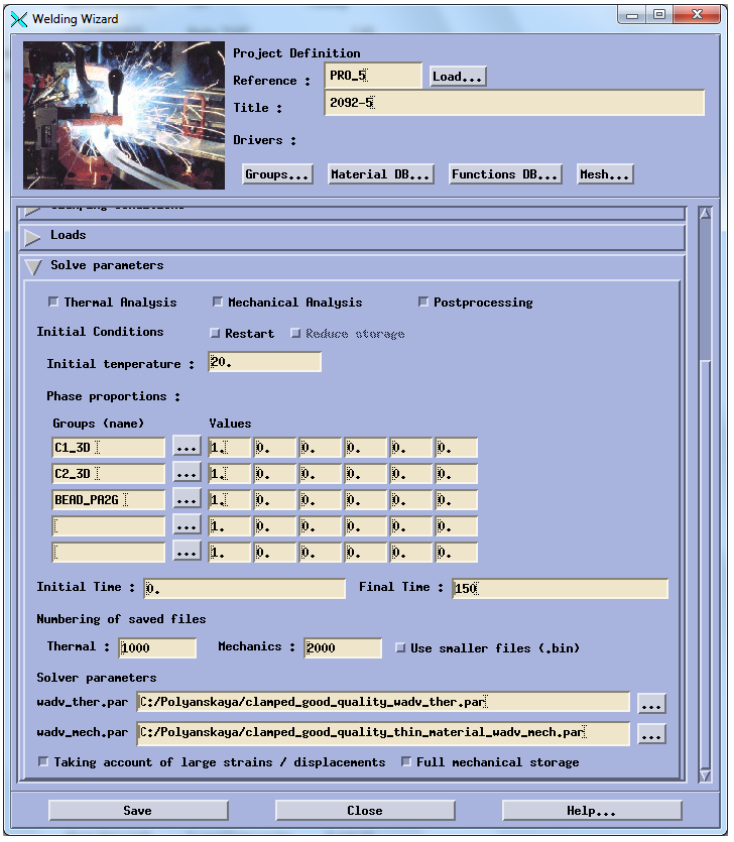


Рисунок 21. Данные Solve Parameters.

Выполняем расчет проекта.

3.4.Температурные характеристики

После выполнения расчета программой необходимо ознакомиться с результатами. Для этого нужно перейти по пути Application – Welding advisor – Postprocessing и подгрузить один из файлов созданного проекта отвечающий за температурные характеристики (Рисунок 22).

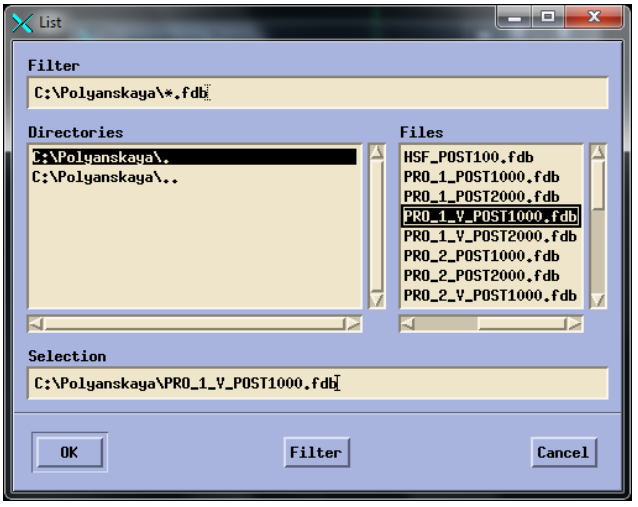


Рисунок 22. Подгрузка файла.

Далее необходимо выбрать непосредственно температурную характеристику и момент времени характерный для середины процесса (Риснок23) и увидеть распределение температур (Рисунок24).

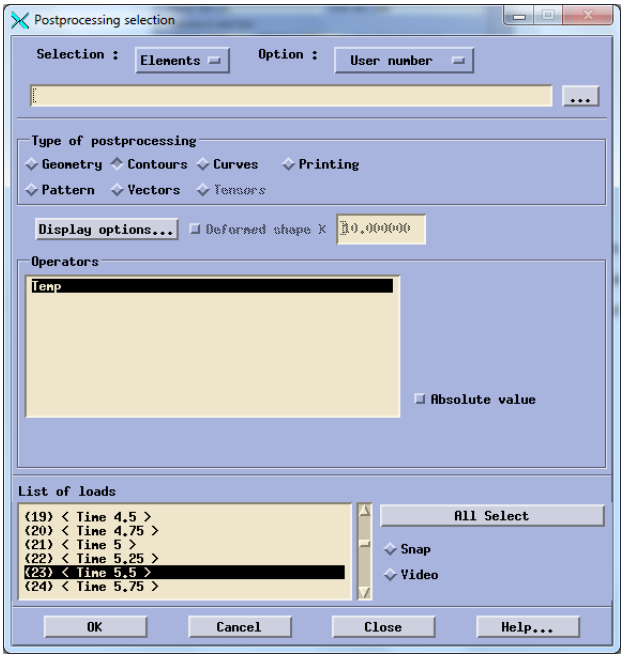


Рисунок 23. Выбор данных для расчета температурных характеристик.

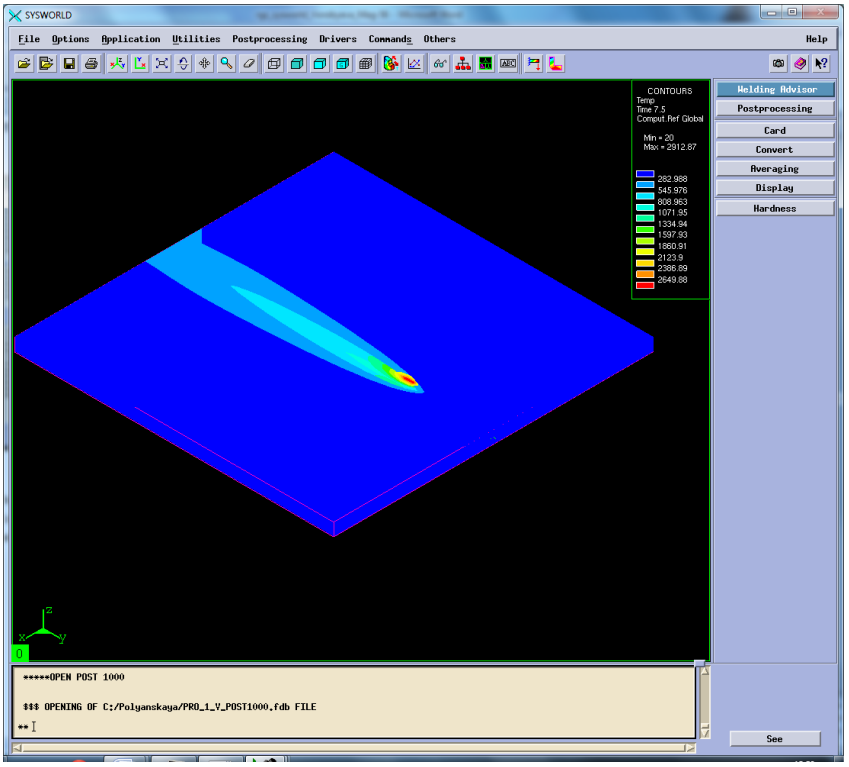


Рисунок 24. Отображение тепловых характеристик.

Далее необходимо разбить получившуюся картинку на сечения и выбрать необходимое (Рисунок 25-26).

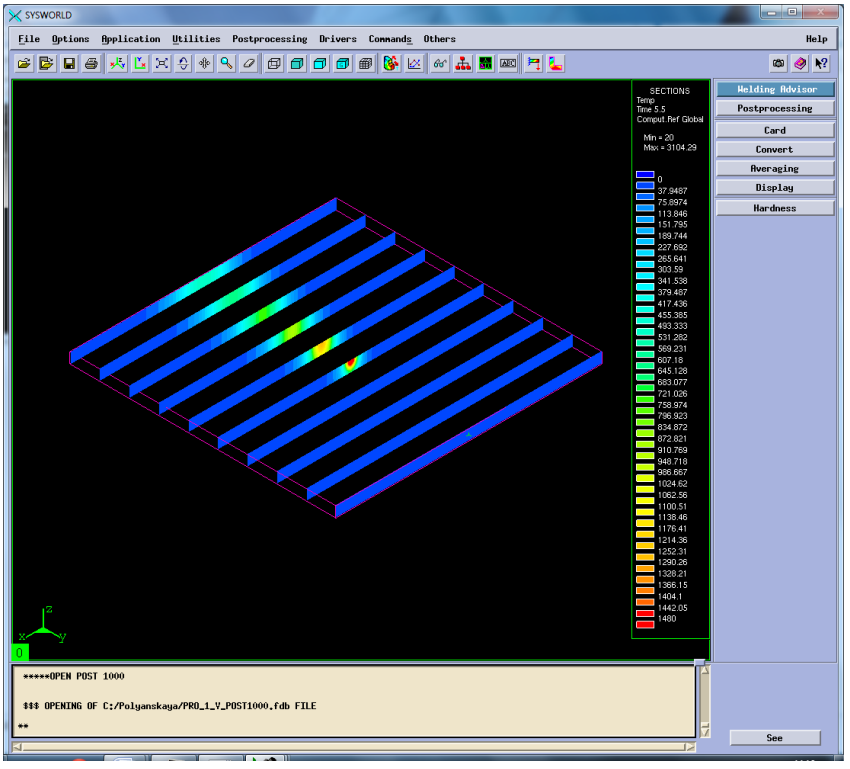


Рисунок 25. Разбиение на сечения.

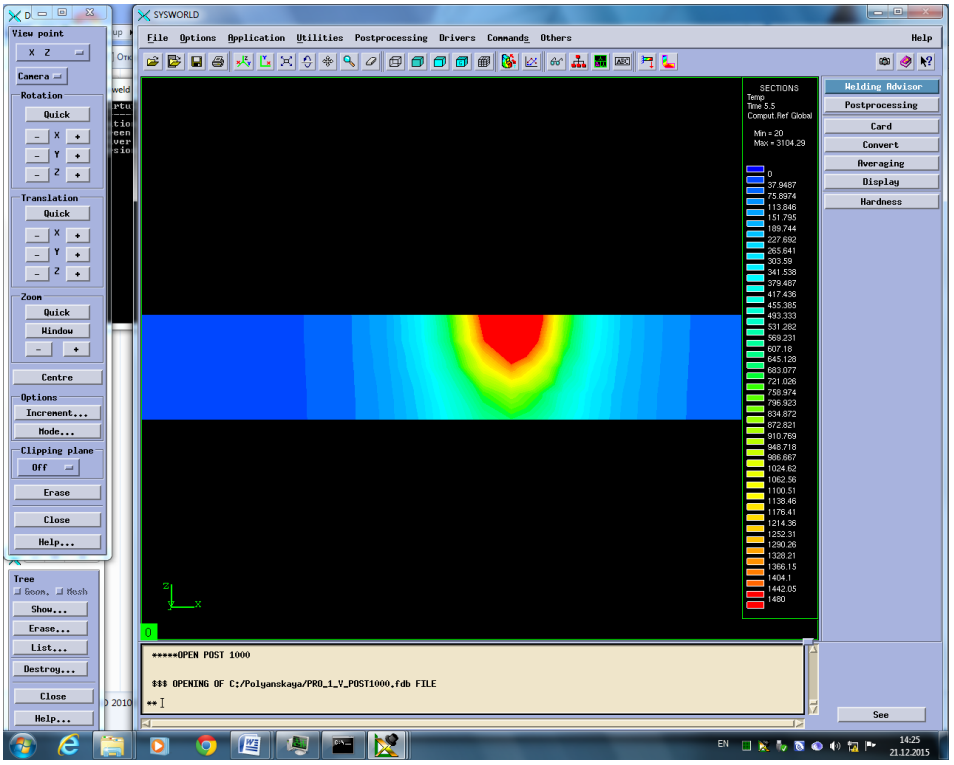


Рисунок 26. Сечение №5.

Затем необходимо посмотреть скорость нагрева и охлаждения. Для этого в окне Results selection нужно выбрать Temperature_rate (At nodes). В окне Postprocessing selection также выбрать Contours и время (Рисунок 27).

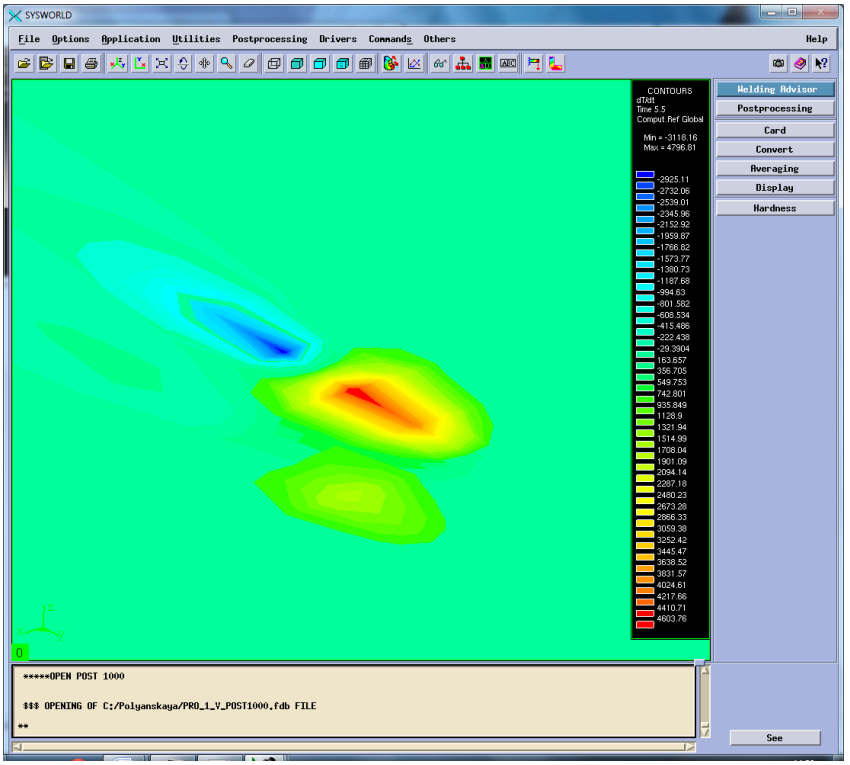


Рисунок 27. Сварное соединение, время и максимальные скорости охлаждения и нагрева.

Максимальная скорость нагрева – 4796.81 ºС/с.

Максимальная скорость охлаждения – (-3116.16) ºС/с.

Далее необходимо разделить сварное соединение на 10 частей (Рисунок28) и выбрать ту, на которой видно начало охлаждения (Рисунок29).

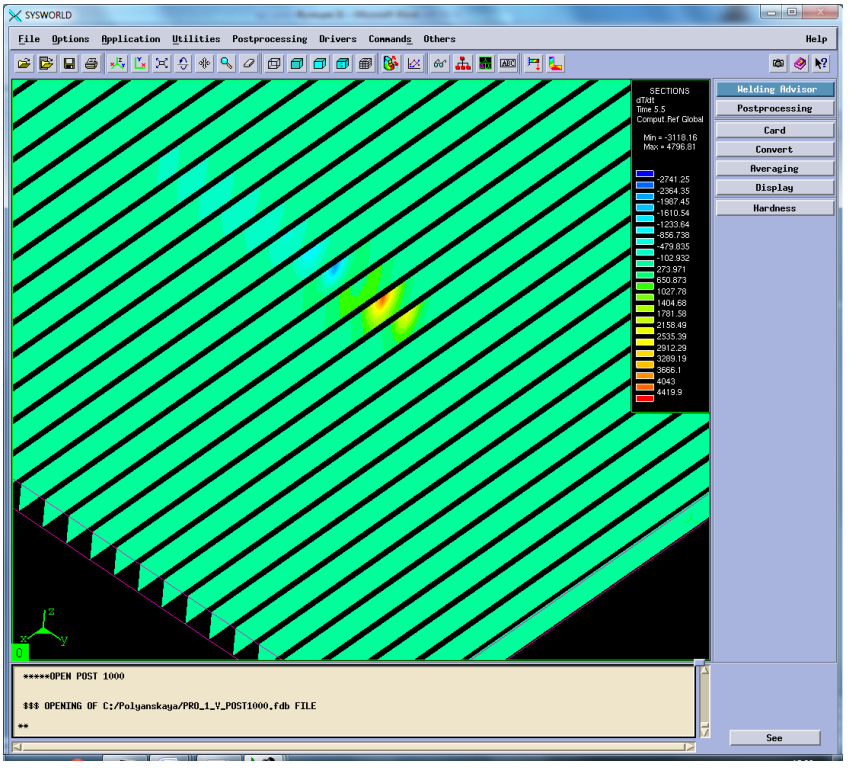


Рисунок29. Разбиение на сечения.

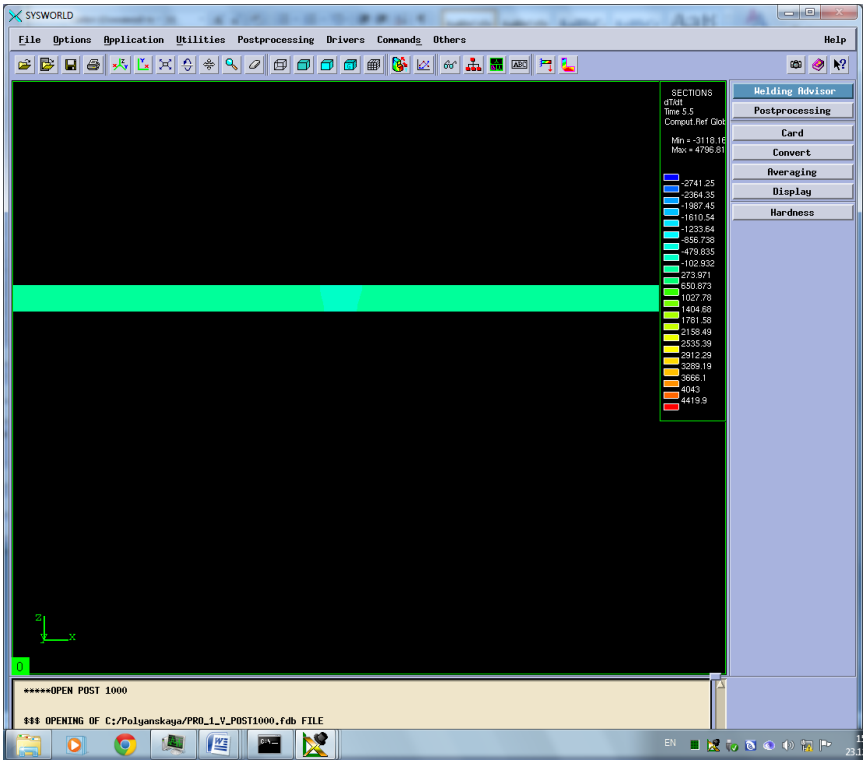


Рисунок 30. Сечение №12-Охлаждение.

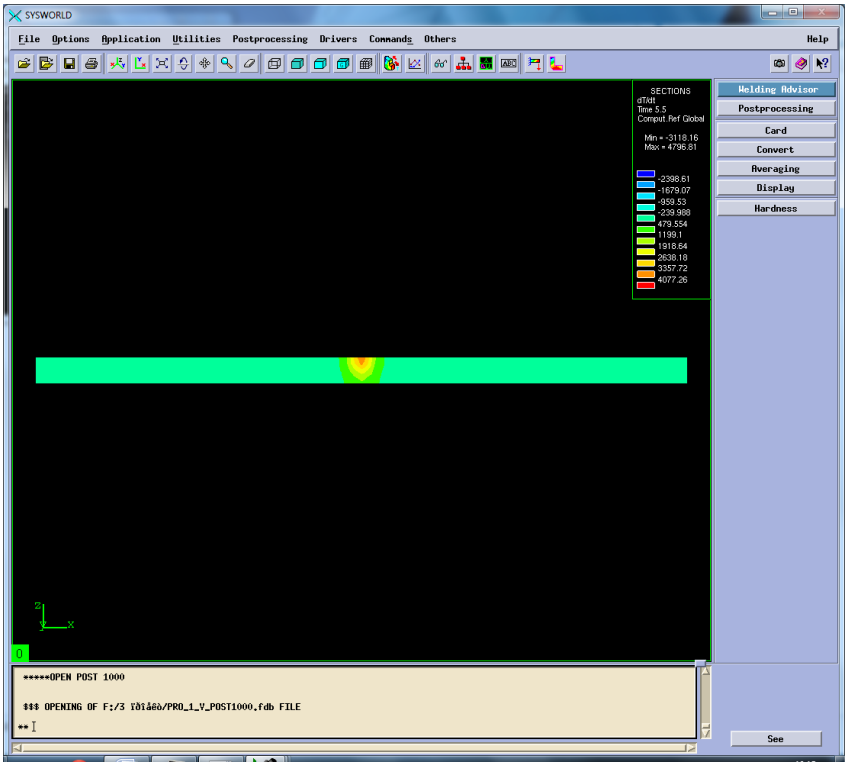


Рисунок 31. Сечение №7. Нагрев

3.5.Фазовый состав

Далее выбираем Phase_proportions, чтобы посмотреть фазовые составляющие соединения. При содержании хрома более 12...15 % сталь имеет только α (δ)-структуру (Рисунок 31). При меньших содержаниях хрома в области температур 800...1400 °С имеются γ- и γ+ + α-твердые растворы.

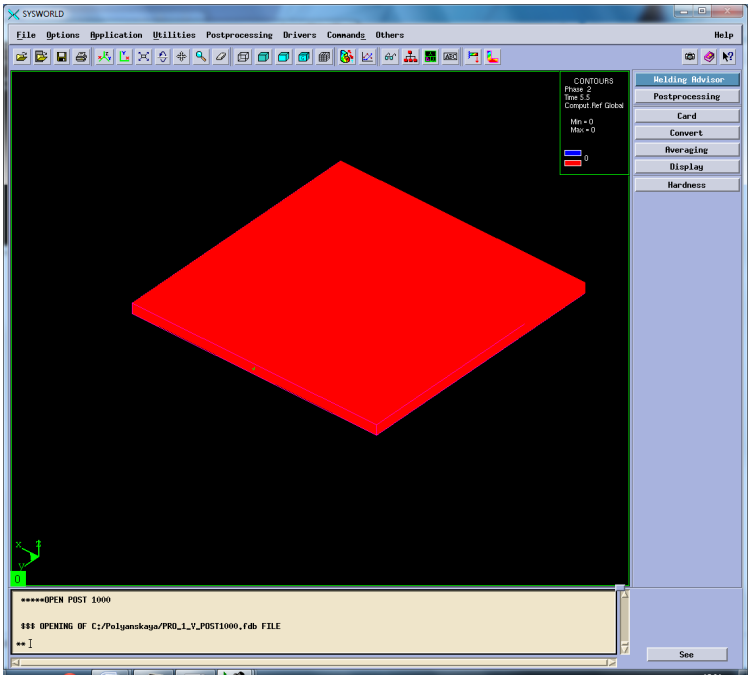


Рисунок 32. Структура сварного соединения.

3.6 Механические характеристики

Для этого нужно перейти по пути Application – Welding advisor – Postprocessing и подгрузить один из файлов созданного проекта отвечающий за механические характеристики. Определить деформацию относительно OX, OY, OZ, нормальную деформацию и максимальную результирующую (Рисунок 32-46).

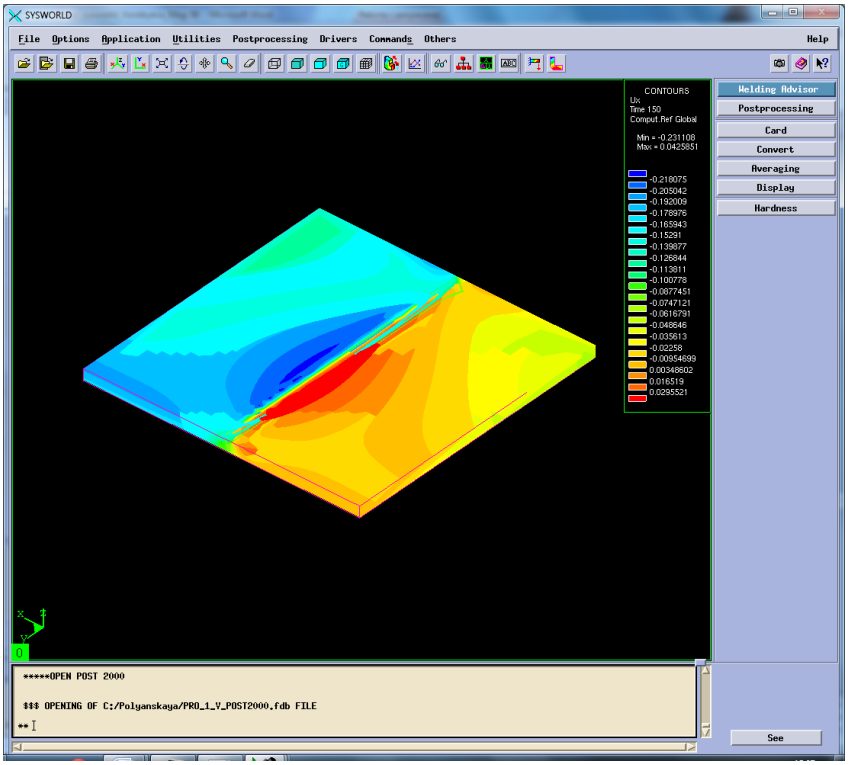


Рисунок 33. Распределение деформации по оси OX.

Далее необходимо разбить модель на сечения (Рисунок33) и выбрать необходимое (Рисунок34).

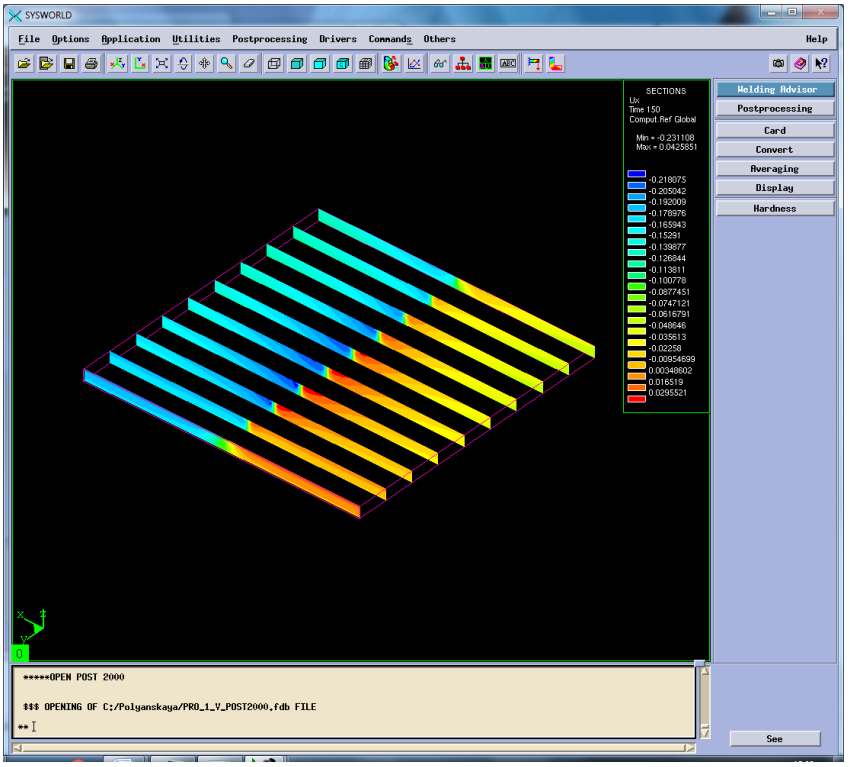


Рисунок 34. Разбиение на сечения.

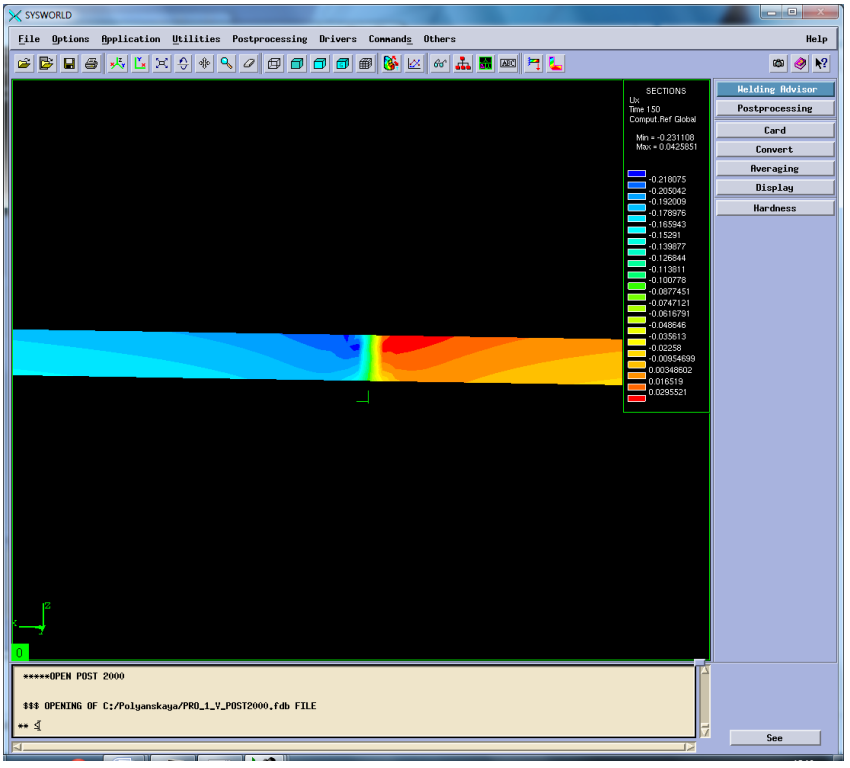


Рисунок 35. Сечение № 5

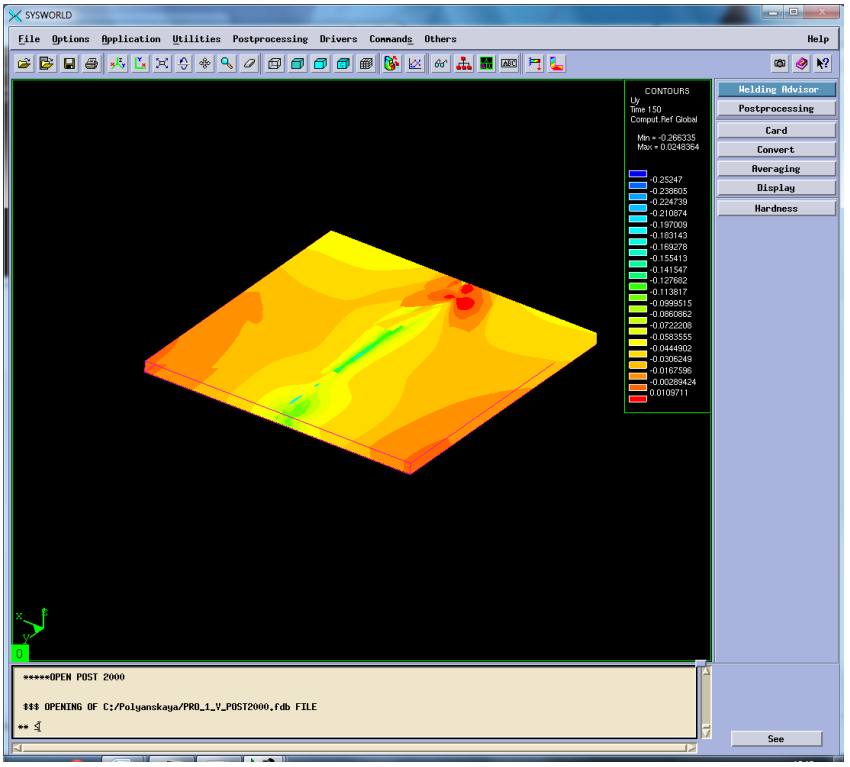


Рисунок 36. Деформация относительно ОУ

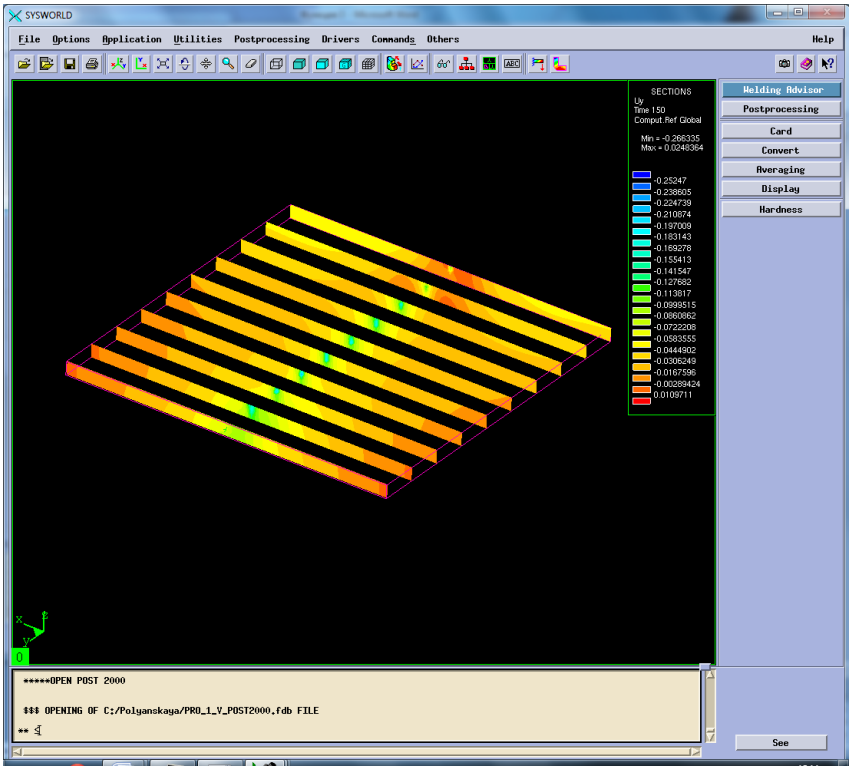


Рисунок 37. Разбиение на сечения.

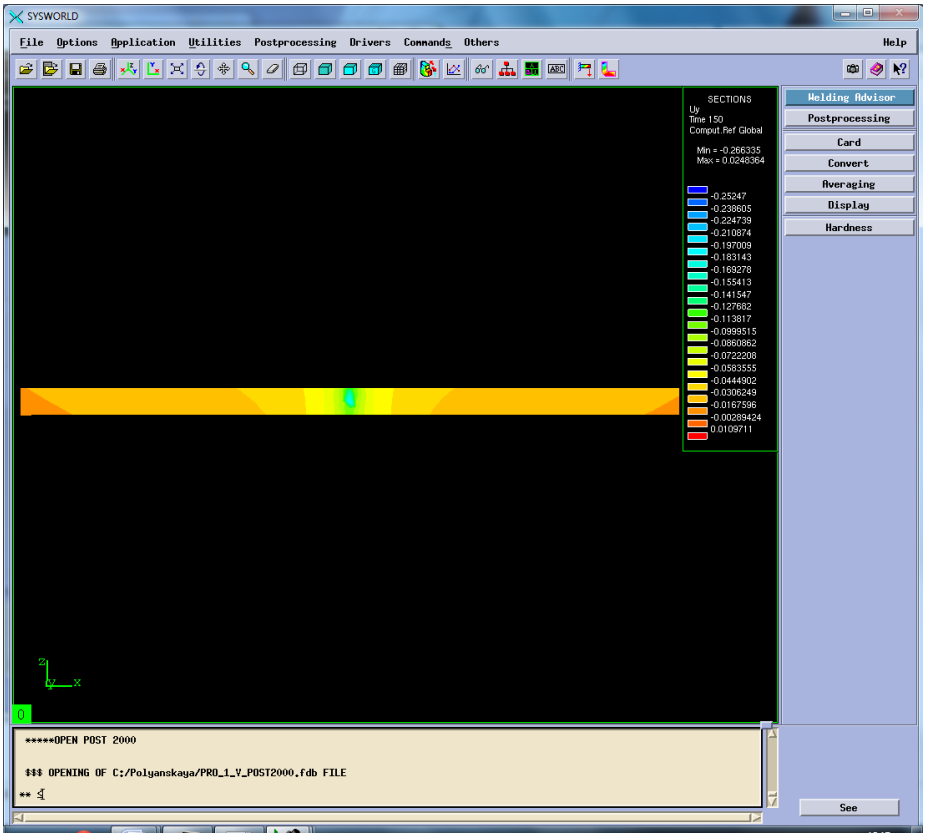


Рисунок 38.Сечение №5.

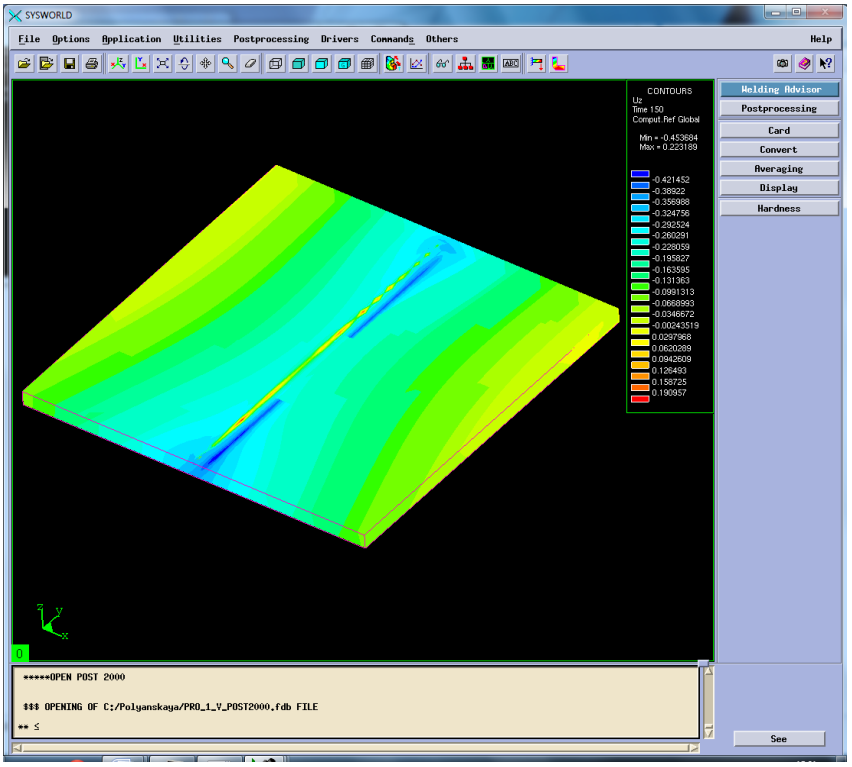


Рисунок 39. Деформация относительно OZ.

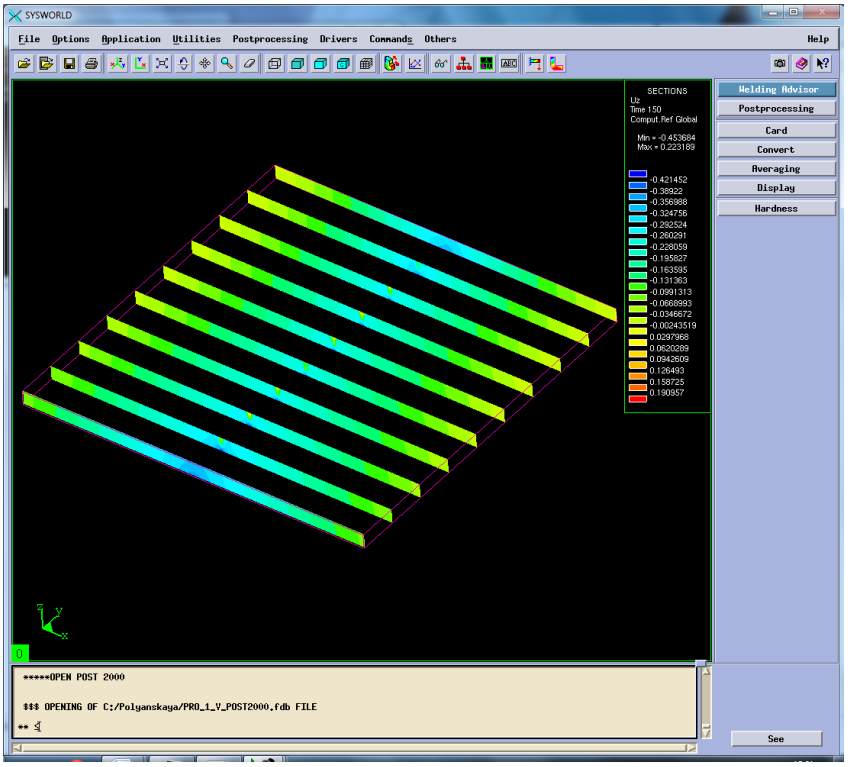


Рисунок 40. Разбиение на сечения.

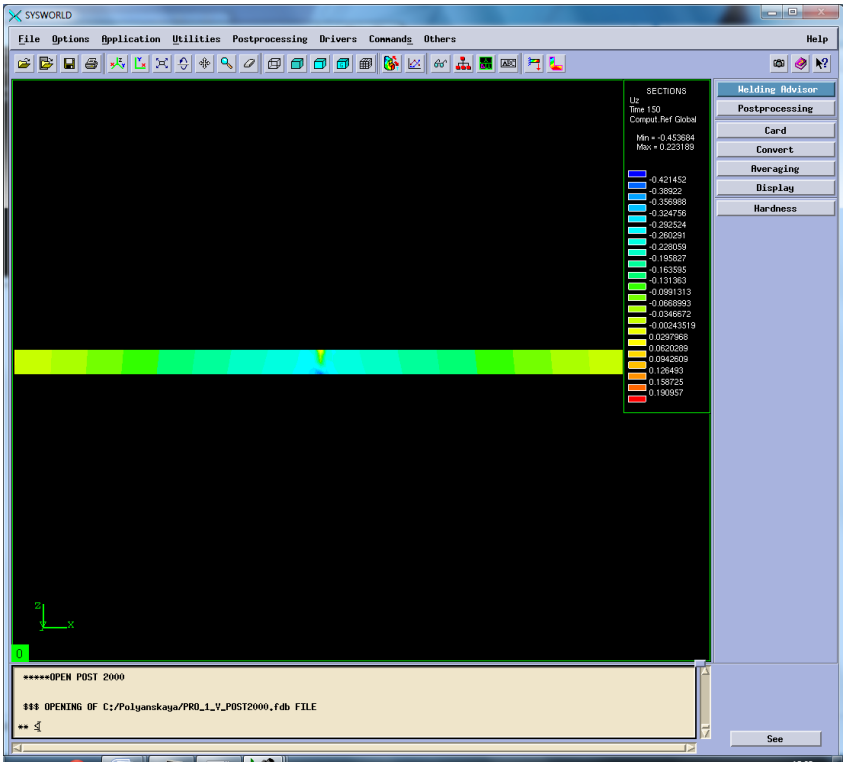


Рисунок 41. Сечение №4.

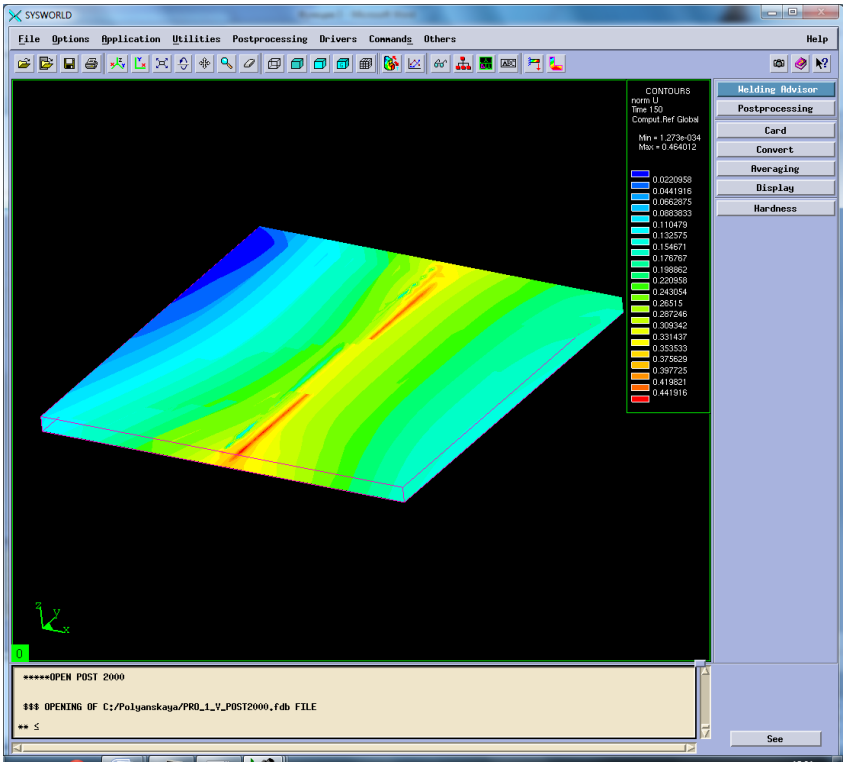


Рисунок 42. Нормальная деформация (нормализованная деформация).

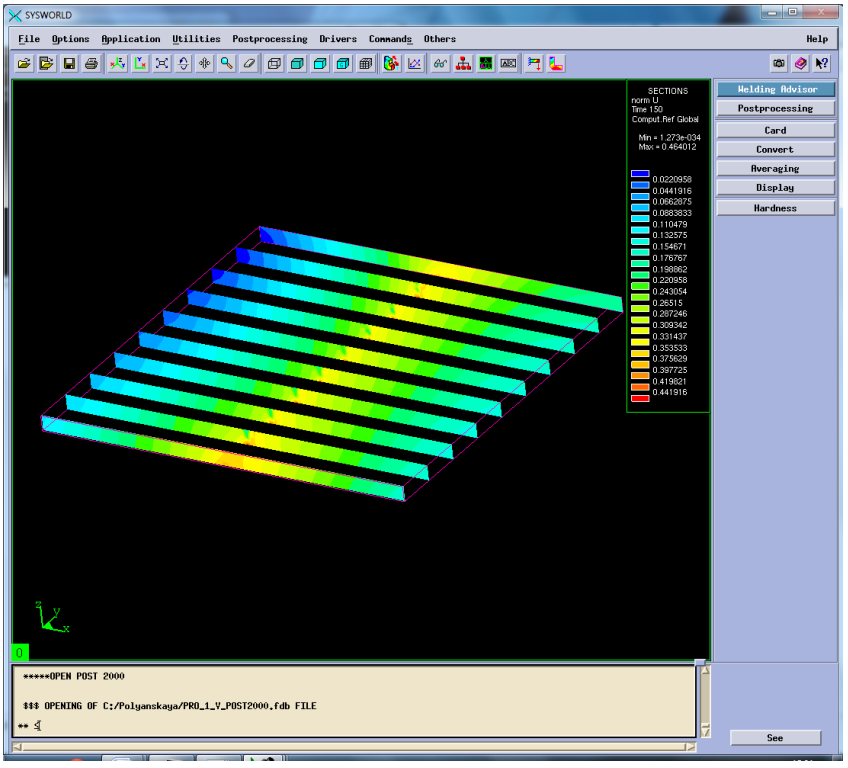


Рисунок 43. Разбиение на сечения.

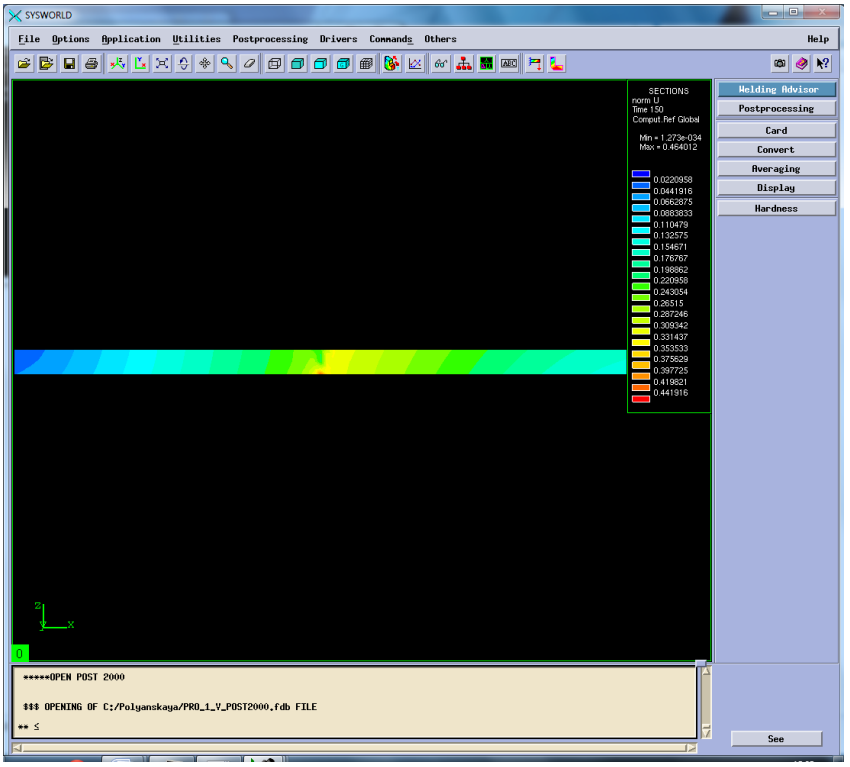


Рисунок 44. Сечение №4.

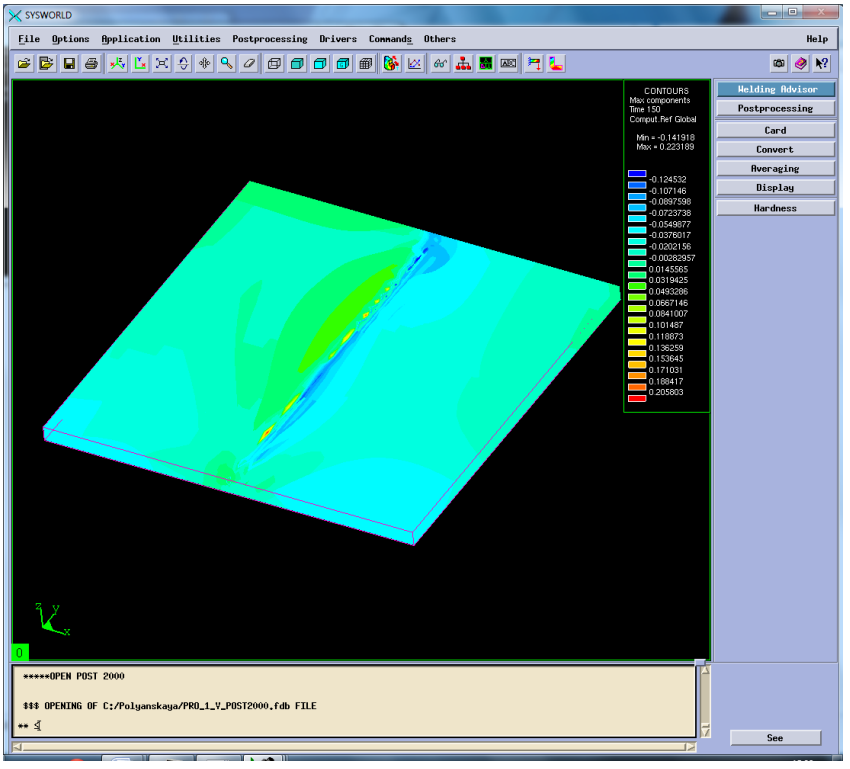


Рисунок 45. Максимальная результирующая деформация.

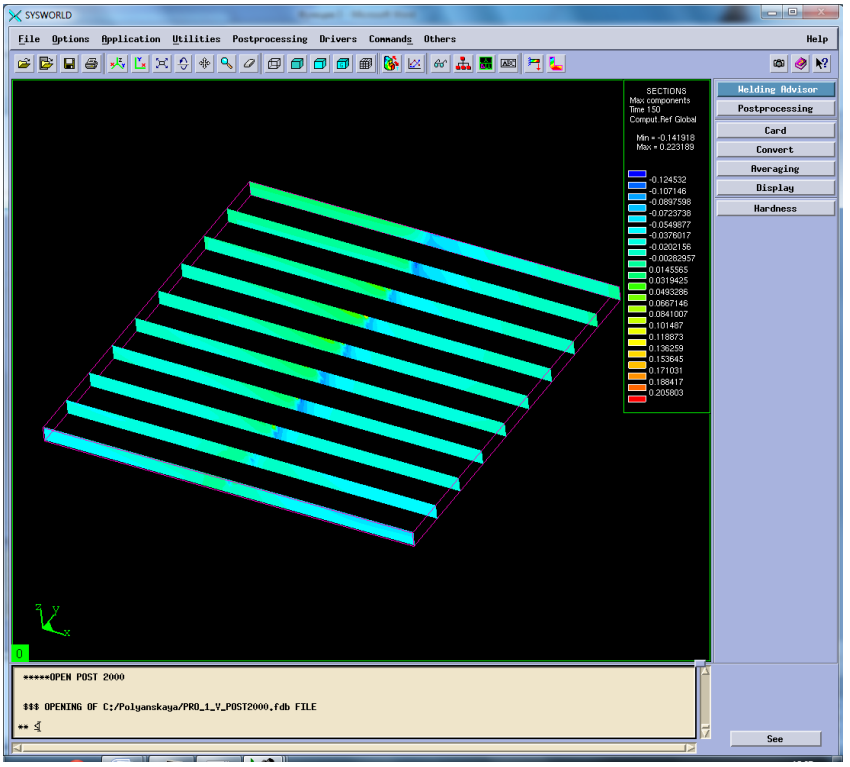


Рисунок 46. Разбиение на сечения.

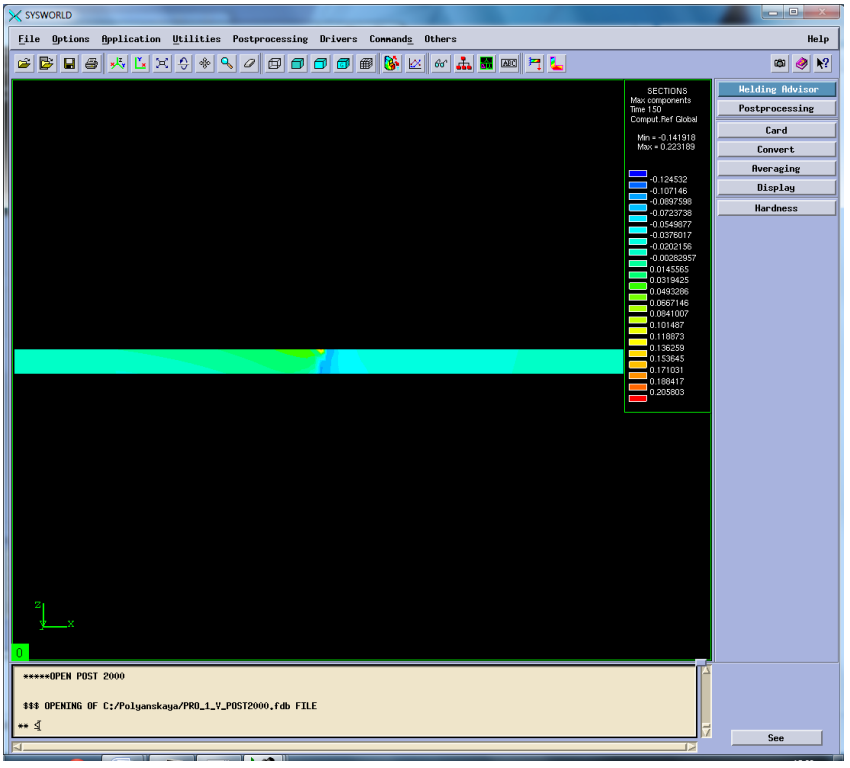


Рисунок 47. Сечение №6.

Сведем все результаты в таблицу 4.

Таблица 4. Результаты деформации

	Max	Min
По оси OX	0.042	-0,231
По оси OY	0.025	-0,266

По оси OZ	0,223	-0.453
Нормализованная деформация	0.464	$1.27 \cdot 10^{-34}$
Максимальная результирующая деформация	0.223	-0.142

3.7.Напряжения

Затем в окне Results selection необходимо выбрать Stresses (At nodes) – напряжения, возникающие в процессе сварки. После в появившемся окне Postprocessing selection нужно выбрать оси и напряжение по Мизесу.

Sigma 11 – напряжение по оси OX, sigma 22 – напряжение по оси OY, sigma 33 – напряжение по оси OZ, von mises stress – напряжение по Мизесу (Рисунок 47-58)

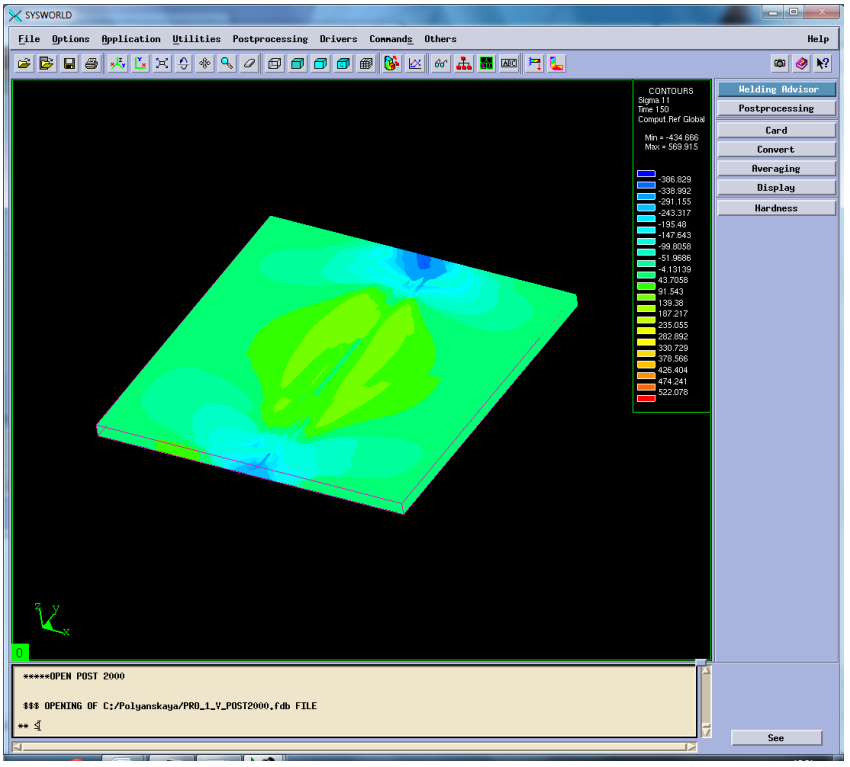


Рисунок 48.Распределение напряжений по оси OX.

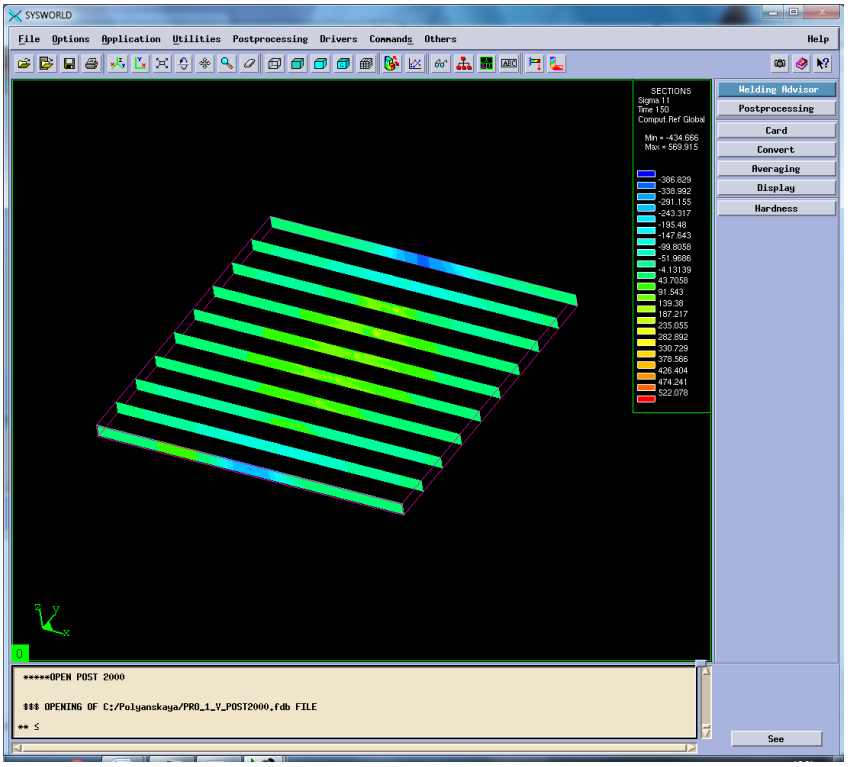


Рисунок 49. Разбиение на сечения.

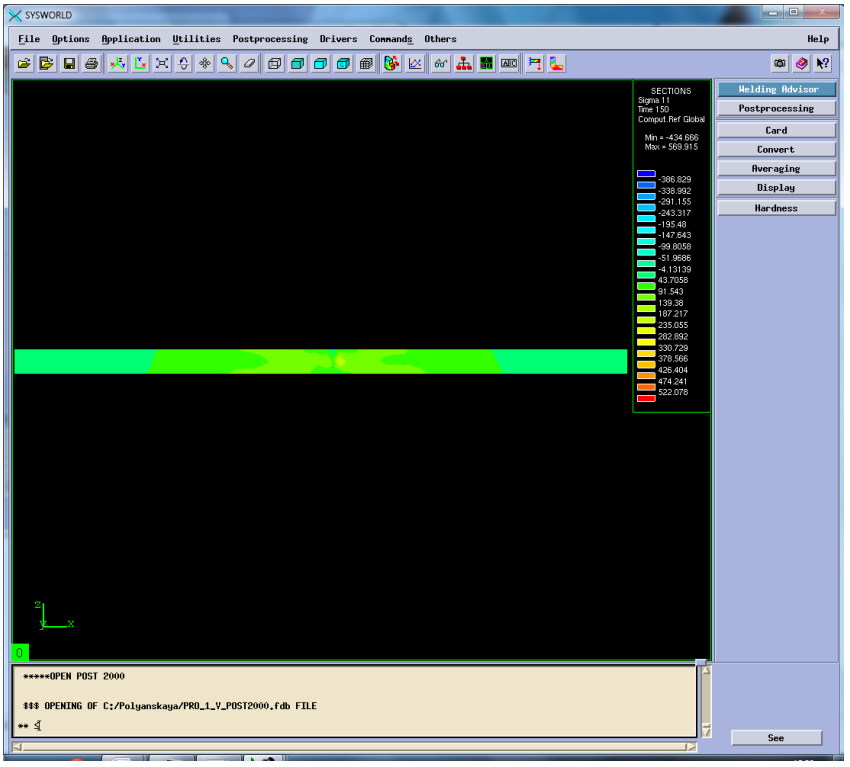


Рисунок 50. Сечение №4.

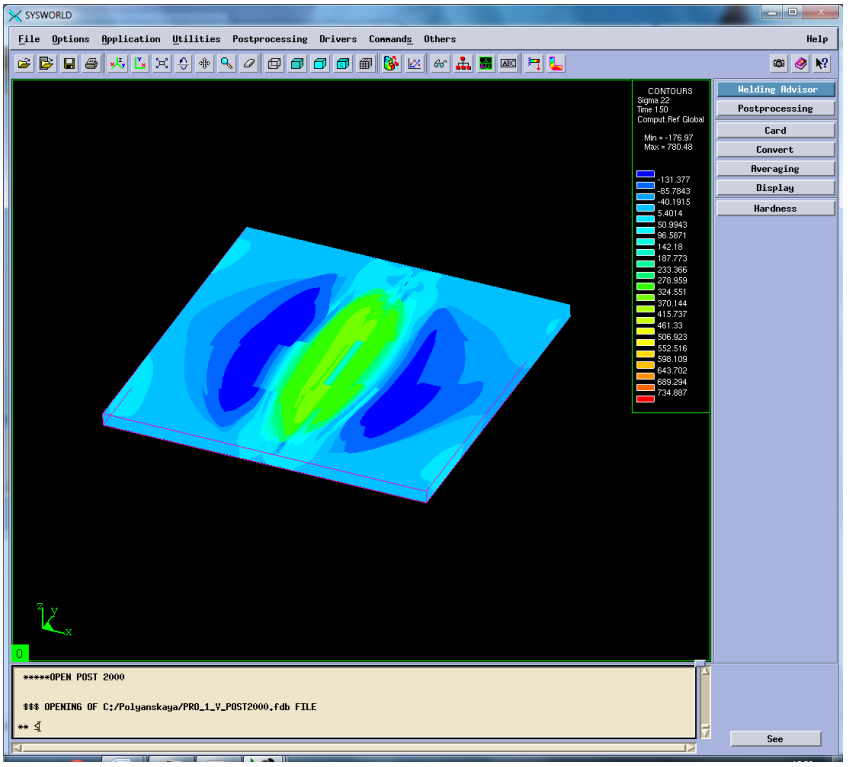


Рисунок 51. Распределение напряжений по OY.

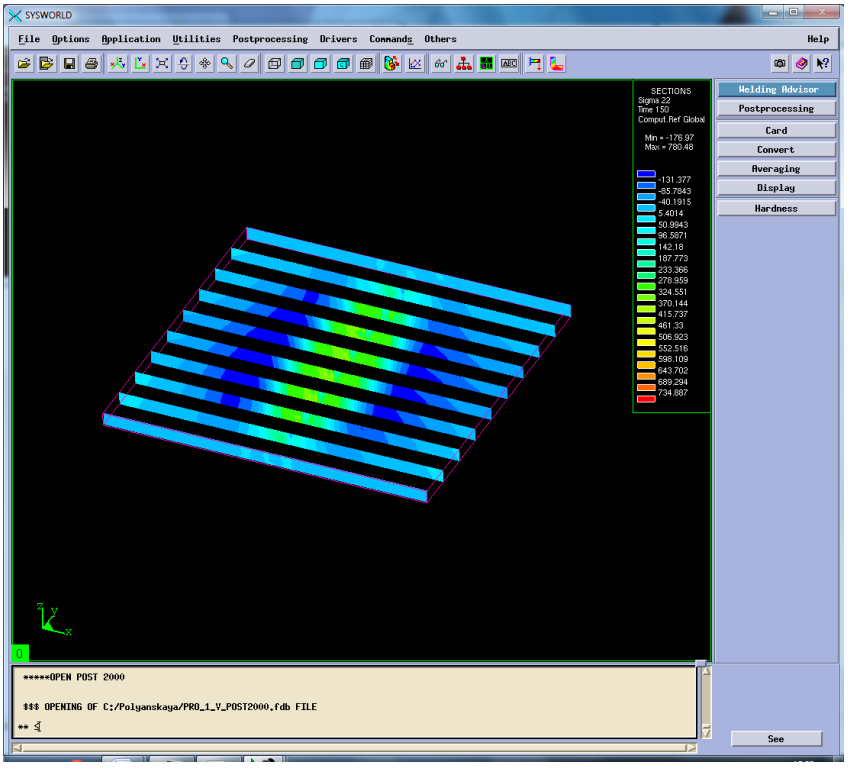


Рисунок 52. Разбиение на сечения.

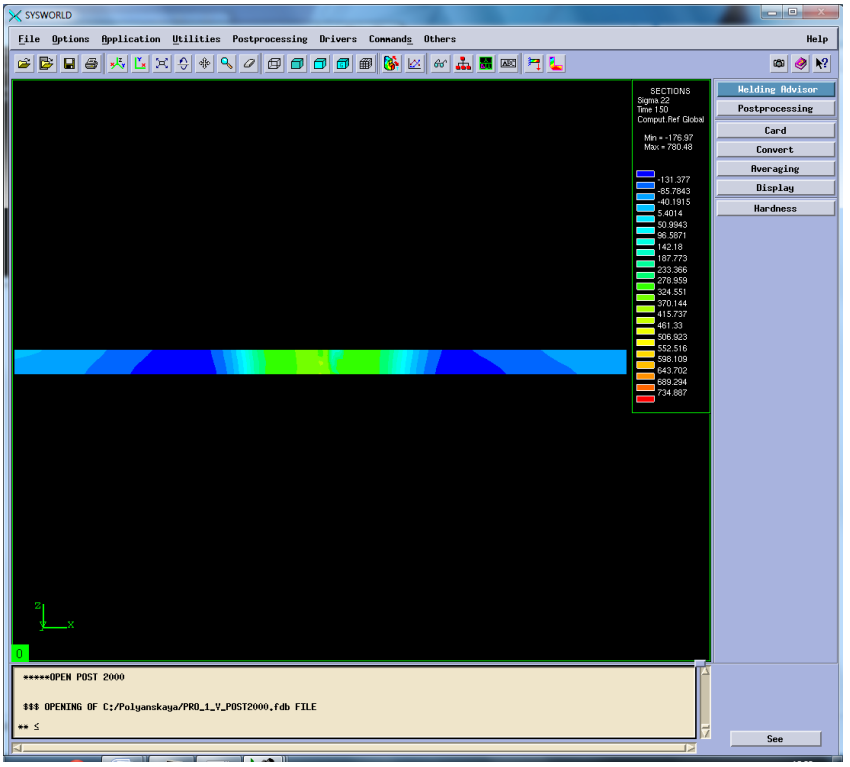


Рисунок 53. Сечение №4.

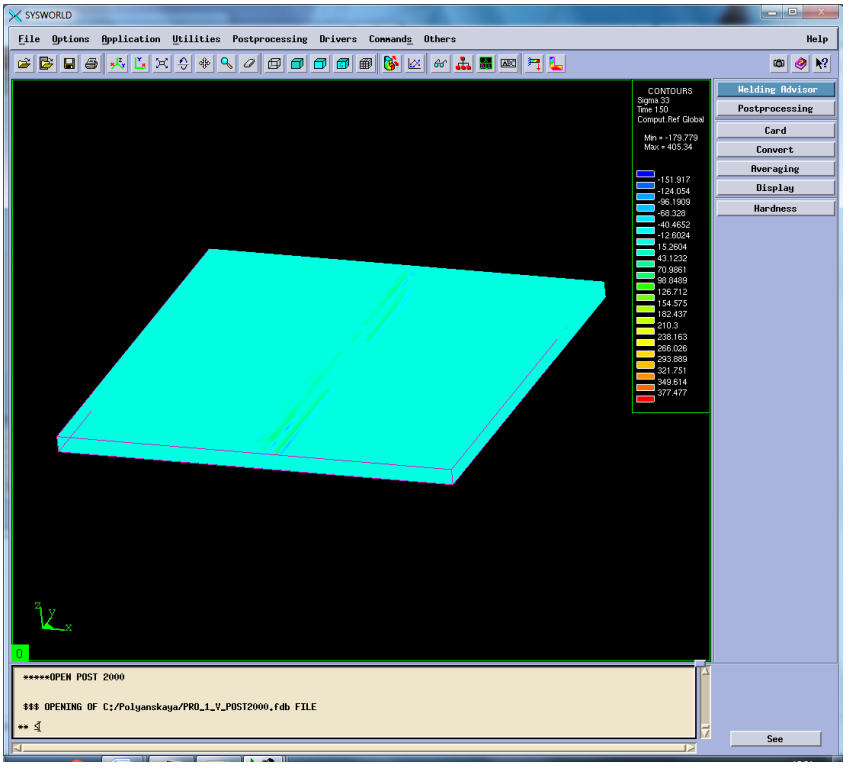


Рисунок 54. Распределение напряжений по OZ.

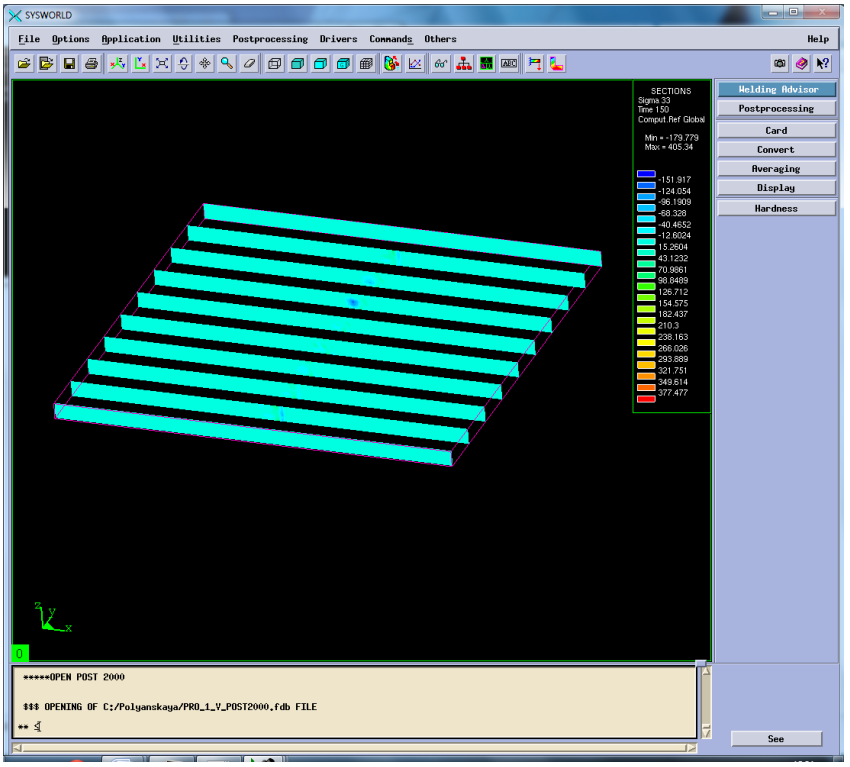


Рисунок 55. Разбиение на сечения.

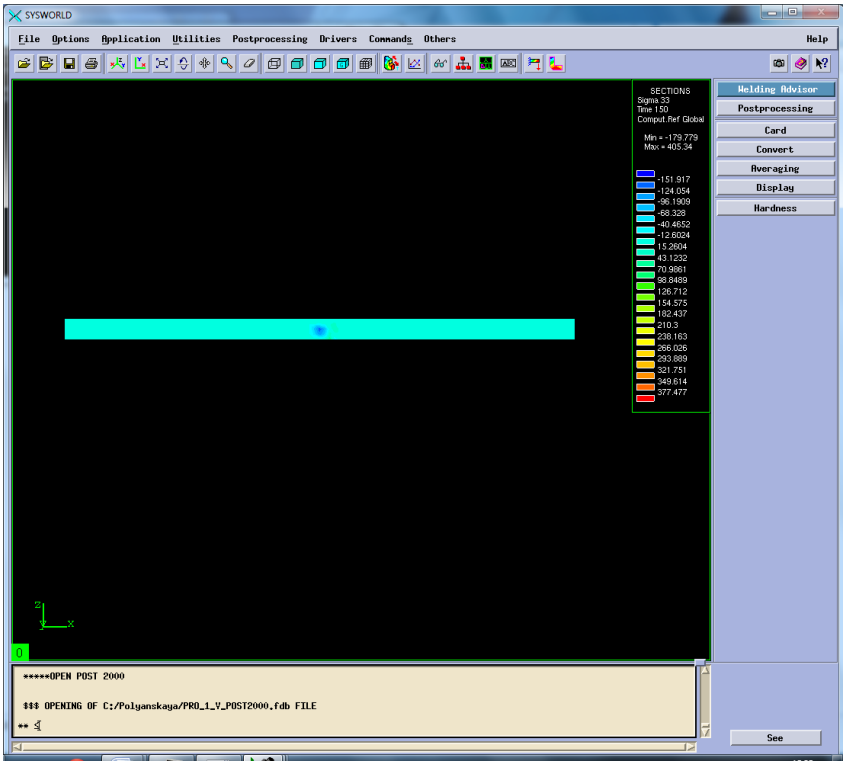


Рисунок 56. Сечение №3.

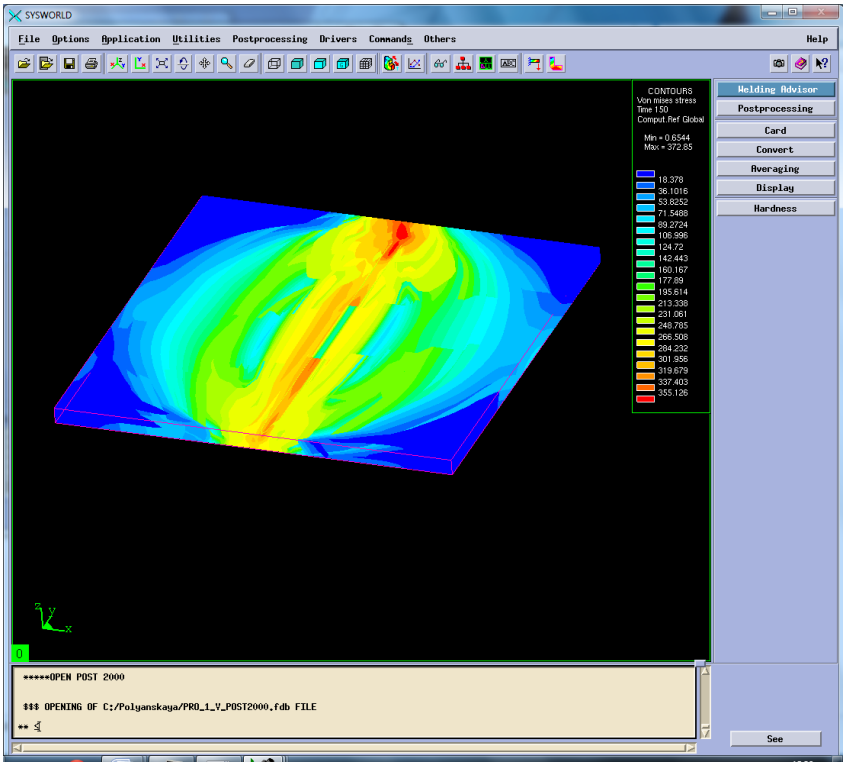


Рисунок 57. Распределение напряжений по Мизесу.

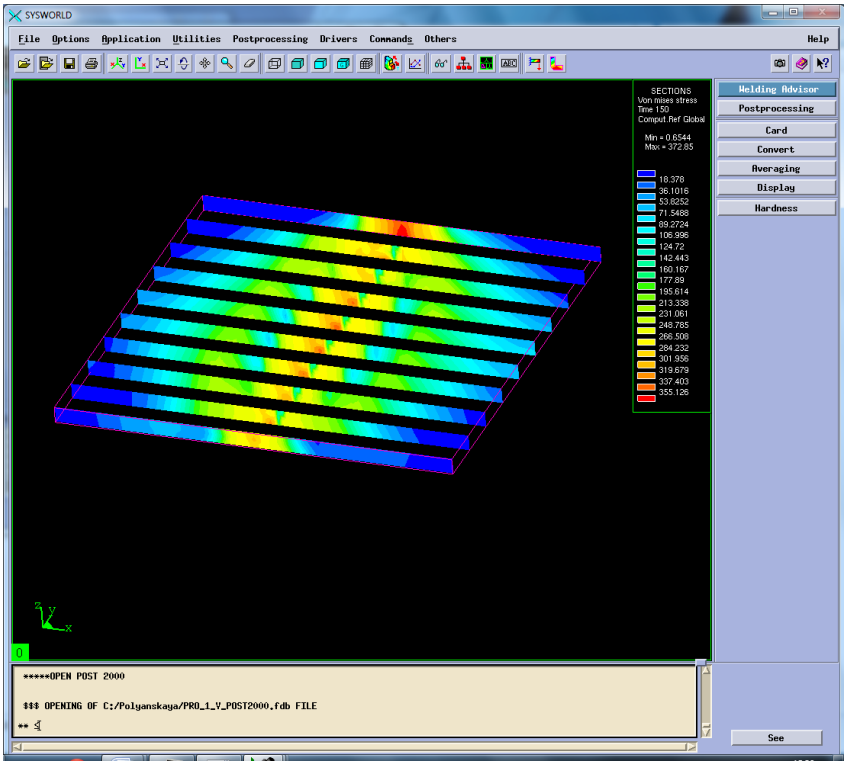


Рисунок 58. Разбиение на сечения.

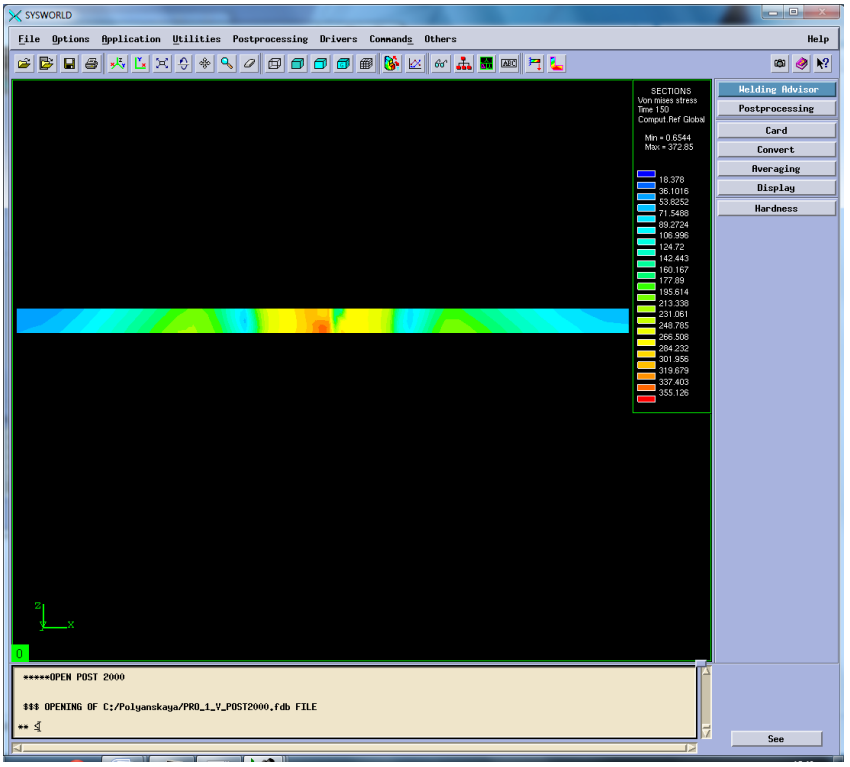


Рисунок 59. Сечение №4.

Результаты измерения напряжений необходимо свести в таблицу 5.

Таблица 5. Результаты напряжений

	Напряжение растяжения	Напряжение сжатия
По оси OX	569.91	-434.6
По оси OY	760.48	-176.97
По оси OZ	405,34	-179.77
	Max	Min
Напряжение по Мизесу	372,05	0,654

4. Выбор рационального режима

Чтобы определить рациональный режим необходимо посмотреть максимальные и минимальные значения напряжений и деформаций в таблице 6-7.

Таблица 6 – Значения деформации для режимов сварки

№ режима		Режим 2	Режим 4	Режим 5	Режим 8	№
По оси OX	max	0,078	0,066	0,032	0,037	5
	min	-0,292	-0,089	-0,476	-0,632	8
По оси OY	max	0,029	0,041	0	4,308	5
	min	-0,318	-0,157	-0,412	-0,492	8
По оси OZ	max	0,210	7.813	0,335	0,368	2
	min	-0.459	-0,772	-0,305	-0,289	4
Нормализованная деформация	max	0.493	0.774	0,522	0,663	2
	min	$3{,}57 \cdot 10^{-34}$	$2.84 \cdot 10^{-34}$	$4{,}59 \cdot 10^{-34}$	$0{,}37 \cdot 10^{-34}$	5
Максимальная результирующая деформация	max	0,210	0,066	0,335	0,368	4
	min	-0,188	-0.061	-0,238	-0,282	8

Таблица 7 – Значения напряжений для режимов сварки

№ режима		Режим 2	Режим4	Режим 5	Режим 8	№
По оси OX	max	187,84	2043,55	166,27	185,527	5
	min	-310,454	-669.45	-353,47	-359,916	2
По оси OY	max	444,384	2387,03	328,89	312,605	8
	min	-188,57	-342.357	-177,43	-177,77	5
По оси OZ	max	170,411	1984.76	19,232	24,92	5
	min	-85.25	-739.782	-12,65	-17,136	5
Напряжение по Мизесу	max	320.408	376,35	368,83	372,558	2
	min	4.815	0,373	1,564	3,046	4

Основываясь на полученных данных можно сделать вывод о том, что наиболее рациональным режимом сварки будет являться Режим №5.

5.Рациональный режим

Рассмотрим температурные характеристики, деформации и напряжения действующие на объект в процессе сварки.

5.1. Температурные характеристики

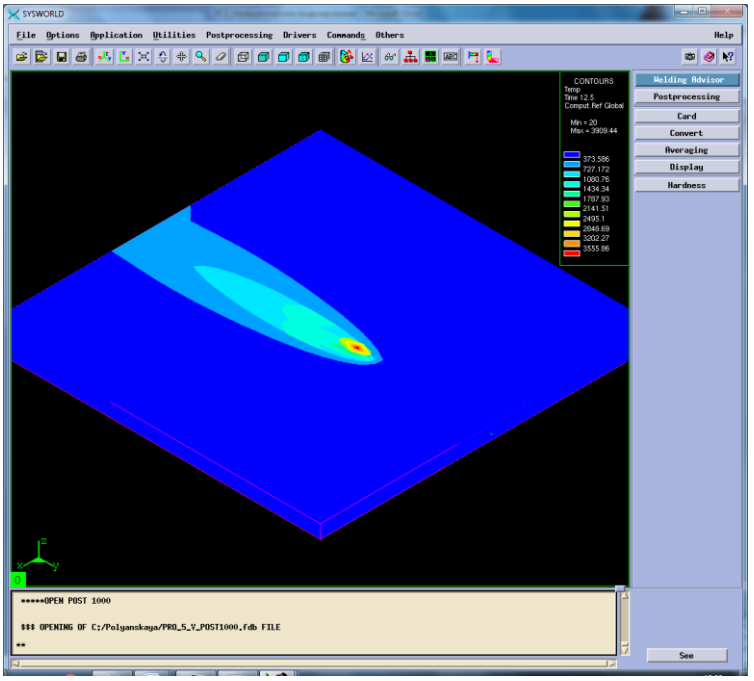


Рисунок 60. Отображение тепловых характеристик.

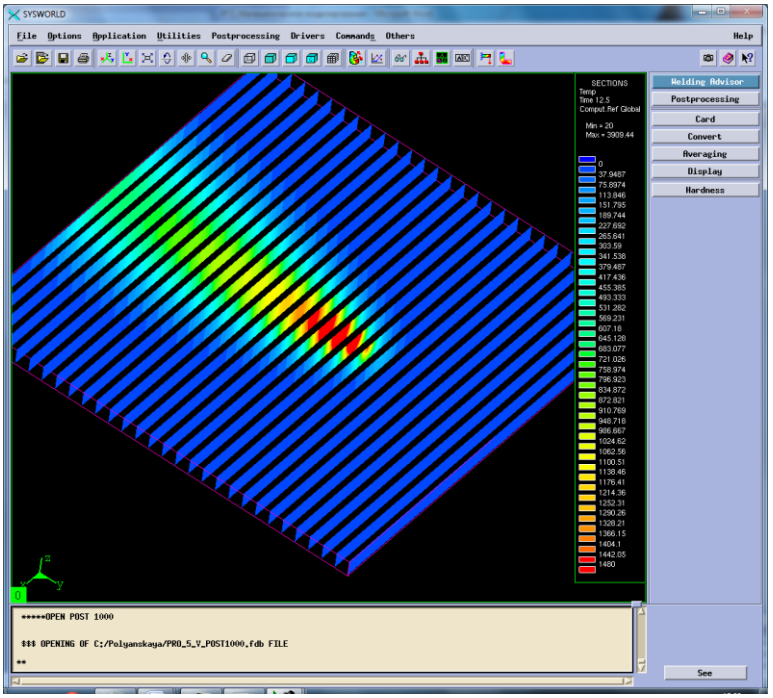


Рисунок 61. Разбиение на сечения.

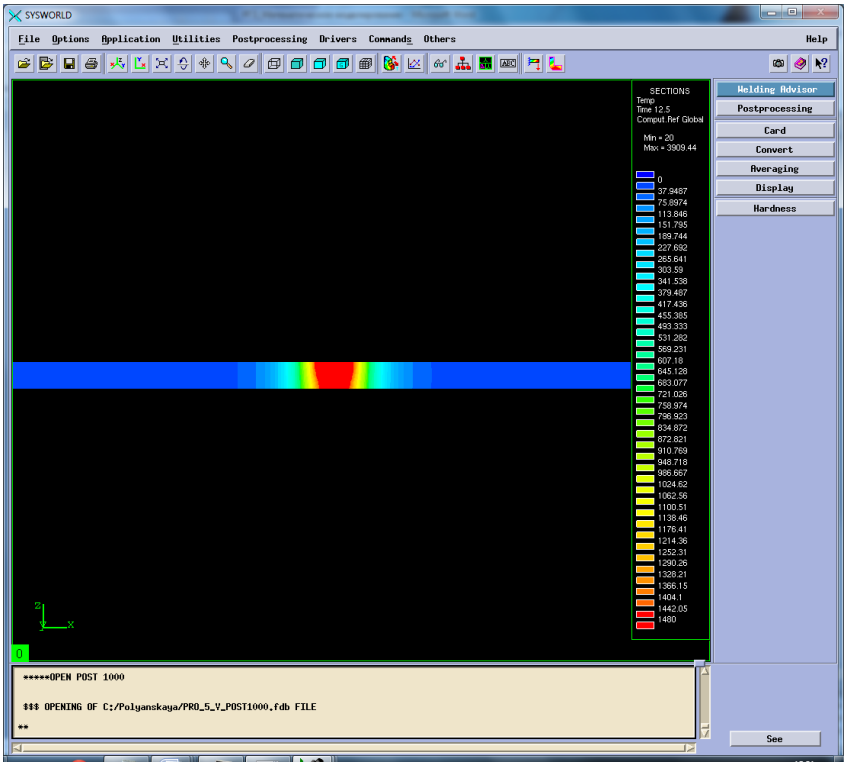


Рисунок 62. Сечение №16.

Следующим шагом необходимо подробно рассмотреть охлаждение (Рисунок 62).

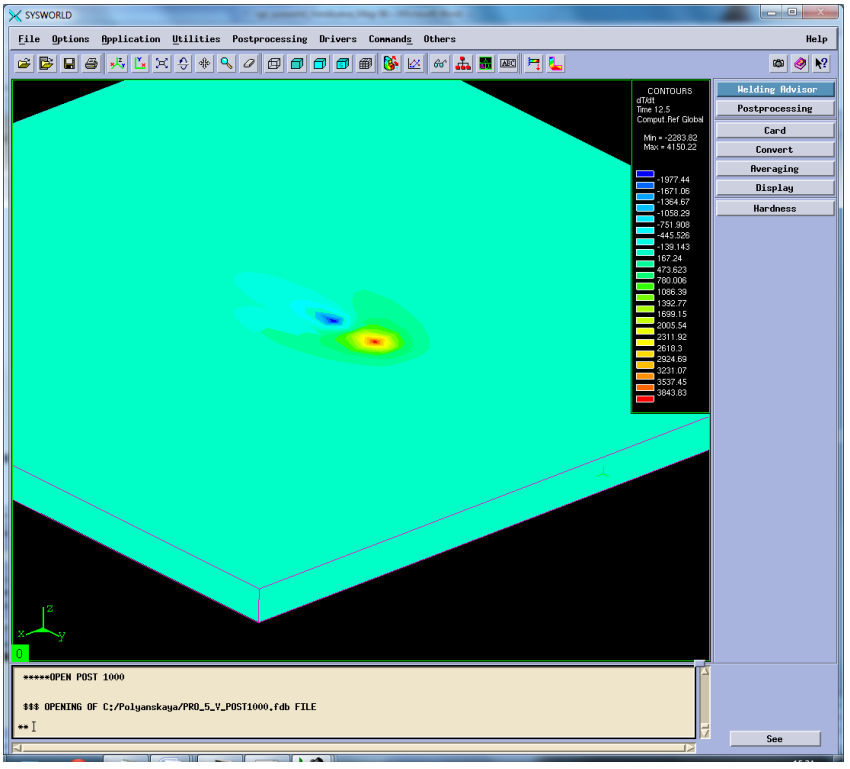


Рисунок 63. Отображение максимальных скоростей нагрева и охлаждения.

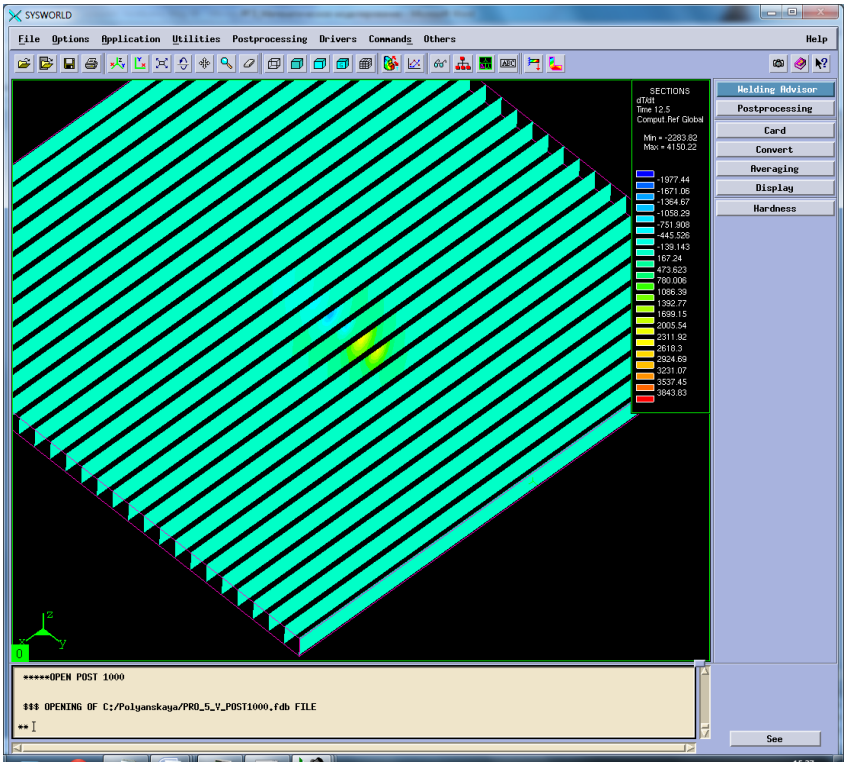


Рисунок 64. Разбиение на сечения.

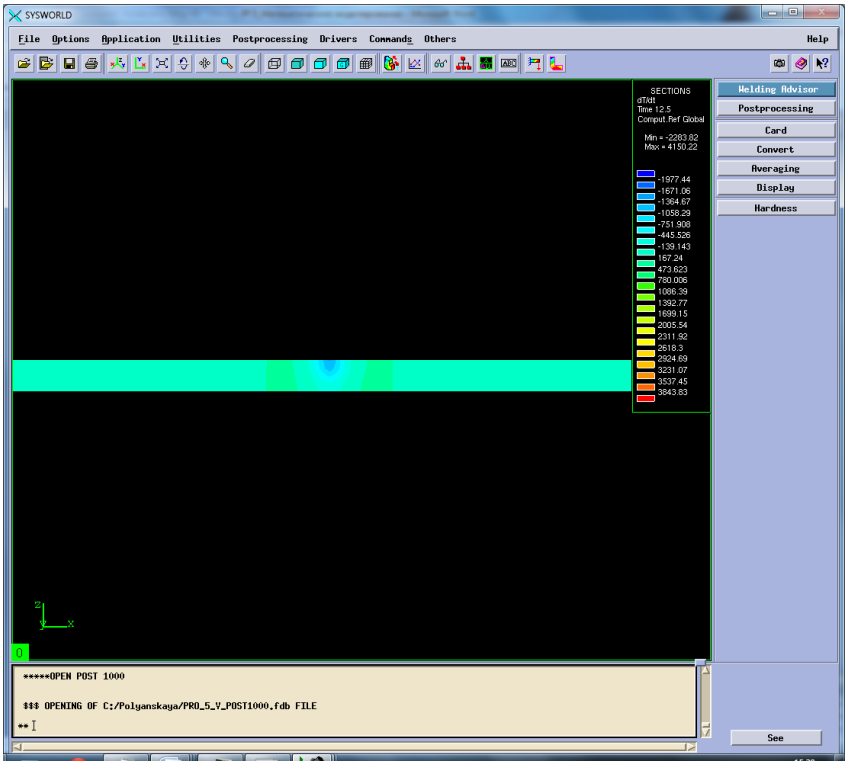


Рисунок 65. Сечение №6 Охлаждение.

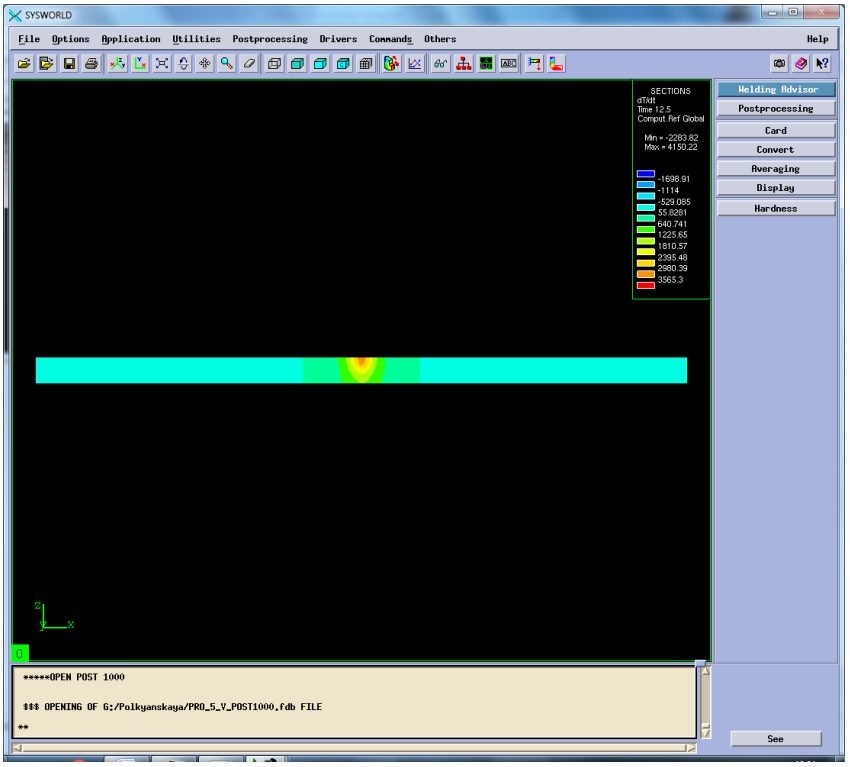


Рисунок 66. Сечение №10 Нагрев.

Максимальная скорость нагрева – 4150.22 ºС/с.

Максимальная скорость охлаждения – (-2283.82) ºС/с.

5.2.Фазовый состав

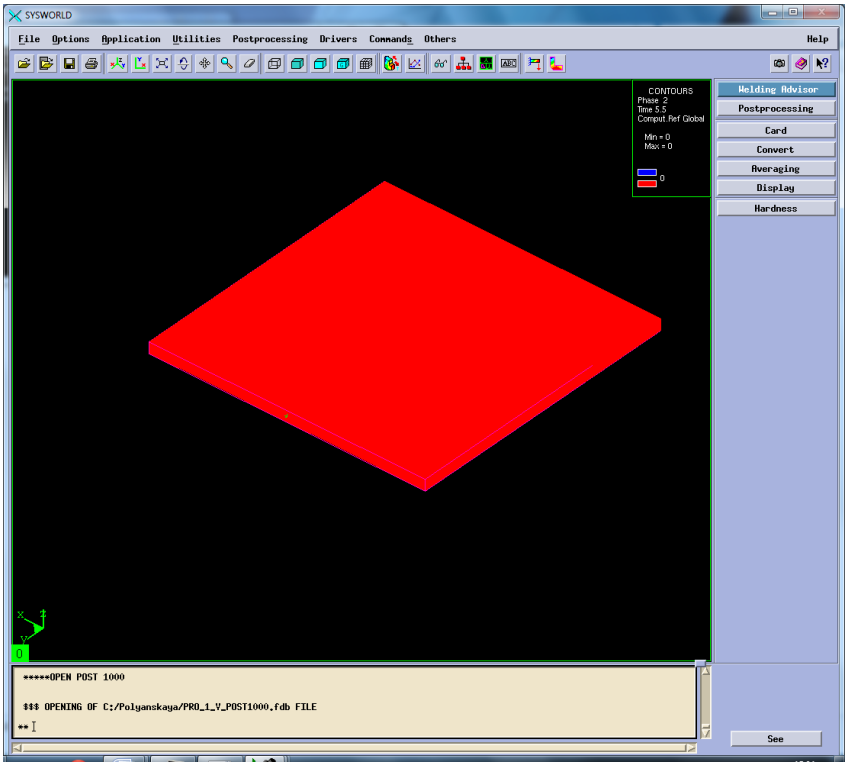


Рисунок 67. Структура сварного соединения.

5.3.Механические характеристики

Рассмотрим деформации сварного соединения относительно OX, OY, OZ, а также нормальные деформации и максимальную результирующую (Рисунок 66-80).

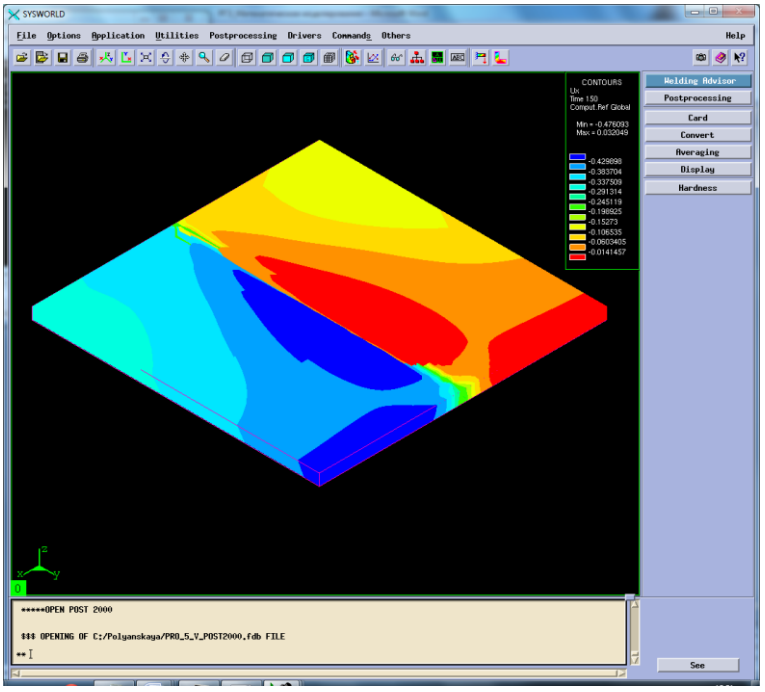


Рисунок 68. Деформация относительно OX.

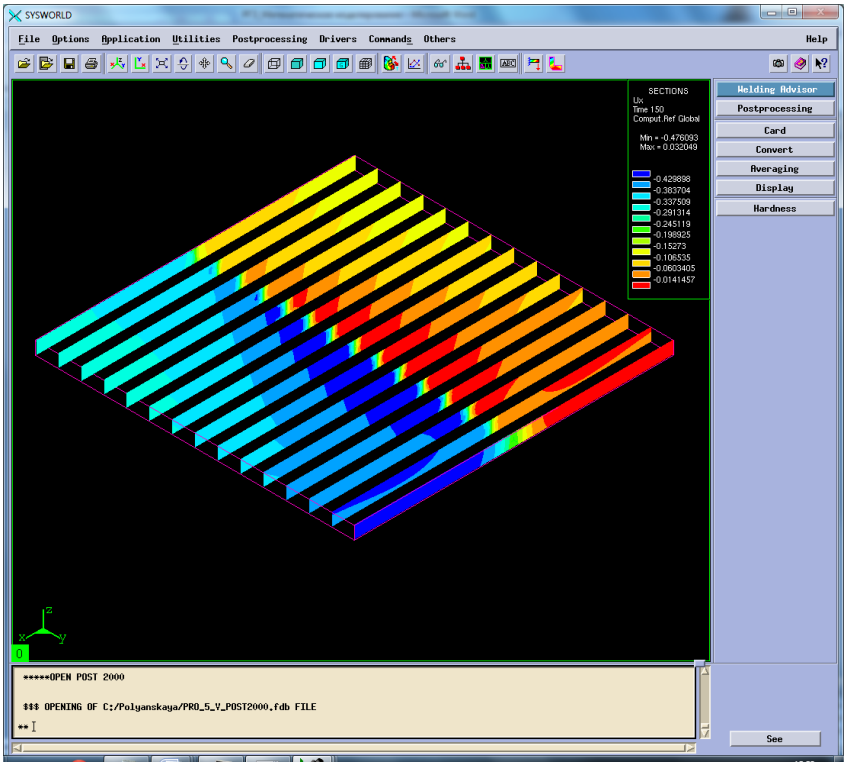


Рисунок 69. Разбиение на сечения.

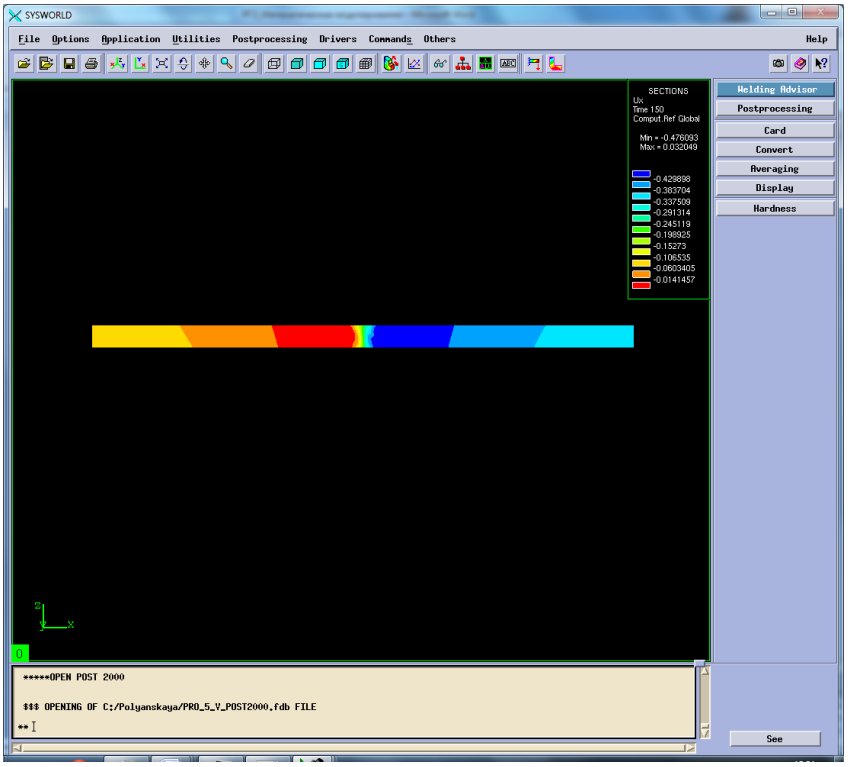


Рисунок 70. Сечение №7.

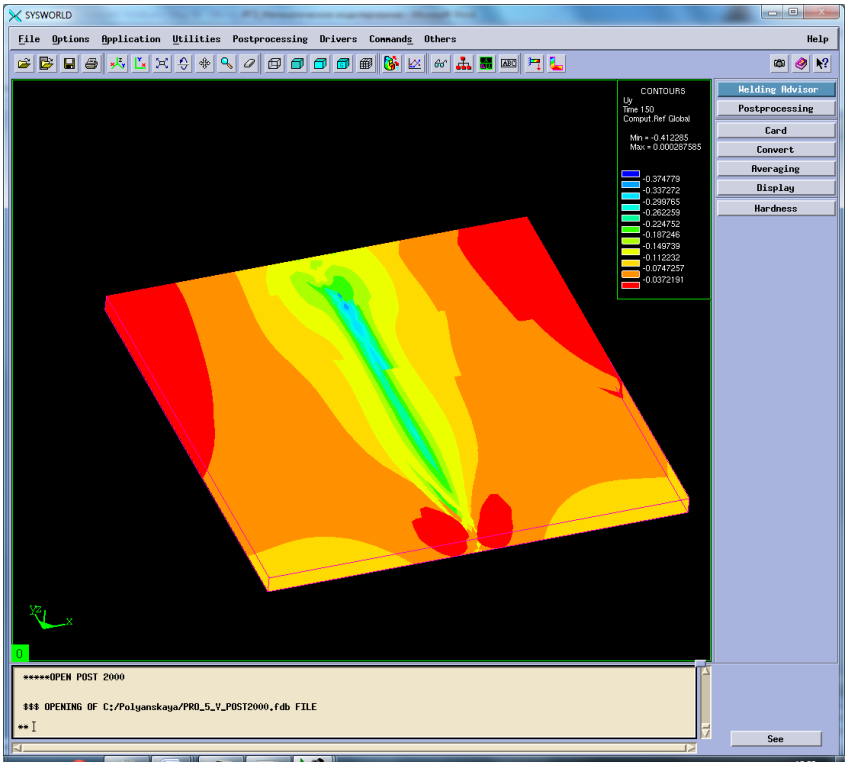


Рисунок 71. Деформация относительно ОУ.

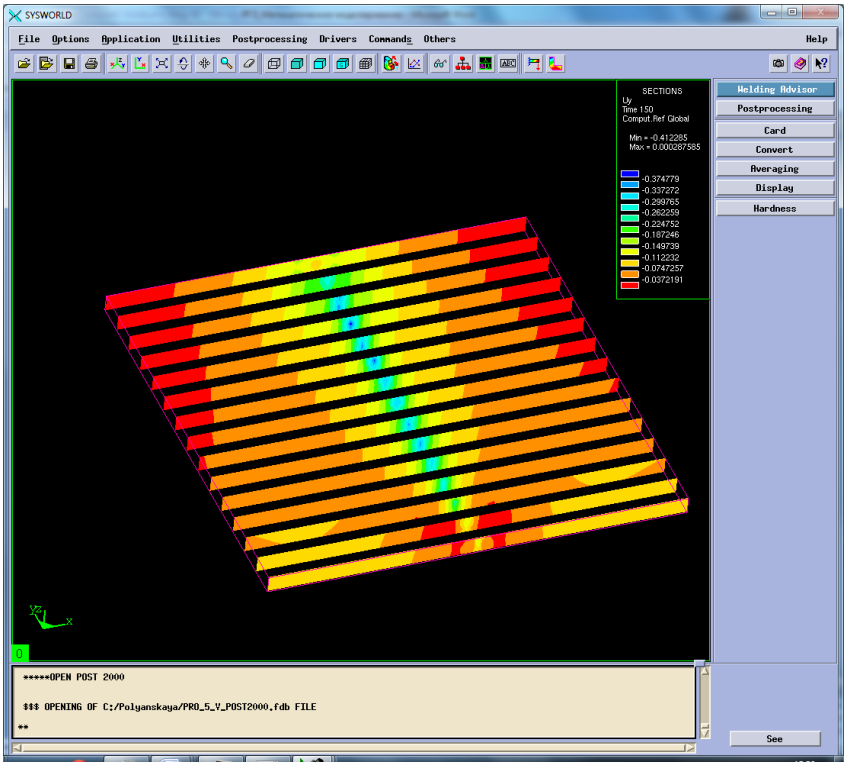


Рисунок 72. Разбиение на сечения.

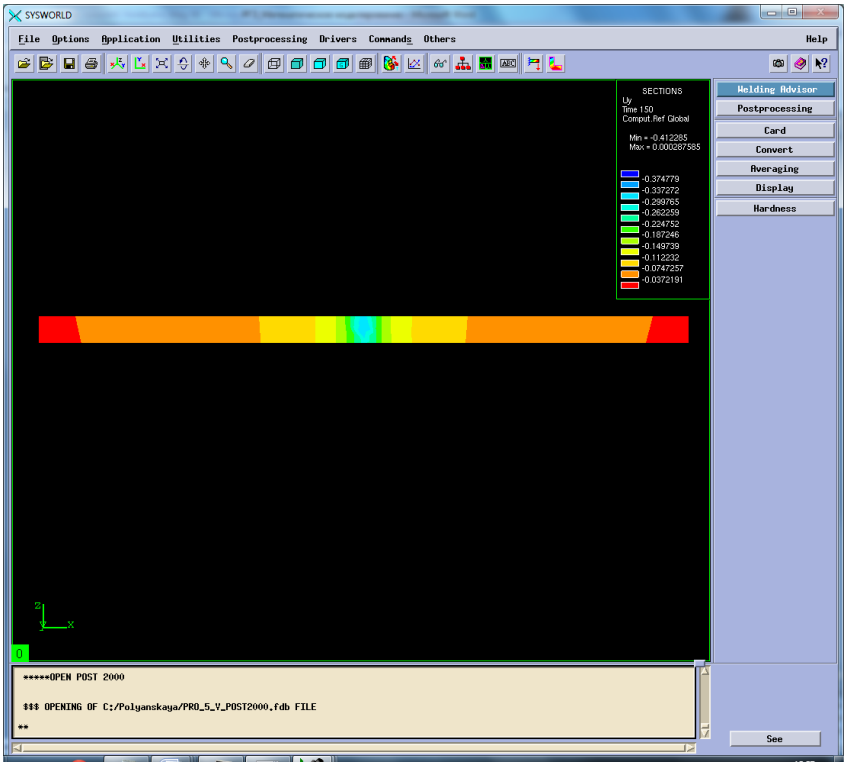


Рисунок 73. Сечение №7.

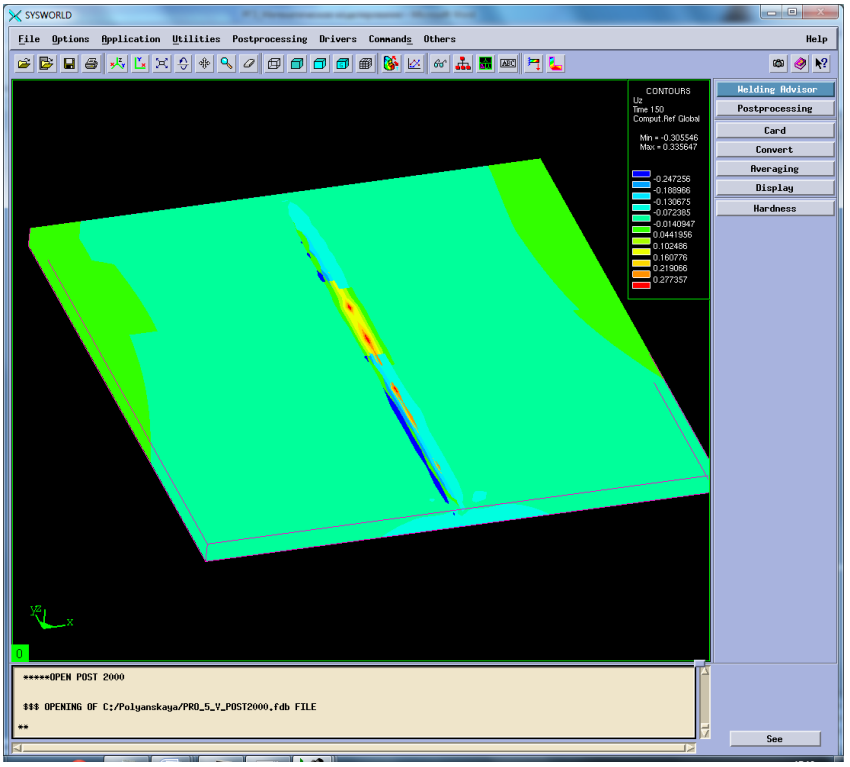


Рисунок 74. Деформация относительно OZ.

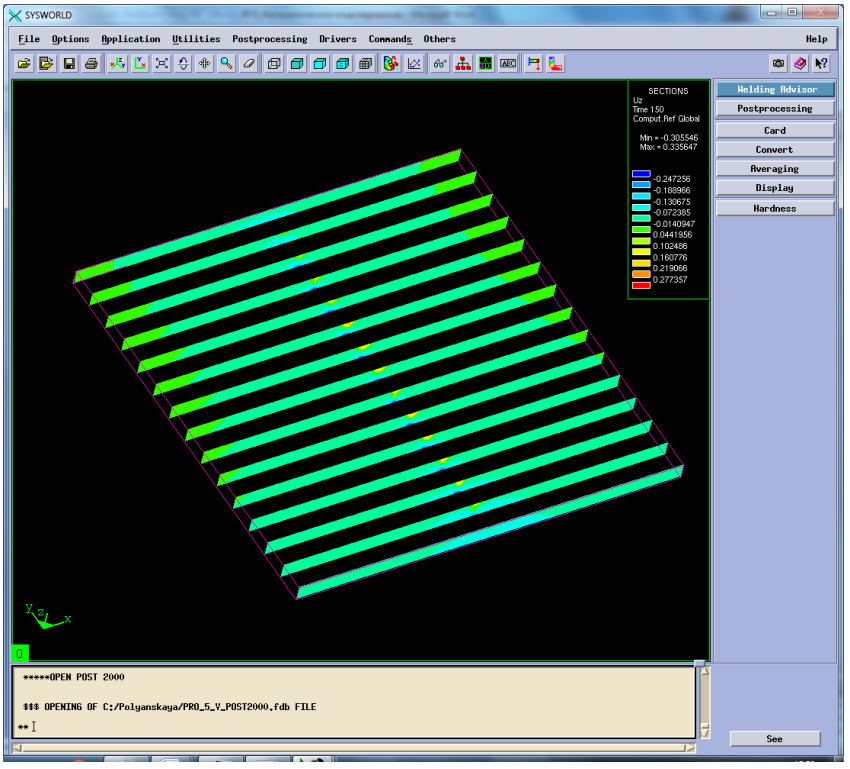


Рисунок 75. Разбиение на сечения.

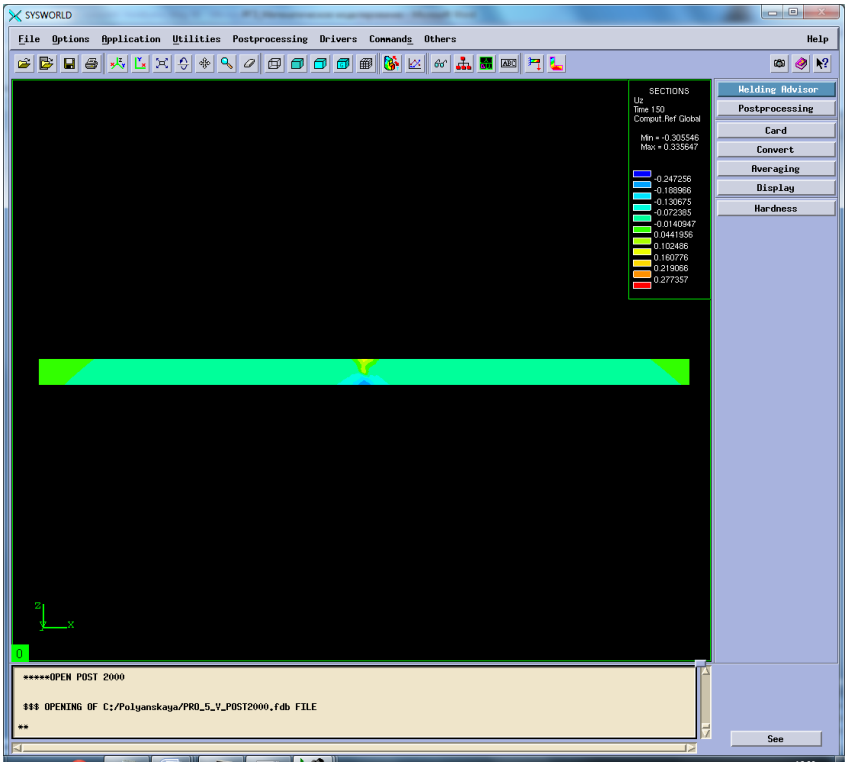


Рисунок 76. Сечение №6.

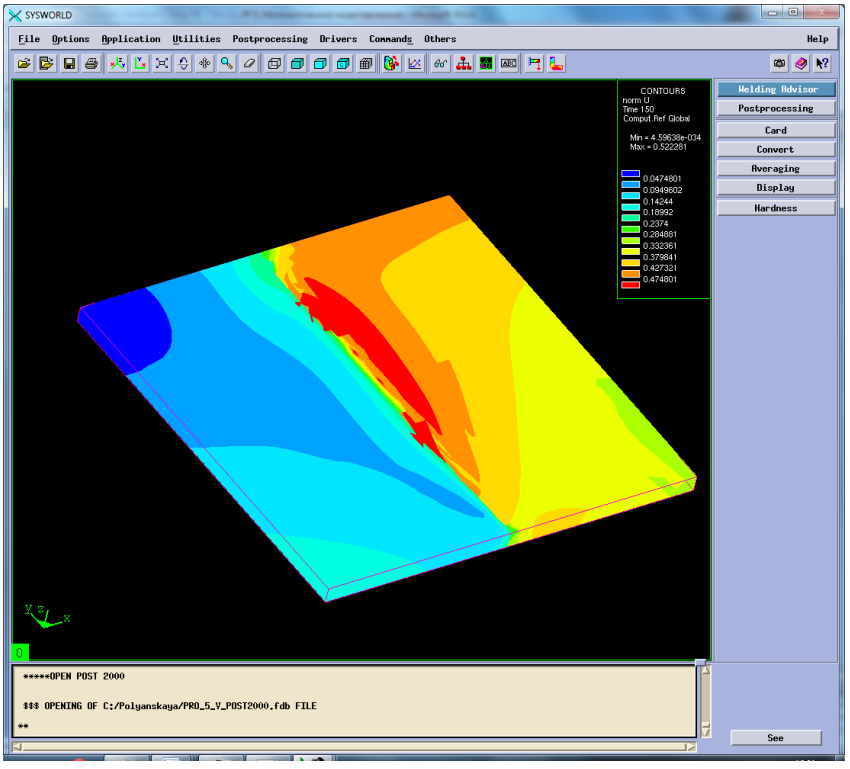


Рисунок 77. Нормальные деформации.

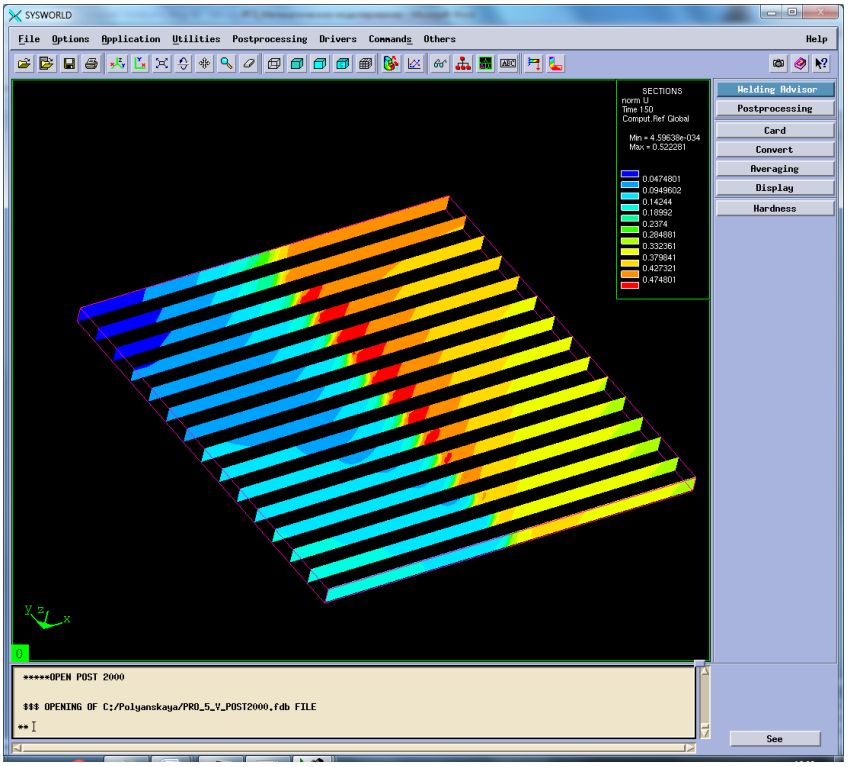


Рисунок 78. Разбиение на сечения.

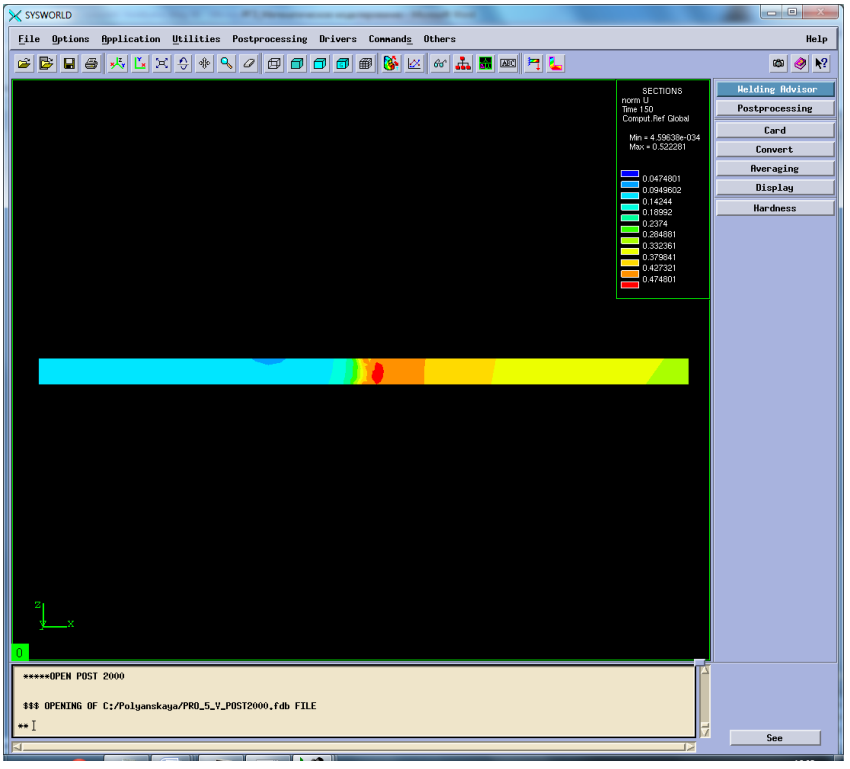


Рисунок 79. Сечение №7.

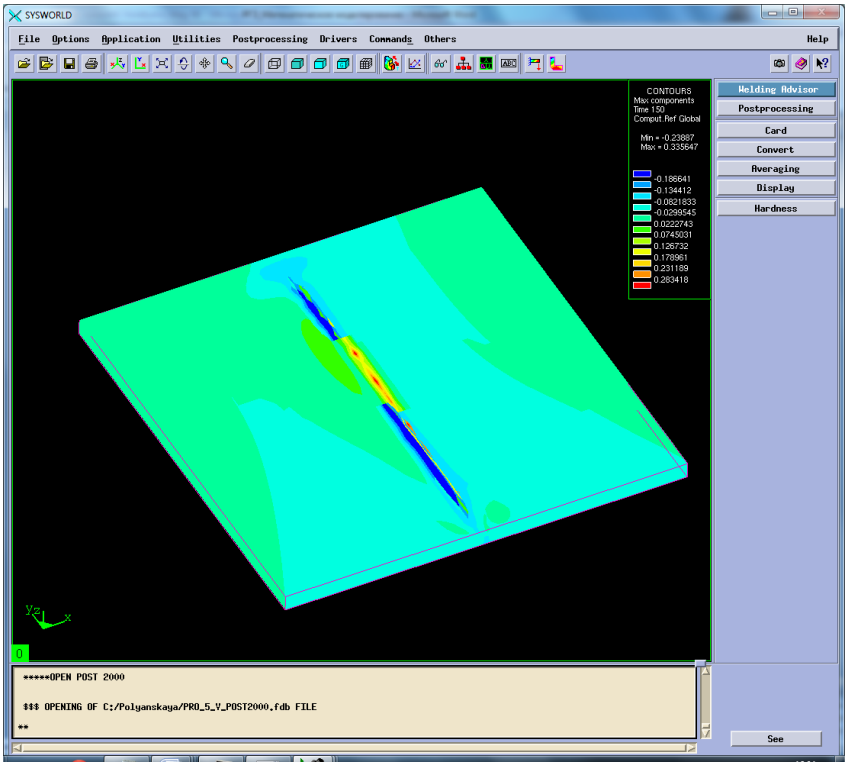


Рисунок 80. Максимальная результирующая деформация.

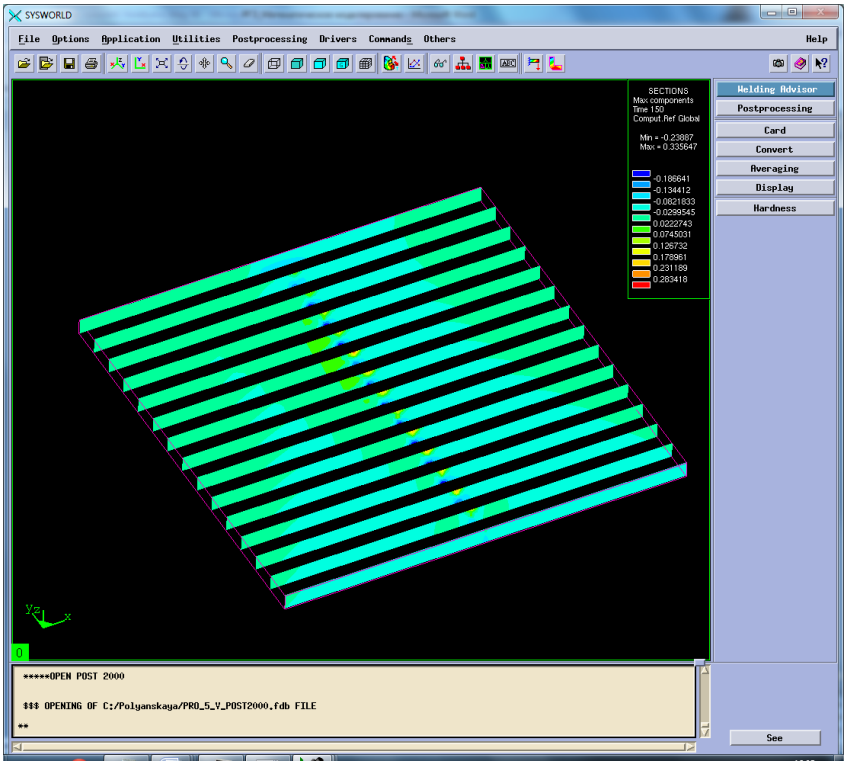


Рисунок 81. Разбиение на сечения.

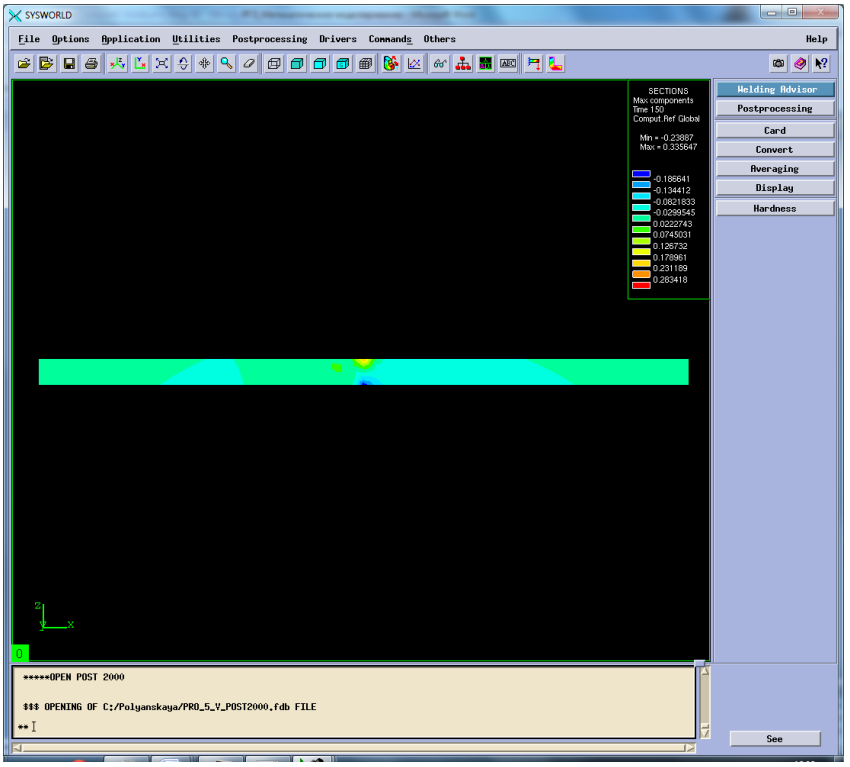


Рисунок 82. Сечение №7.

Сведем результаты в таблицу 8 (Таблица8).

Таблица 8 Результаты деформаций

	Max	Min
По оси OX	0.032	-0,476
По оси OY	0	-0,412
По оси OZ	0,335	-0.305
Нормализованная деформация	0.522	$4{,}59 \cdot 10^{-34}$
Максимальная результирующая деформация	0.335	-0.236

5.4. Напряжения

Рассмотрим напряжения сварного соединения. Sigma 11 – напряжение по оси OX, sigma 22 – напряжение по оси OY, sigma 33 – напряжение по оси OZ, von mises stress – напряжение по Мизесу (Рисунок 81-55).

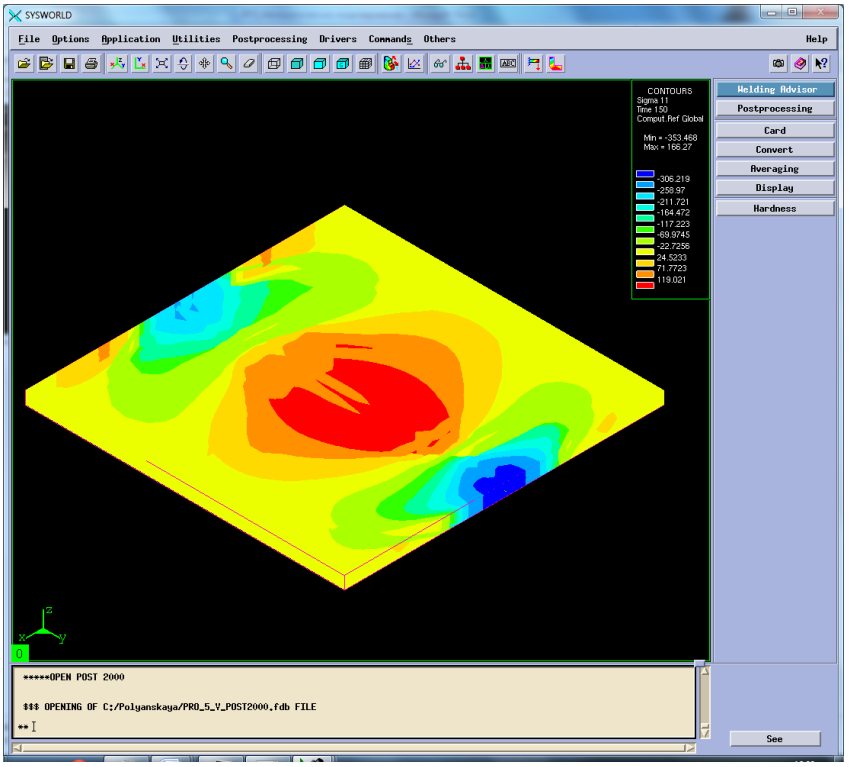


Рисунок 83. Напряжение относительно OX.

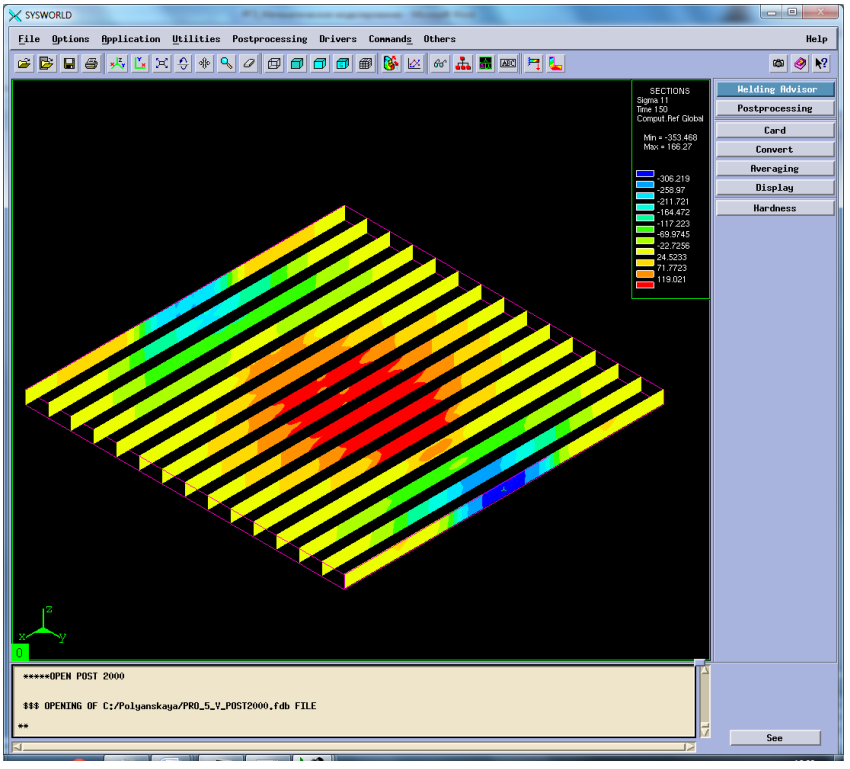


Рисунок 84.Разбиение на сечения.

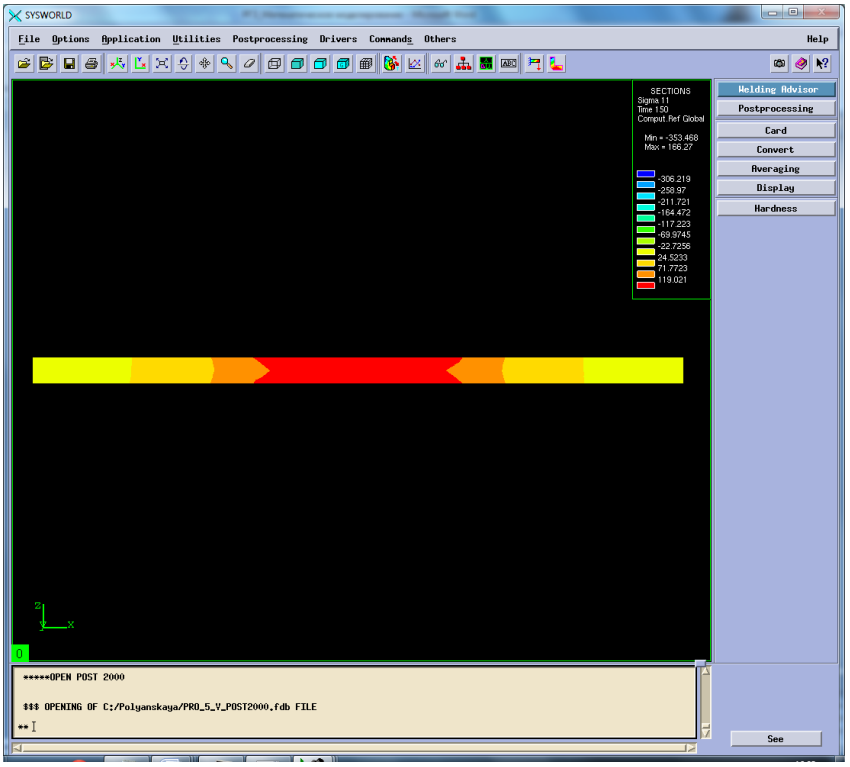


Рисунок 85. Сечение №7.

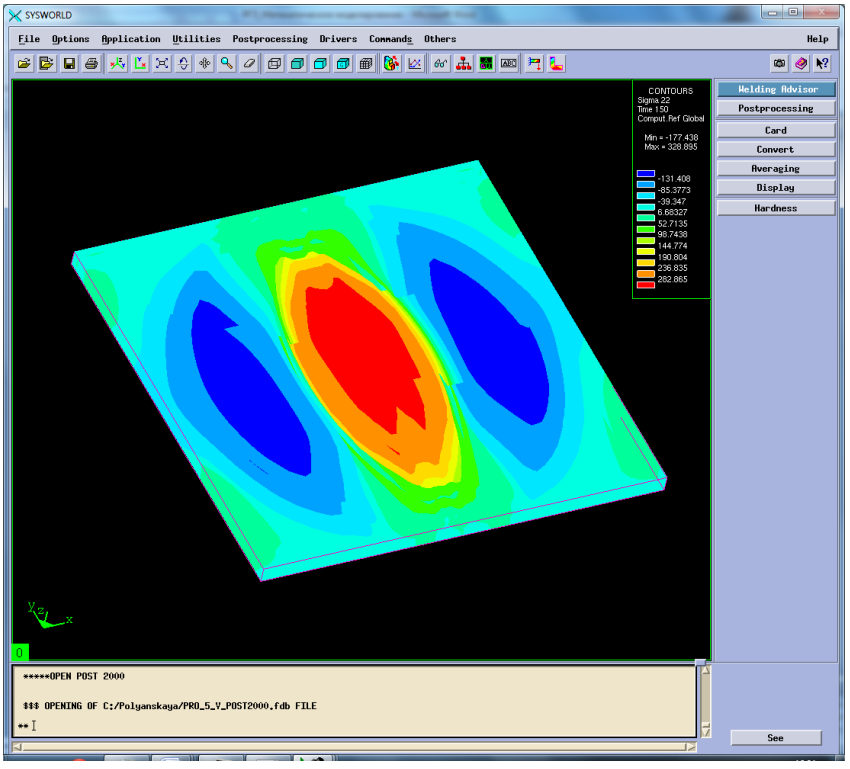


Рисунок 86. Напряжение относительно ОУ.

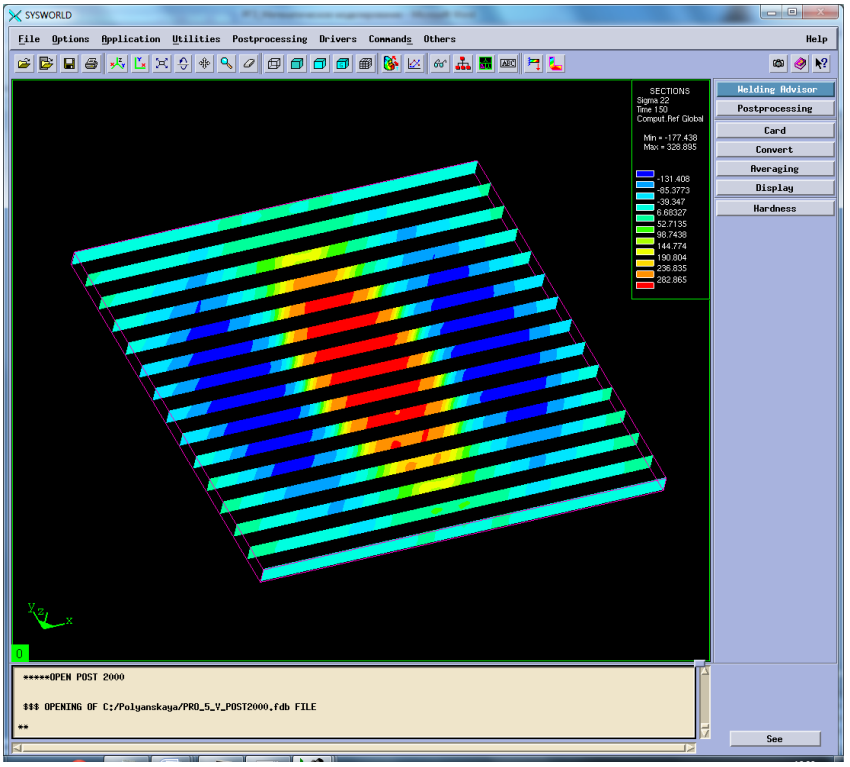


Рисунок 87. Разбиение на сечения.

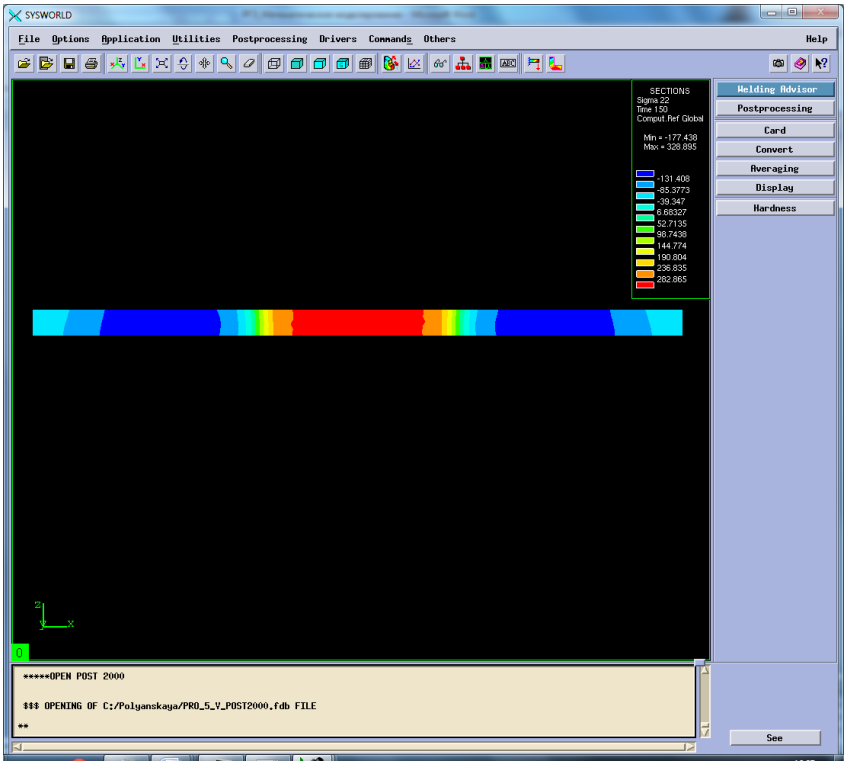


Рисунок 88. Сечение №7.

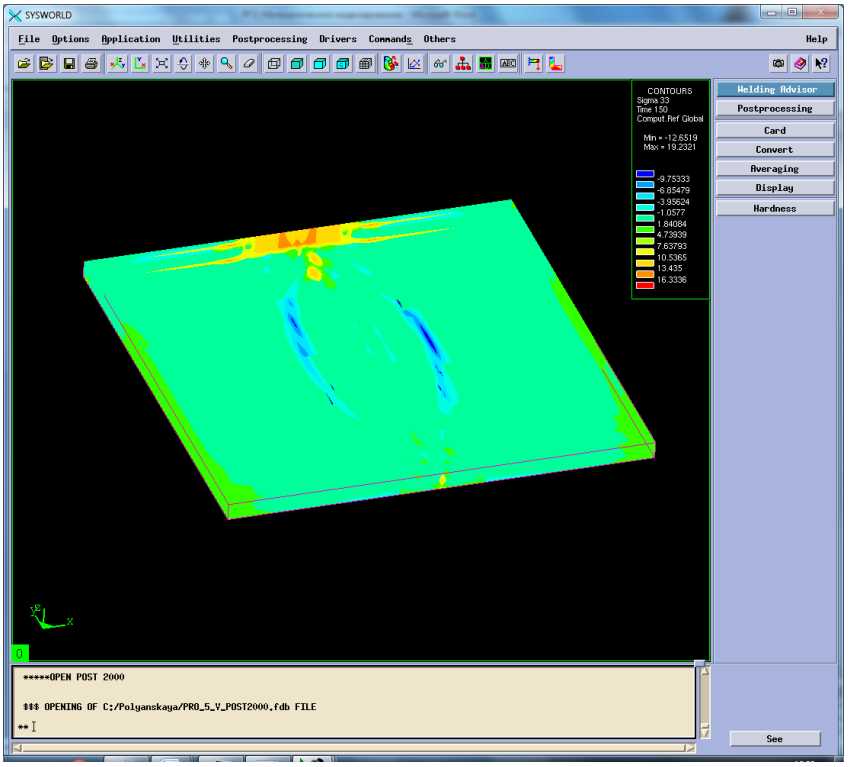


Рисунок 89. Напряжение относительно OZ.

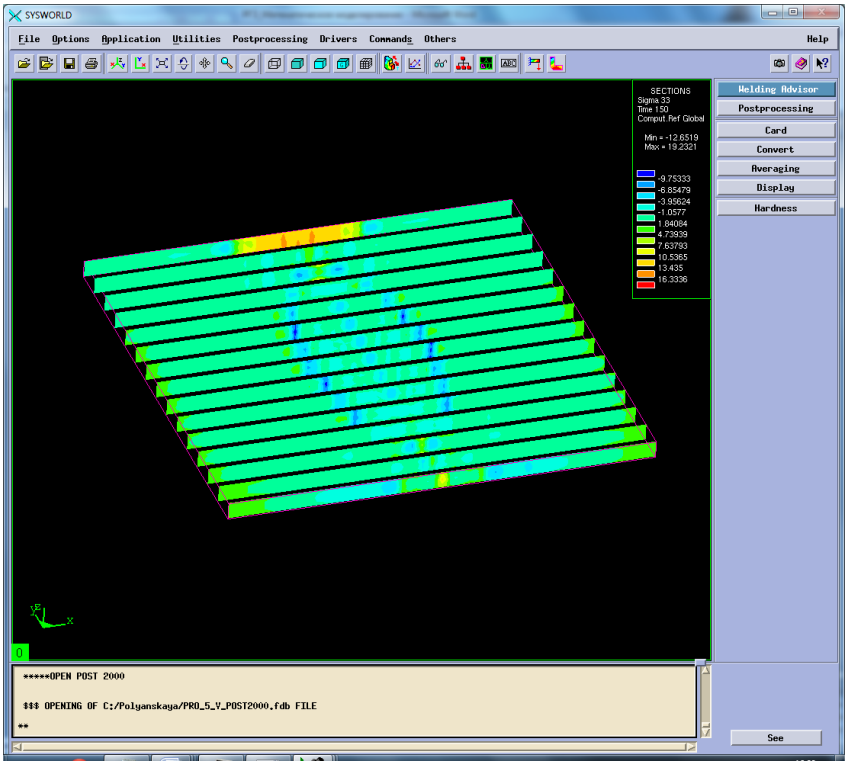


Рисунок 90. Разбиение на сечения.

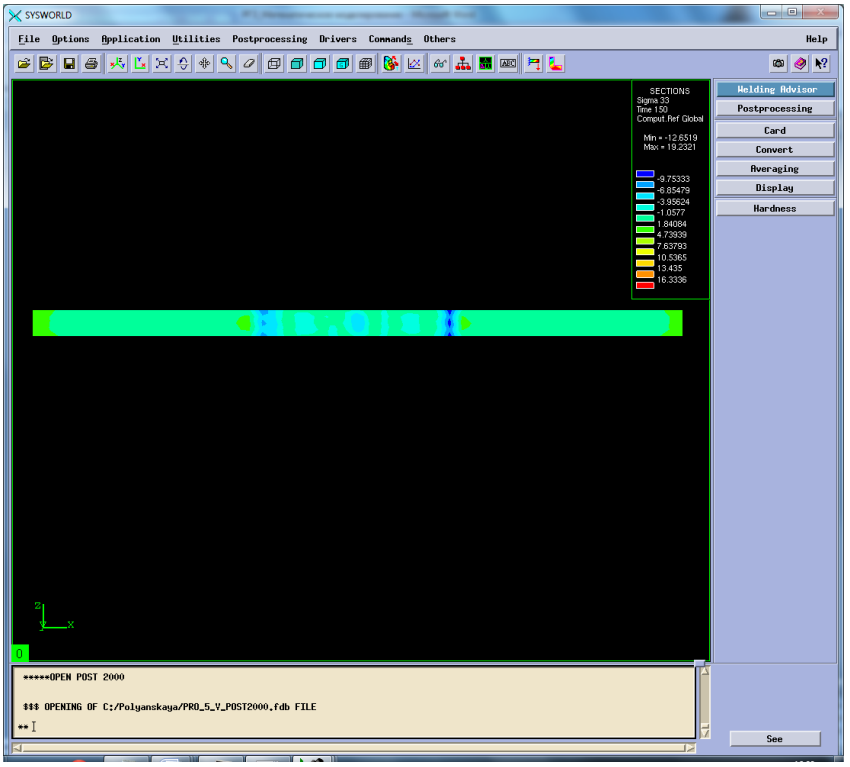


Рисунок 91. Сечение №7.

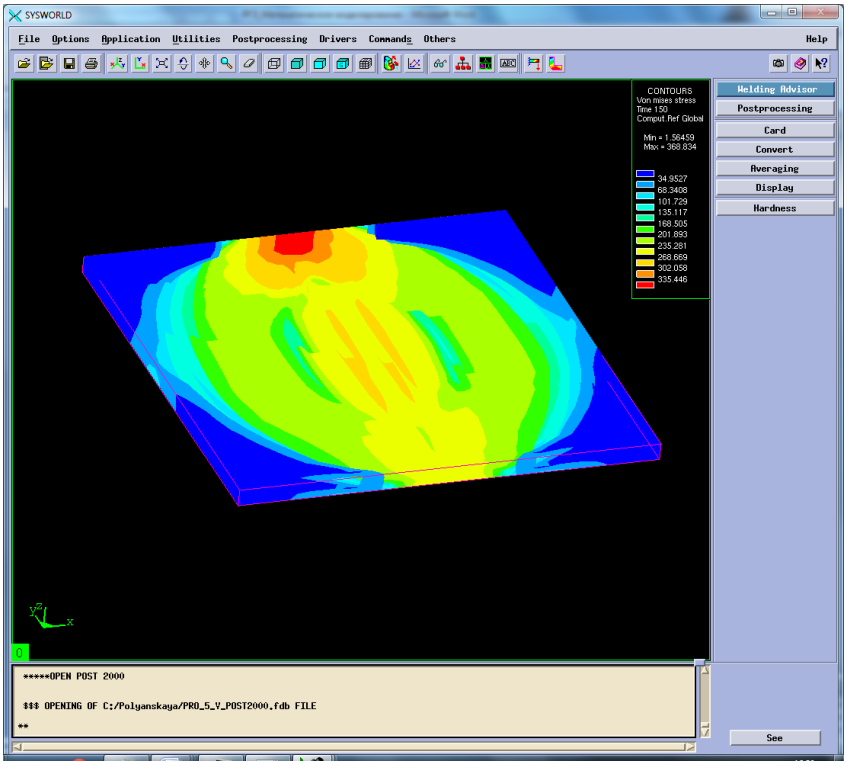


Рисунок 92. Напряжение по Мизесу.

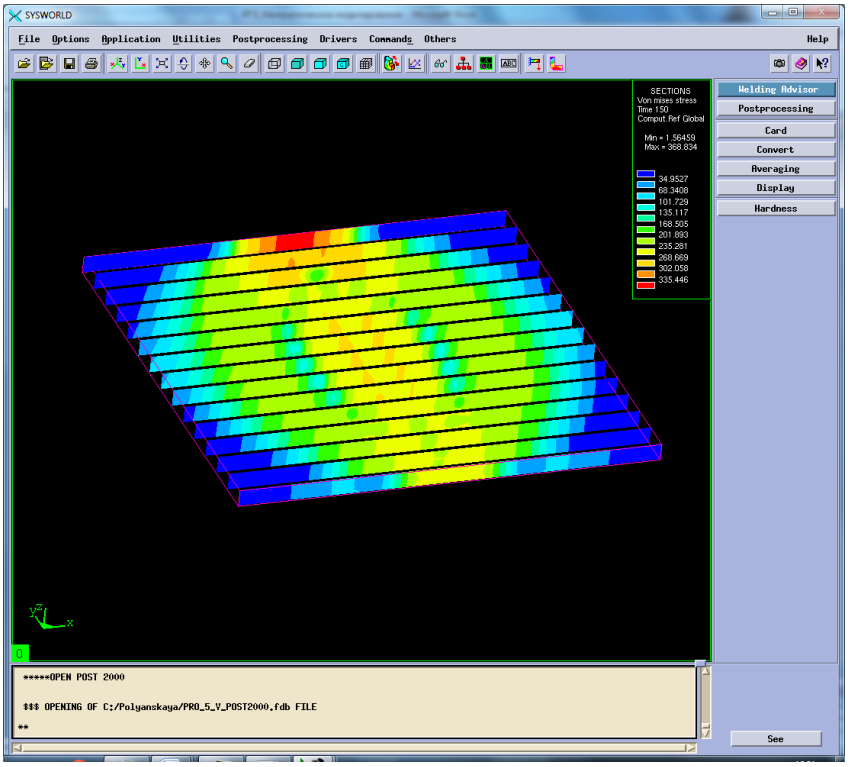


Рисунок 93. Разбиение на сечения.

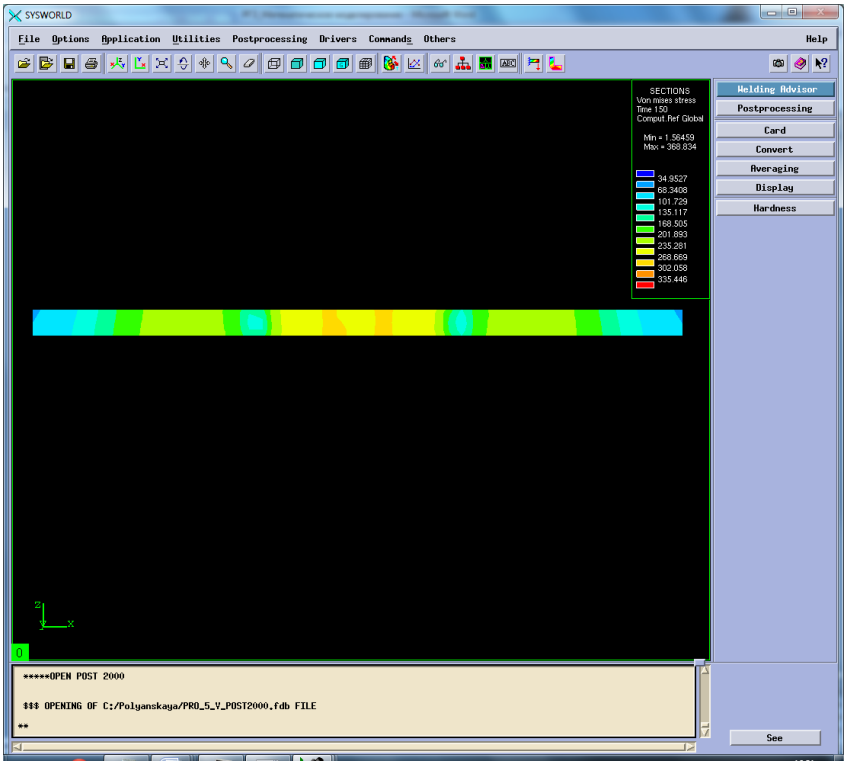


Рисунок 94. Сечение № 7.

Сведем результаты в таблицу 9.

Таблица 9. Результаты напряжений

	Напряжение растяжения	Напряжение сжатия
По оси OX	166,27	-353,46
По оси OY	328,89	-177,43
По оси OZ	19,23	-12,65

	Max	Min
Напряжение по Мизесу	368.384	1,565

6. Выводы

В ходе выполнения данной расчетно-графической работы были получены навыки по работе в программном продукте Syswold. Изучен основной алгоритм построения пространственно- временной функции и расчета температурных характеристик, деформаций и напряжений.

В результате был выявлен рациональный режим, при котором необходимо проводить процесс полуавтоматической контактной сварки в среде аргона, используя образцы из стали марки 12Х18Н10Т.

Данный режим обеспечивает *минимальные деформации*:

По оси OX -0,476

По оси OУ -0,412

По оси OZ -0,305

Нормальная деформация $4{,}59*10^{-34}$

Максимальная результирующая деформация -0,236

Минимальные напряжения:

По оси OX -353,46

По оси OУ -177,43

По оси OZ -12,65

Напряжения по Мизесу 1,565