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

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Моделирование технологических процессов», 7 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны средствами программных продуктов: 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" – 18…20 баллов; "хорошо" – 21…22 баллов; "отлично" – 23…24 баллов.

2. Критерии оценки

Работа считается ***не выполненной,*** если студент не освоил теоретический материал и не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет менее 18 баллов.

Р*абота считается выполненной на* ***пороговом уровне***, если студент освоил теоретический материал, но не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет 18…20 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 21…22 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 23…24 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.

Если в результате сдачи экзамена студент не набирает 26 баллов или с учетом сдачи экзамена его суммарный рейтинг (оценка на экзамене + оценка за выполнение практических работ + **оценка за выполнение и защиту РГЗ**) не превышает 49 баллов, ему выставляется оценка "неудовлетворительно" (FX) с возможностью пересдачи.

При пересдаче экзамена студент имеет возможность получить оценку не выше E ("удовлетворительно").

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.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется согласно таблице.

Таблица

98–100	93-97	90-92	87-89	83-86	80-82	77-79	73-76	70-72	67-69	63-66	60-62	50-59	25-49	0-24
A+	A	A-	B+	B	B-	C+	C	C-	D+	D	D-	E	FX	F
отлично				хорошо				удовлетворительно					неудовлетворительно	
зачтено													не зачтено	

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

Рекомендуемая структура и пример выполненного расчетно-графического задания

1. Исходные данные:

Типовой технологический процесс (сварка, термообработка и т.д.). Технологические режимы обработки.

Пример заданий:

1.1 Найти рациональные режимы электродуговой сварки. *Тавровое соединение*. Материал свариваемых пластин – *нержавеющая сталь*.

1.2 Найти рациональные режимы электродуговой сварки. *Тавровое соединение*. Материал свариваемых пластин – *малоуглеродистая сталь*.

1.3 Найти рациональные режимы аргонодуговой сварки. *Сварка встык*. Материал свариваемых пластин – *алюминиевый сплав*.

1.4 Найти рациональные режимы аргонодуговой сварки. *Труба встык*. Материал свариваемых пластин – *алюминиевый сплав*.

1.5 Найти рациональные режимы лазерной сварки. *Сварка встык*. Материал свариваемых пластин – *малоуглеродистая сталь*.

1.6 Найти рациональные режимы лазерной сварки. *Тавровое соединение*. Материал свариваемых пластин – *малоуглеродистая сталь*.

1.7 Найти рациональные режимы лазерной сварки. *Труба встык*. Материал свариваемых пластин – *алюминиевый сплав*.

Задание:

Выполнить в конечно-элементном комплексе Sysweld моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) материала в условиях соответствующего технологического процесса и определить рациональные режимы обработки.

2. Основная часть работы:

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.

Контроль выполнения РГЗ проводится в семестре на каждом практическом занятии.

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

Для достижения поставленной цели не обходимо решить следующие задачи:
В конечно-элементном комплексе Sysweld посредством использования мастера сварки Welding Advisor выполнить расчет напряженно-деформированного состояния материала в условиях электродуговой сварки.

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.

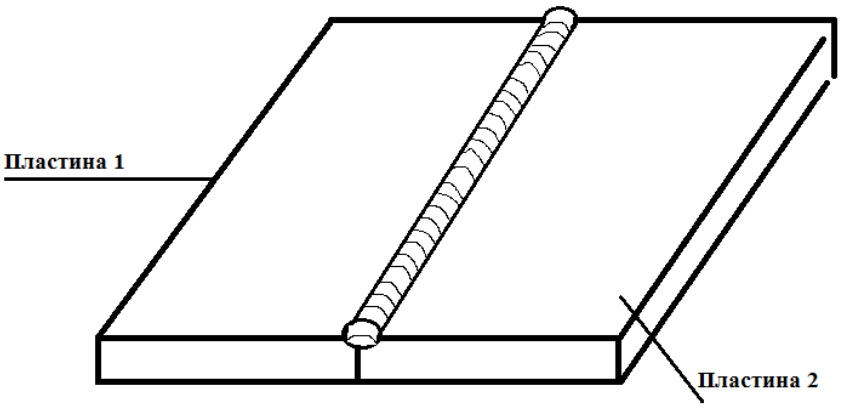


Рисунок 1.Условное изображение стыкового соединения.

1.2.Написать программу и выполнить расчет в программной среде Sysweld 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.

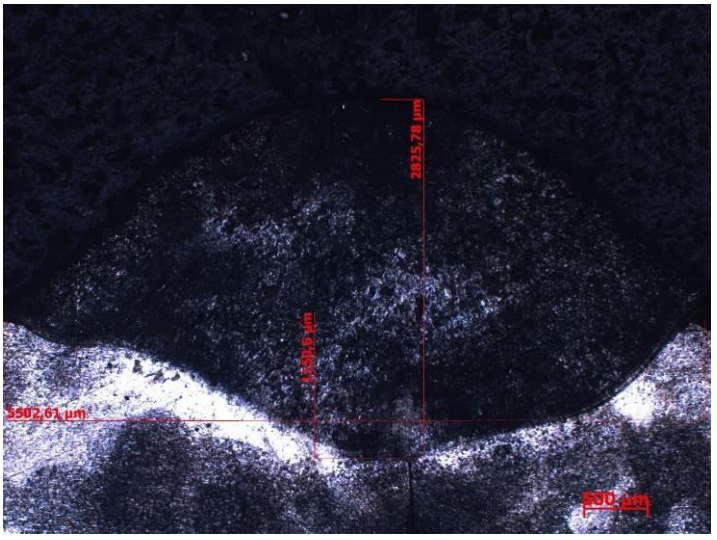


Рисунок 3. Микроструктура сварного шва.

3.1Создание сетки

Выбираем Application-Welding Advisor- Heat imput fitting. В открывшемся окне выбираем 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).

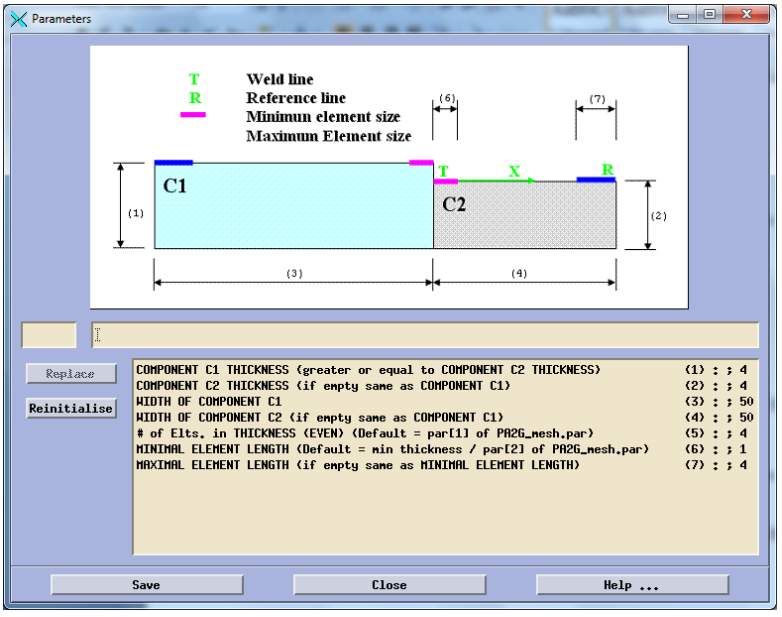


Рисунок 4. Параметры 2D сетки.

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

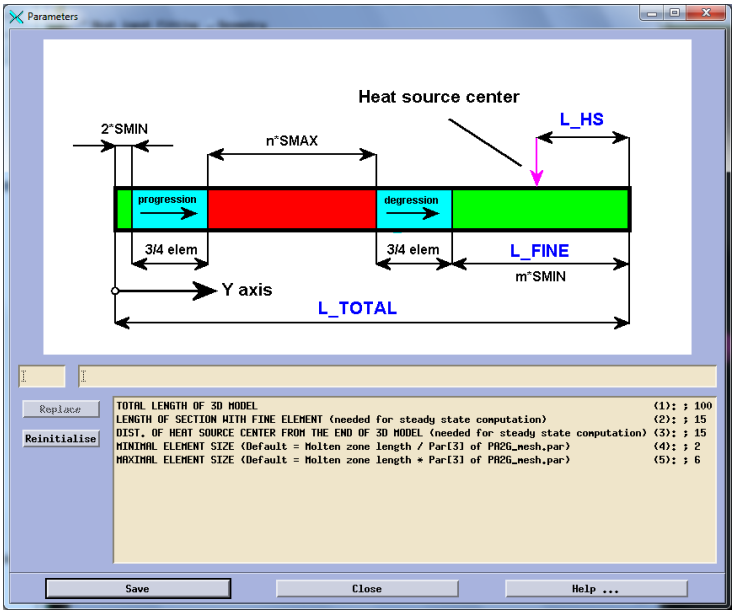


Рисунок 5. Параметры 3D сетки.

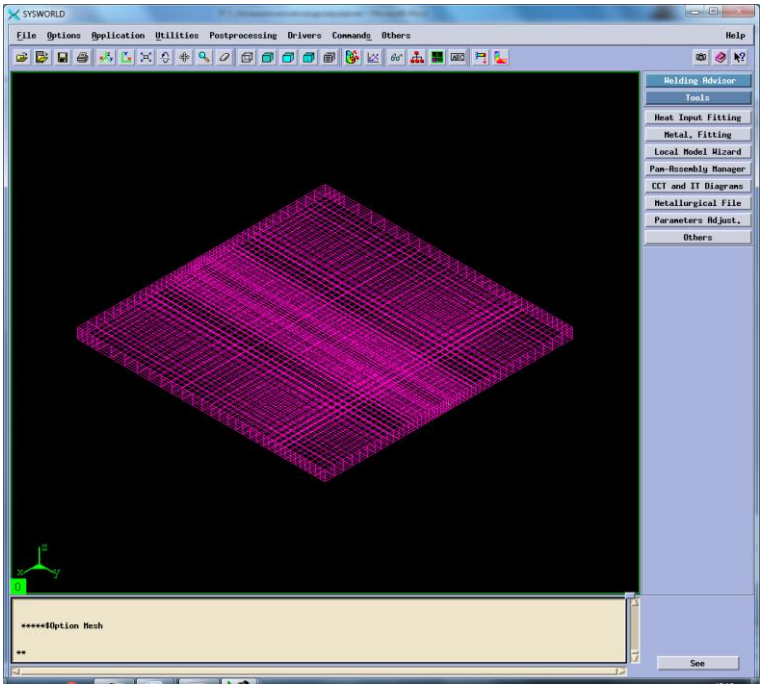


Рисунок 6. Модель сетки.

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).

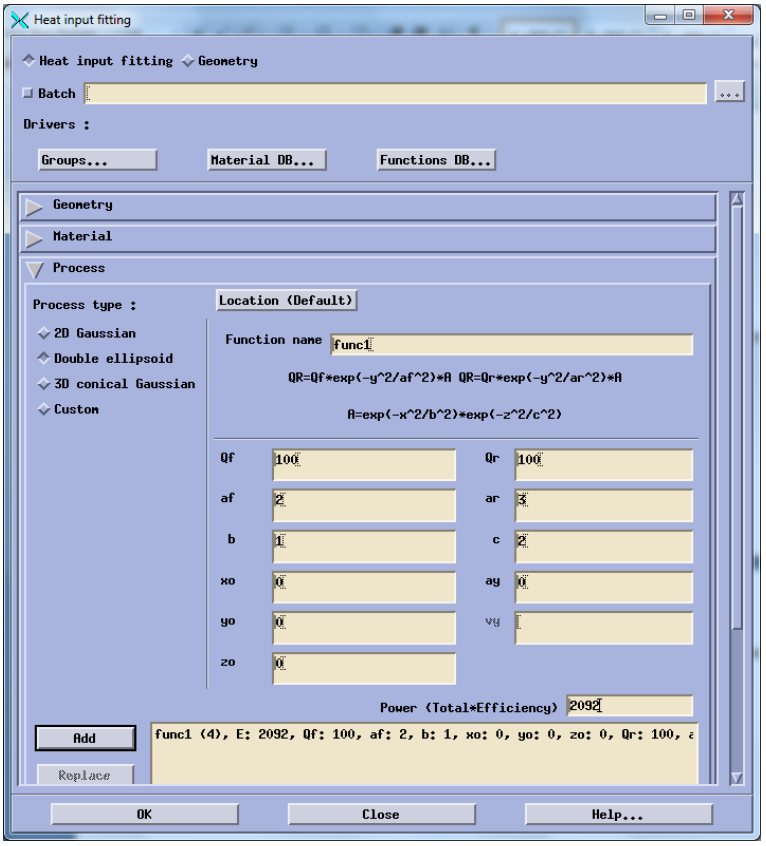


Рисунок 7. Создание функции.

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.

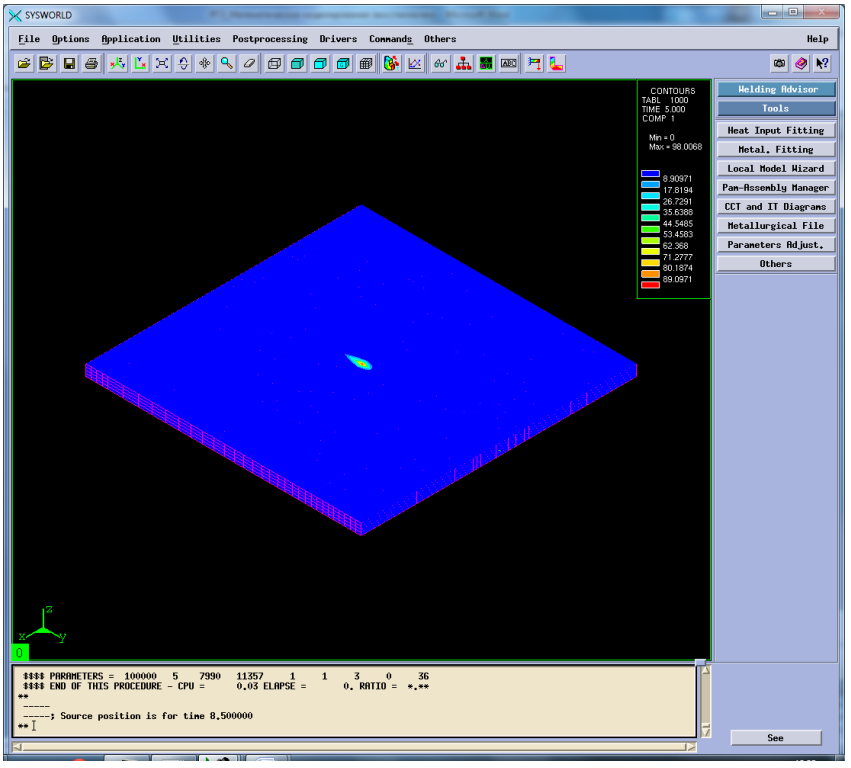


Рисунок 8.Источик нагрева в середине процесса

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

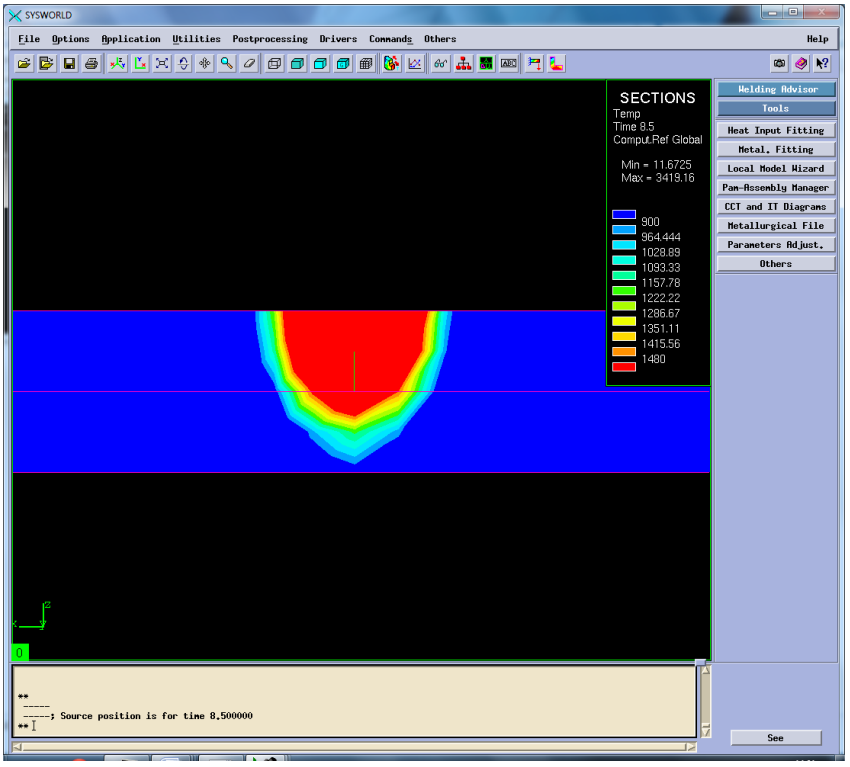


Рисунок 9. Макрофотография сварного шва натурного эксперимента.

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)

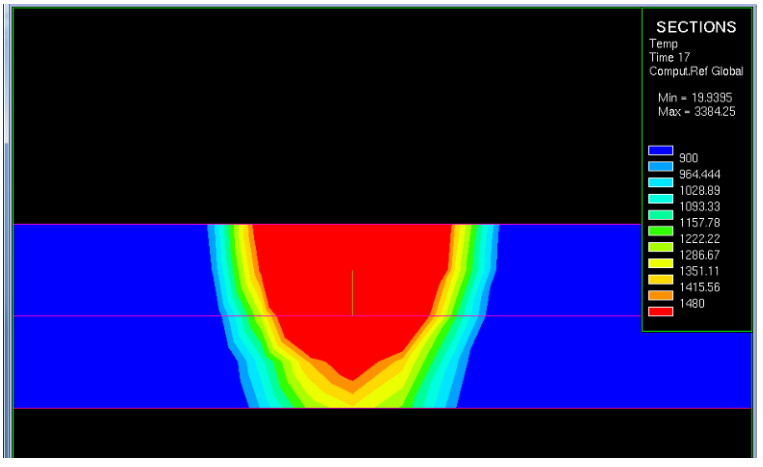


Рисунок10. Макрофотография соответствует функции №2.

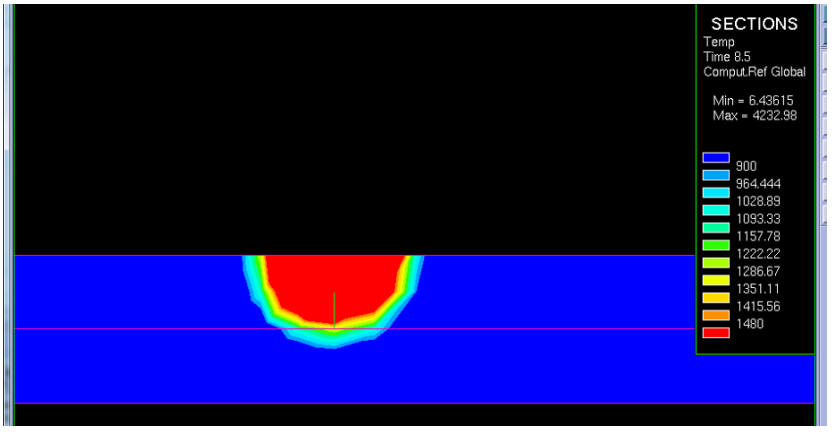


Рисунок 11. Макрофотография соответствует функции №3.

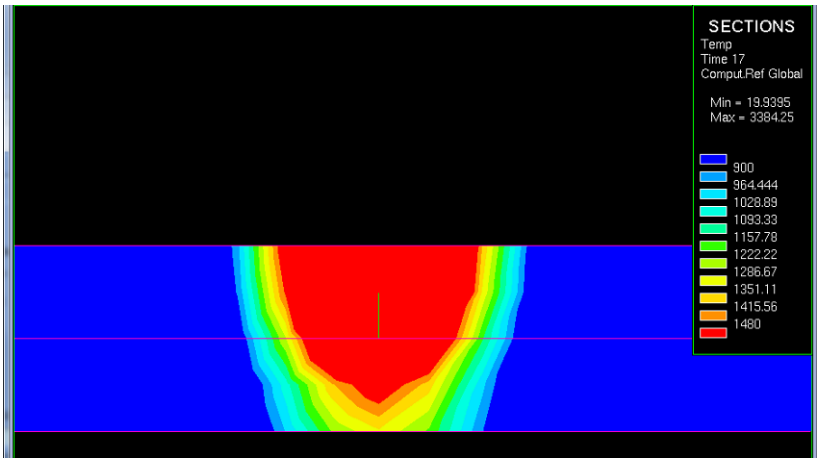


Рисунок 12. Макрофотография соответствует функции №4.

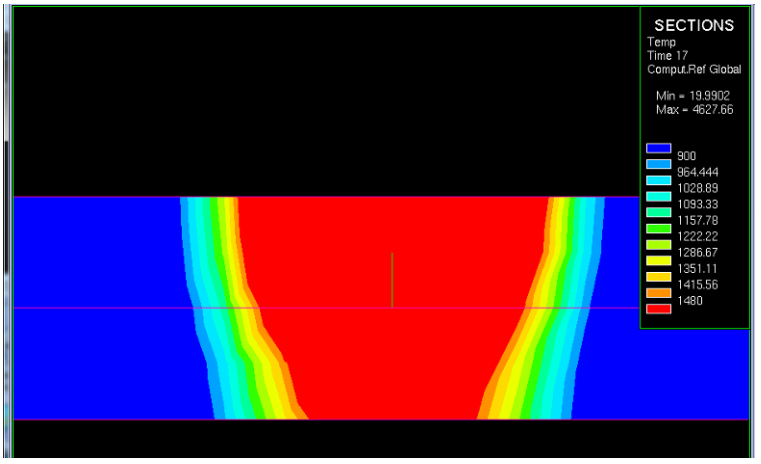


Рисунок 13. Макрофотографии соответствует функции №5.

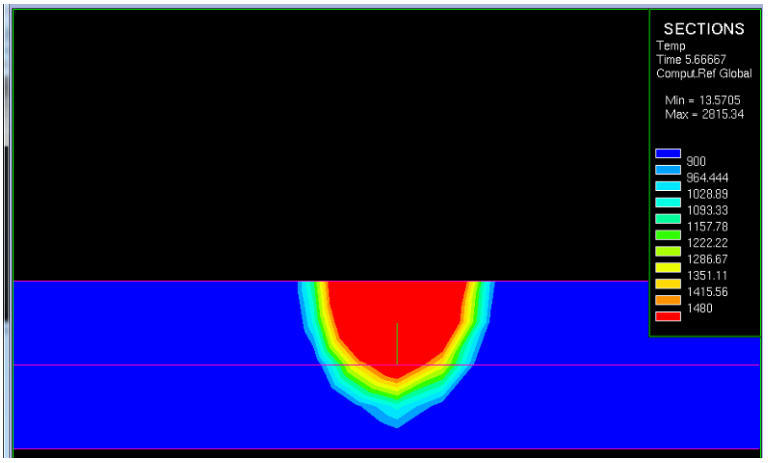


Рисунок 14. Макрофотографии соответствует функции №6.

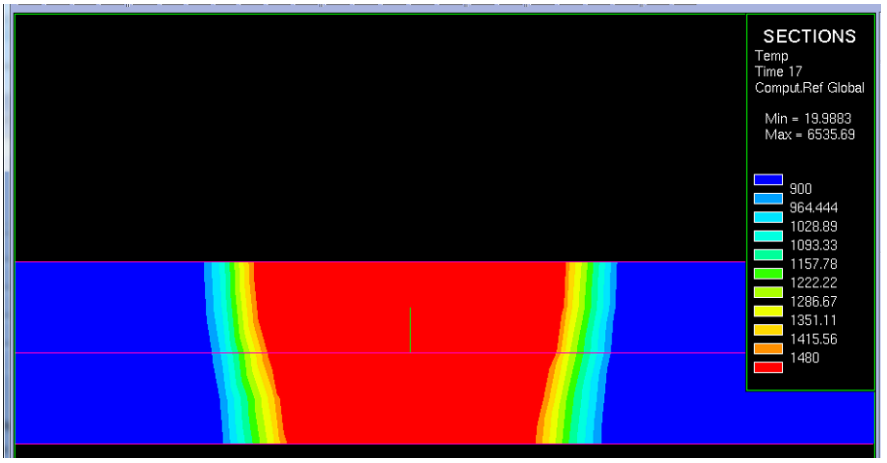


Рисунок15. Макрофотографии соответствует функции №7.

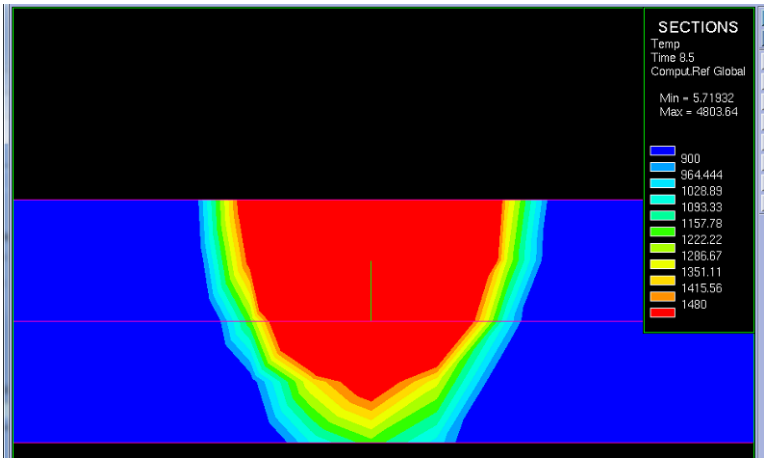


Рисунок 16. Макрофотографии соответствует функции №8.

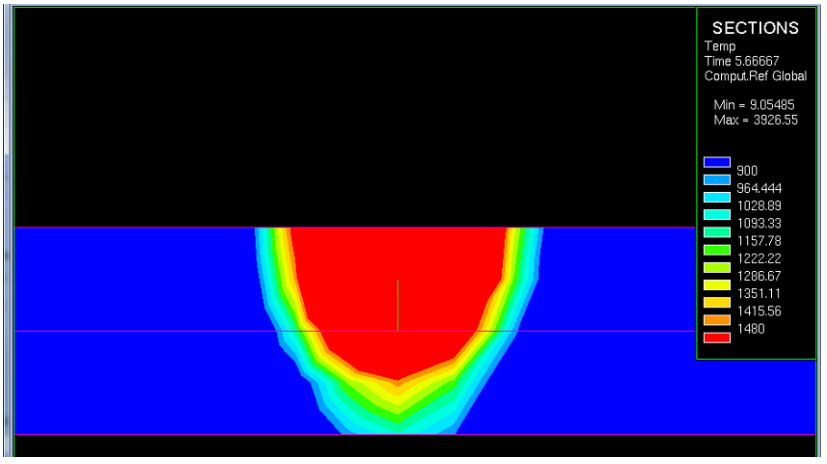
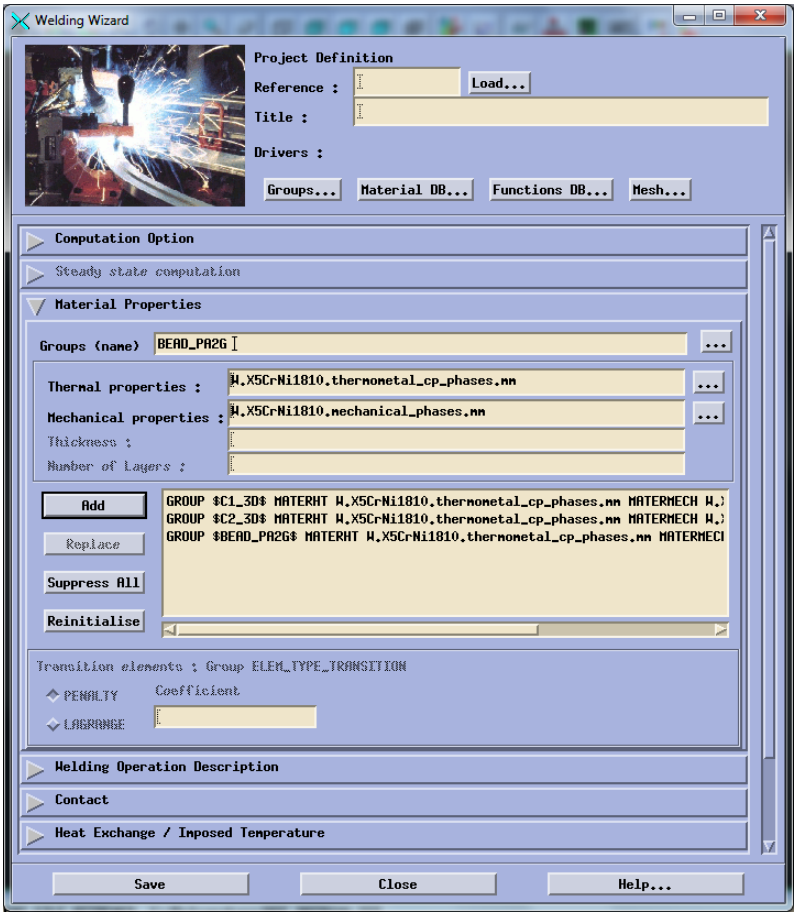


Рисунок 17. Макрофотографии соответствует функции №9.

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)

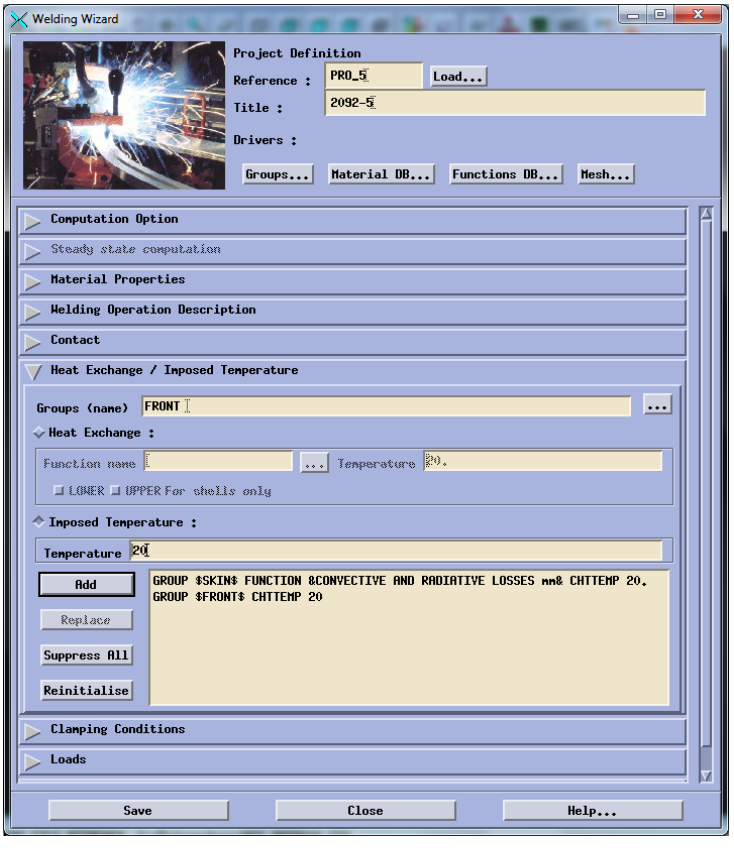


Рисунок 19. Данные Heat Exchange.

Заполняем вкладку Clamping Conditions (Рисунок20).

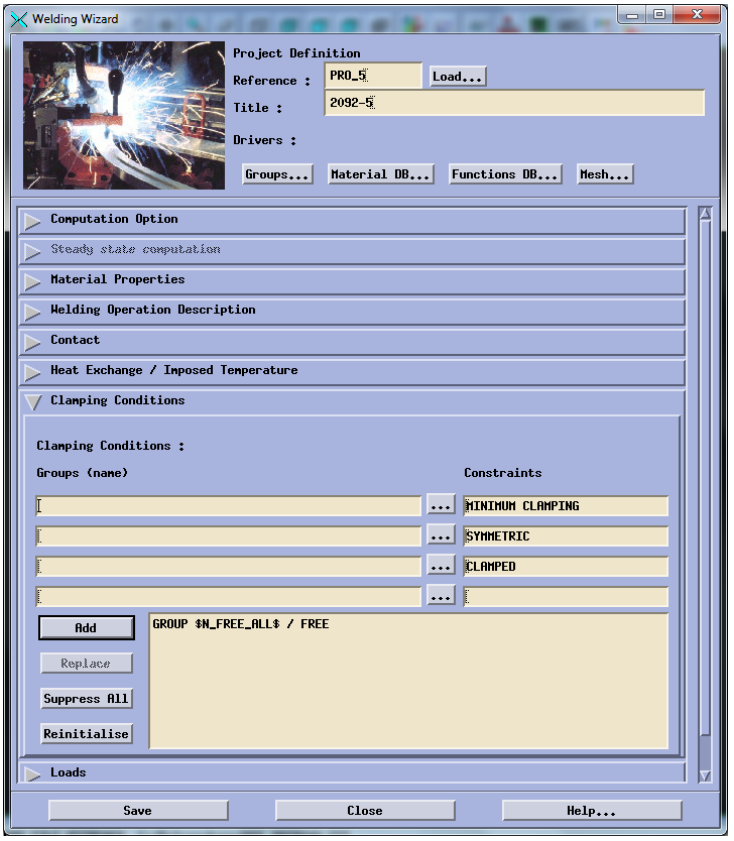


Рисунок 20. Данные Clamping Conditions.

Заполняем вкладку Solve Parameters(Рисунок21).

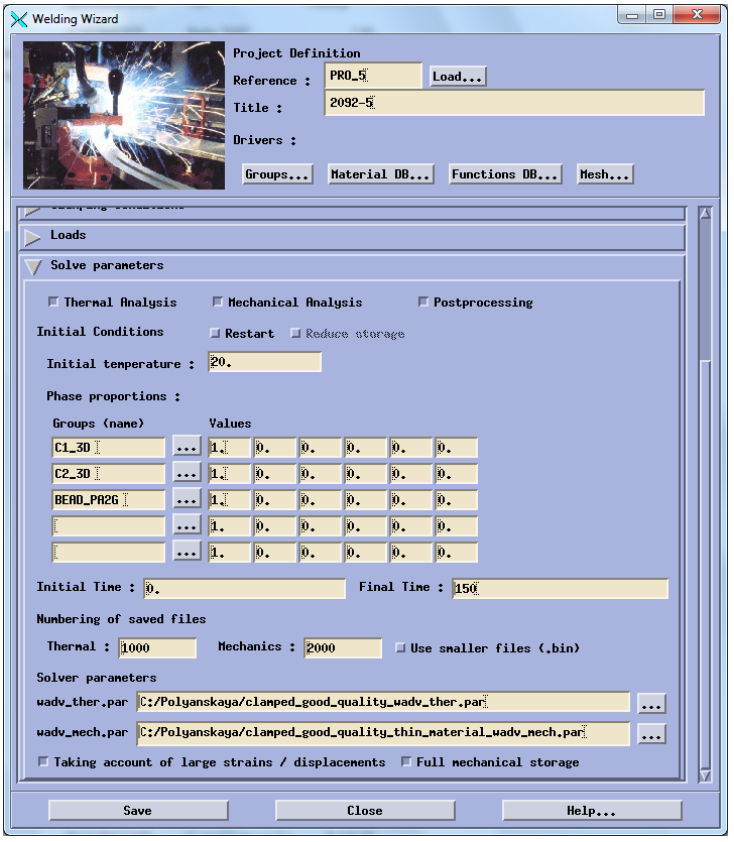


Рисунок 21. Данные Solve Parameters.

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).

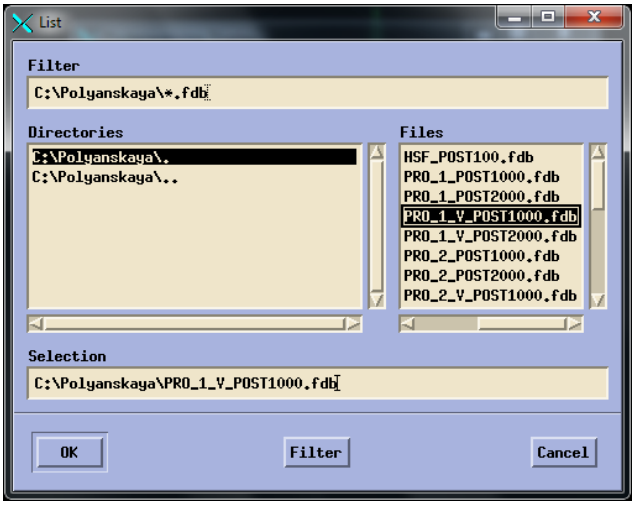


Рисунок 22. Подгрузка файла.

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

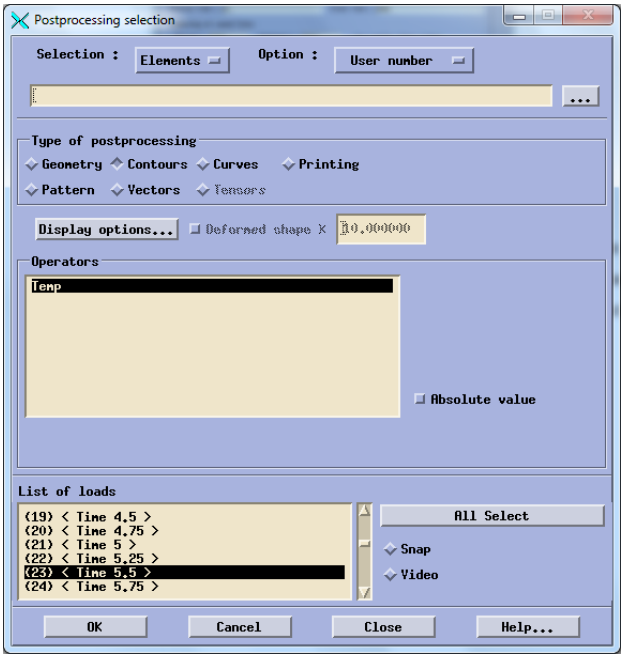


Рисунок23. Выбор данных для расчета температурных характеристик.

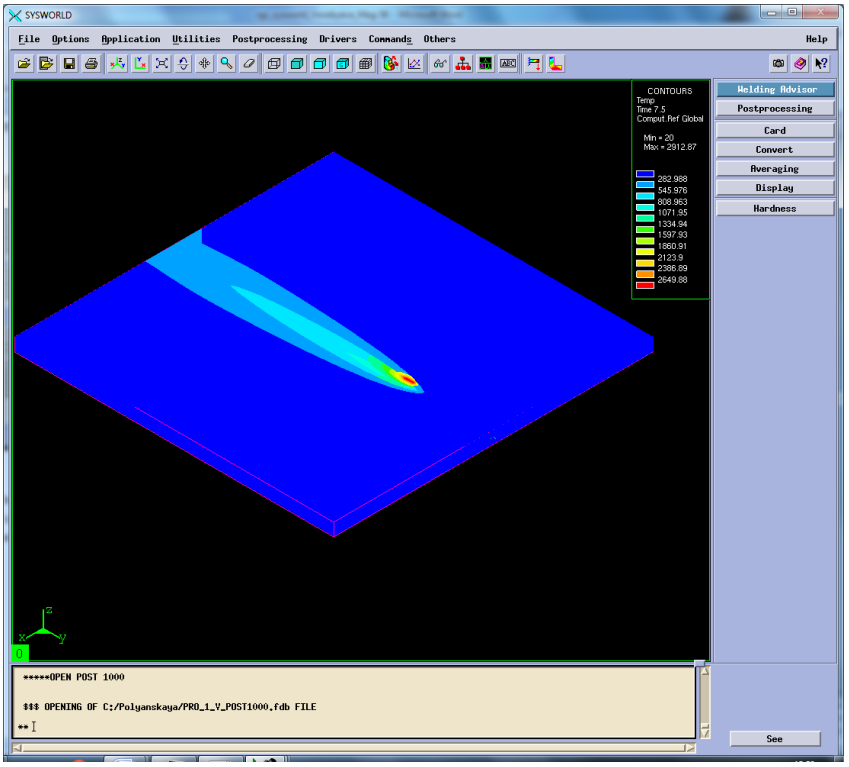


Рисунок 24. Отображение тепловых характеристик.

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

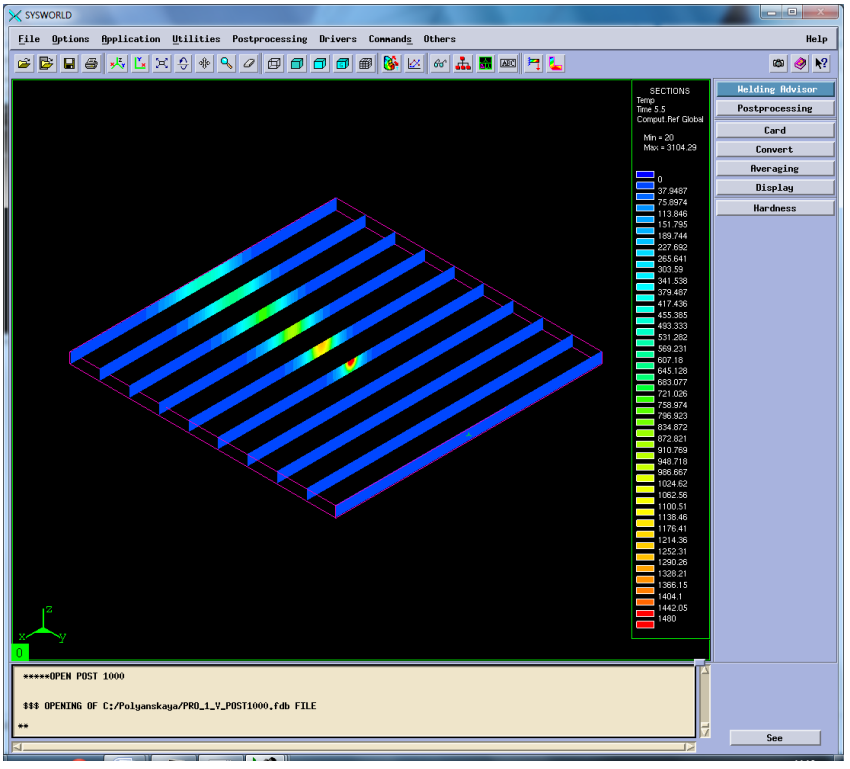


Рисунок 25. Разбиение на сечения.

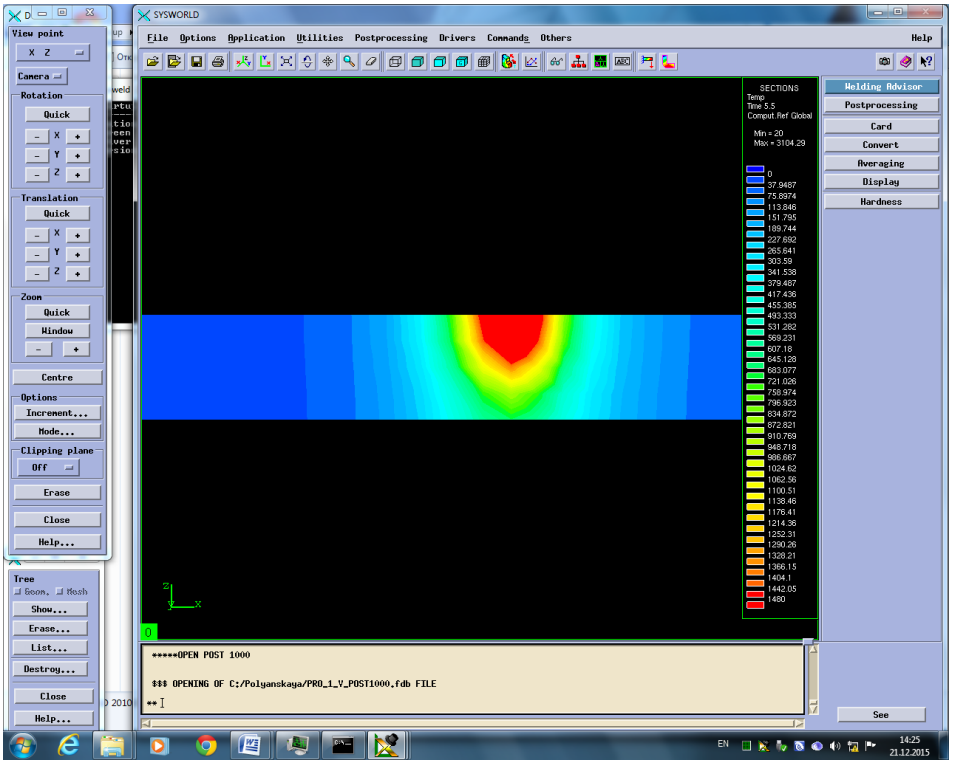


Рисунок 26. Сечение №5.

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).

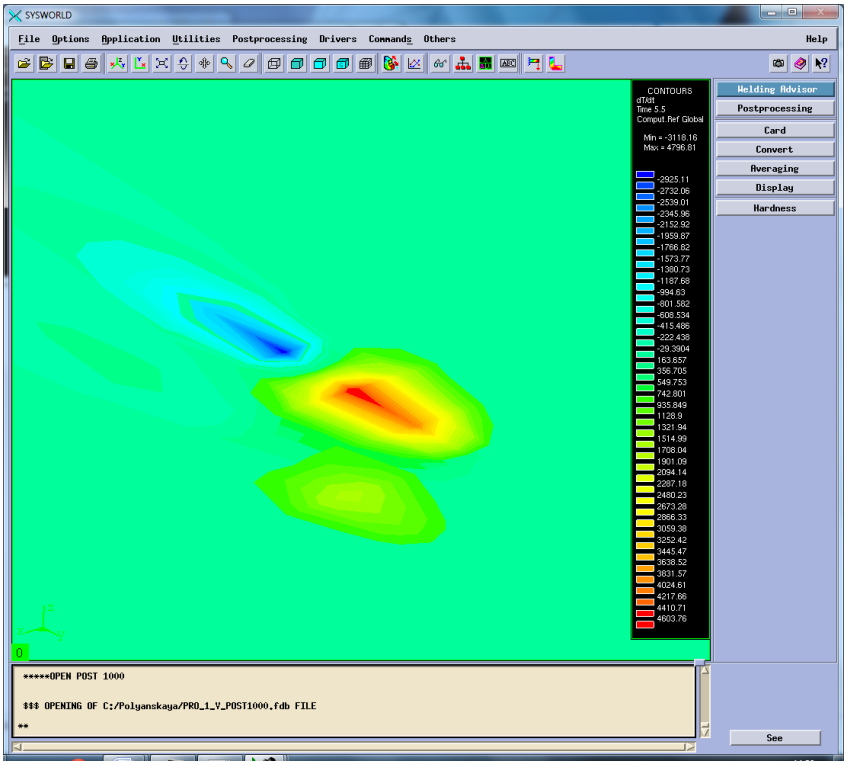


Рисунок 27. Сварное соединение, время и максимальные скорости охлаждения и нагрева.

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).

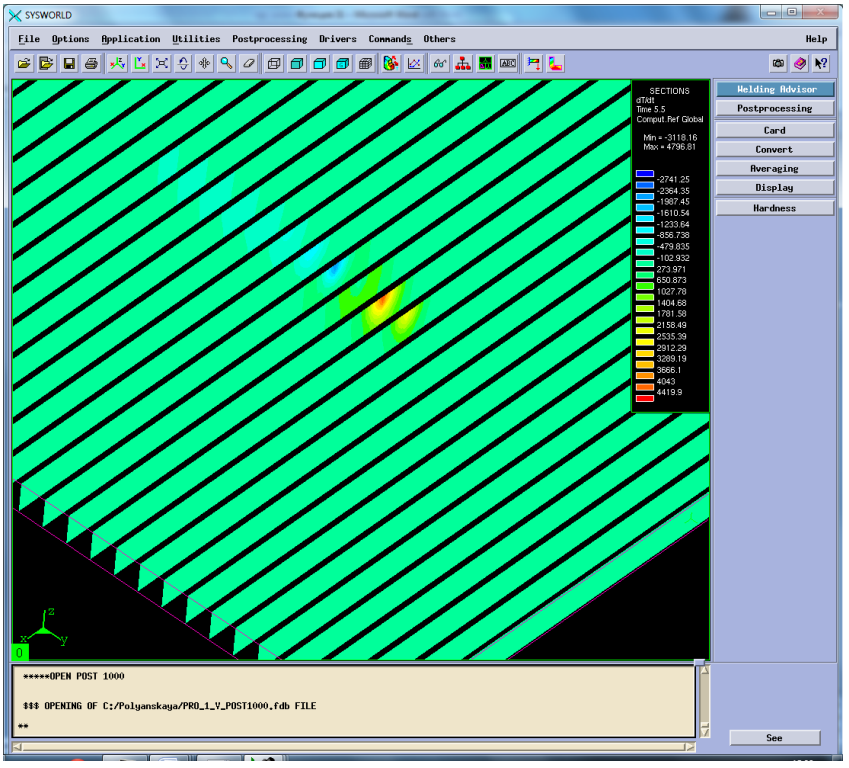


Рисунок29. Разбиение на сечения.

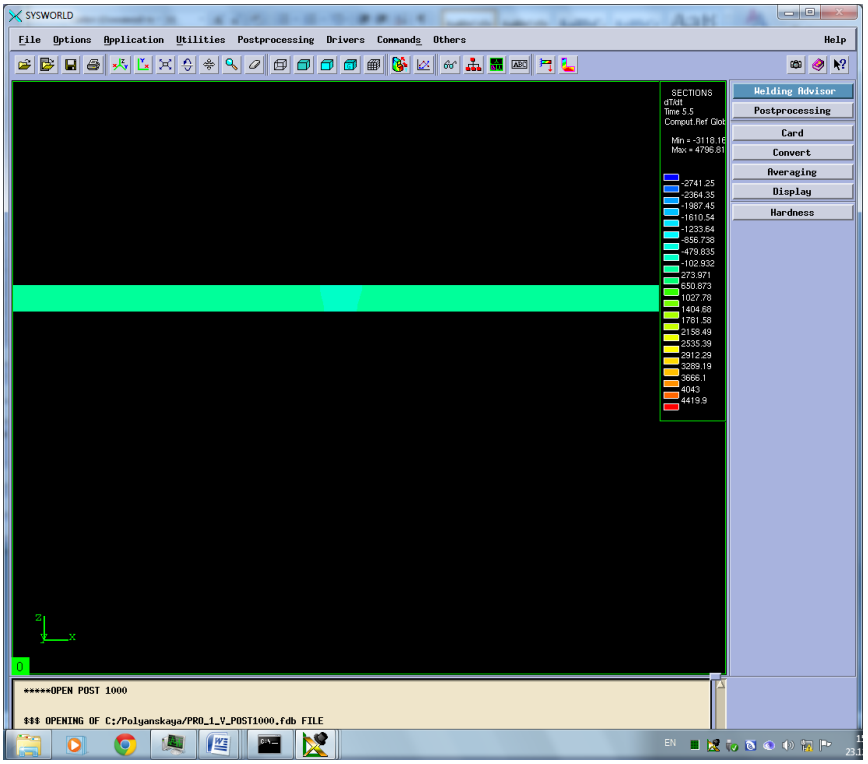


Рисунок 30. Сечение №12-Охлаждение.

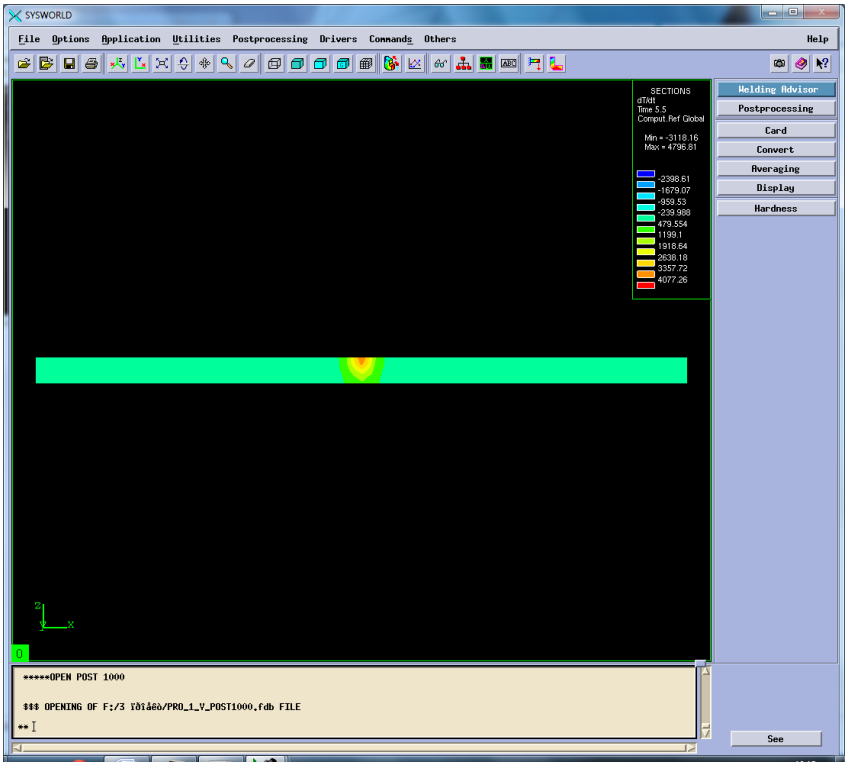


Рисунок 31. Сечение №7. Нагрев

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.

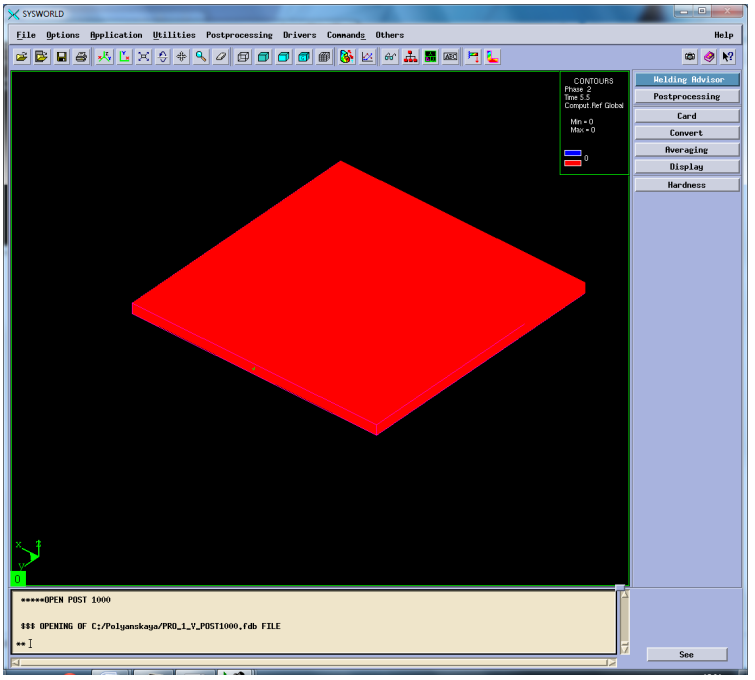


Рисунок 32. Структура сварного соединения.

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).

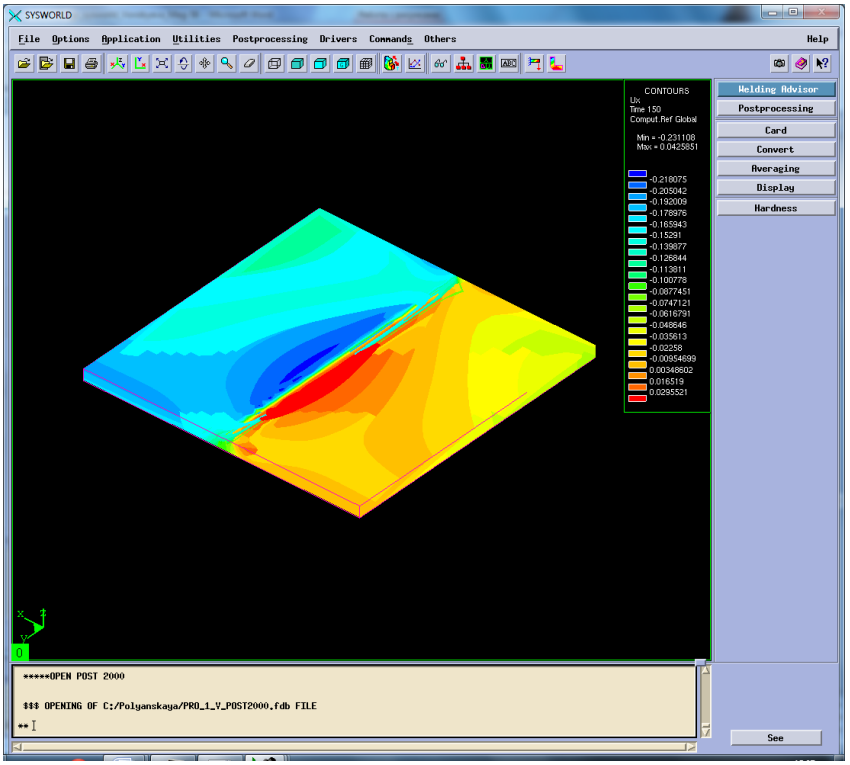


Рисунок 33. Распределение деформации по оси OX.

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

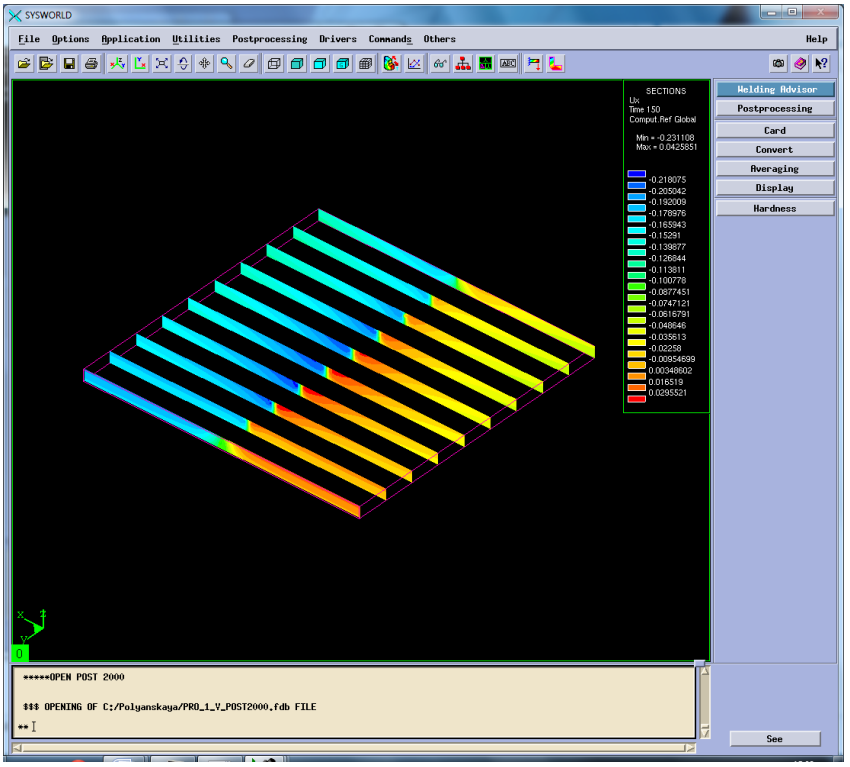


Рисунок 34. Разбиение на сечения.

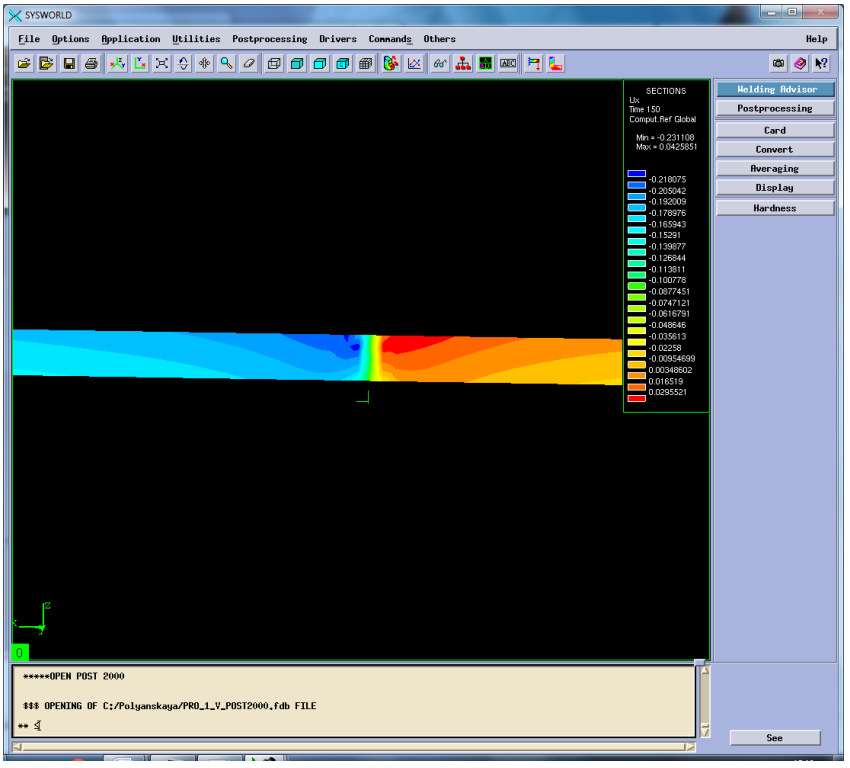


Рисунок 35. Сечение № 5

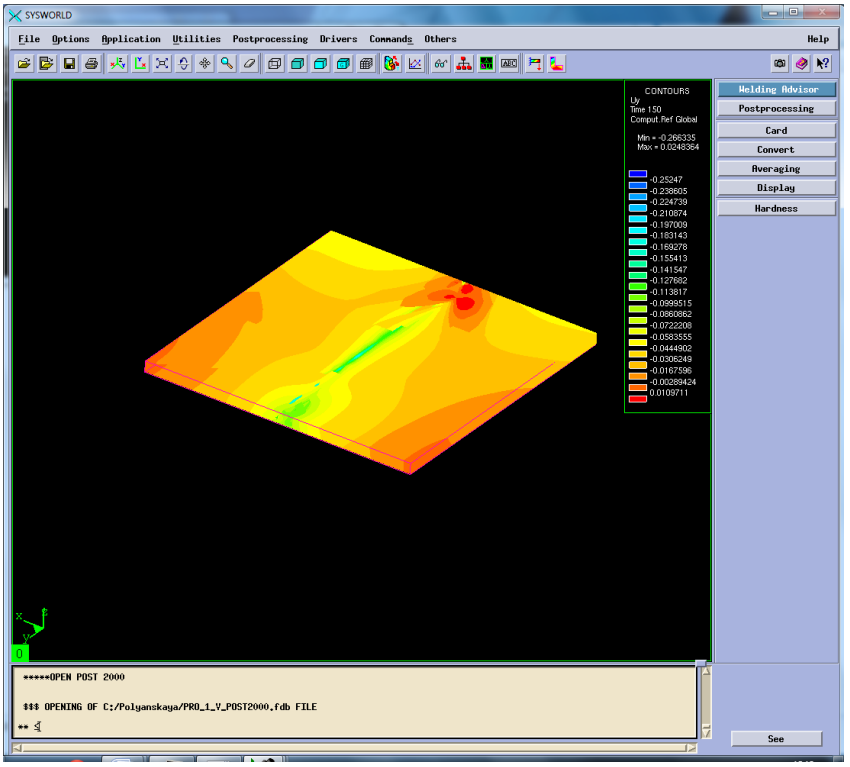


Рисунок 36. Деформация относительно ОУ

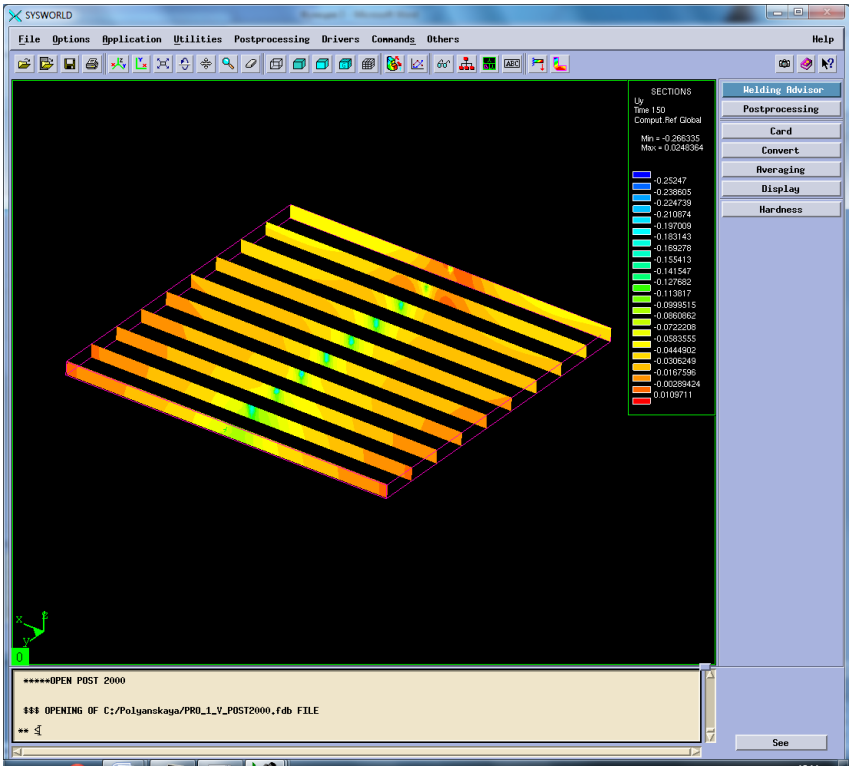


Рисунок 37. Разбиение на сечения.

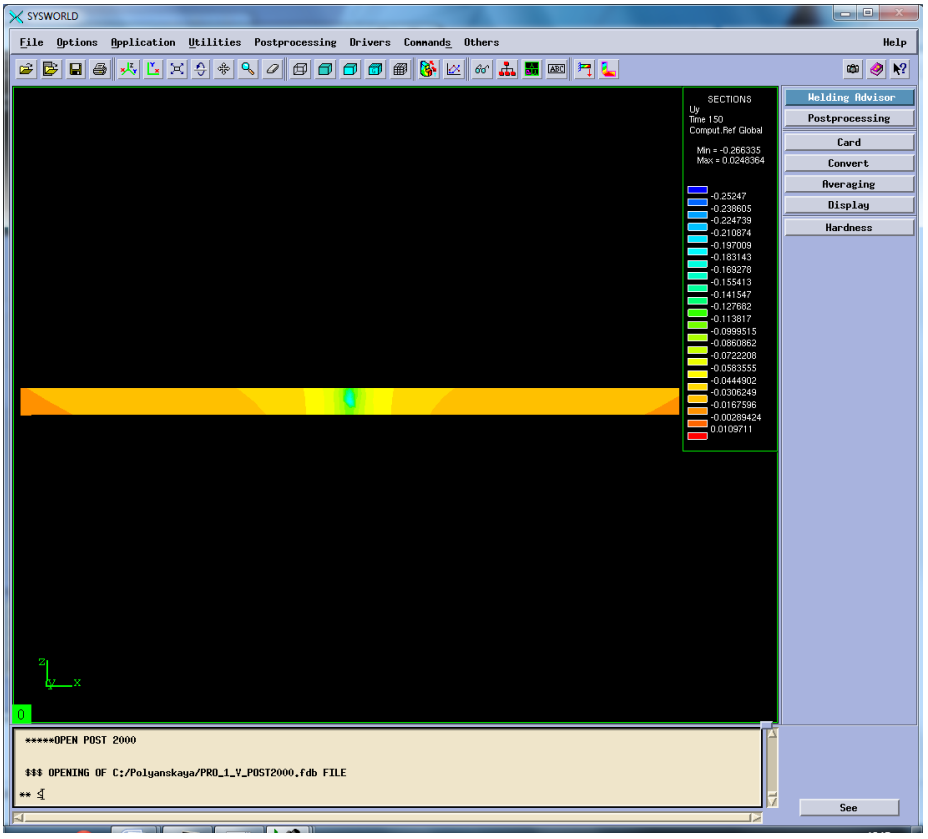


Рисунок 38.Сечение №5.

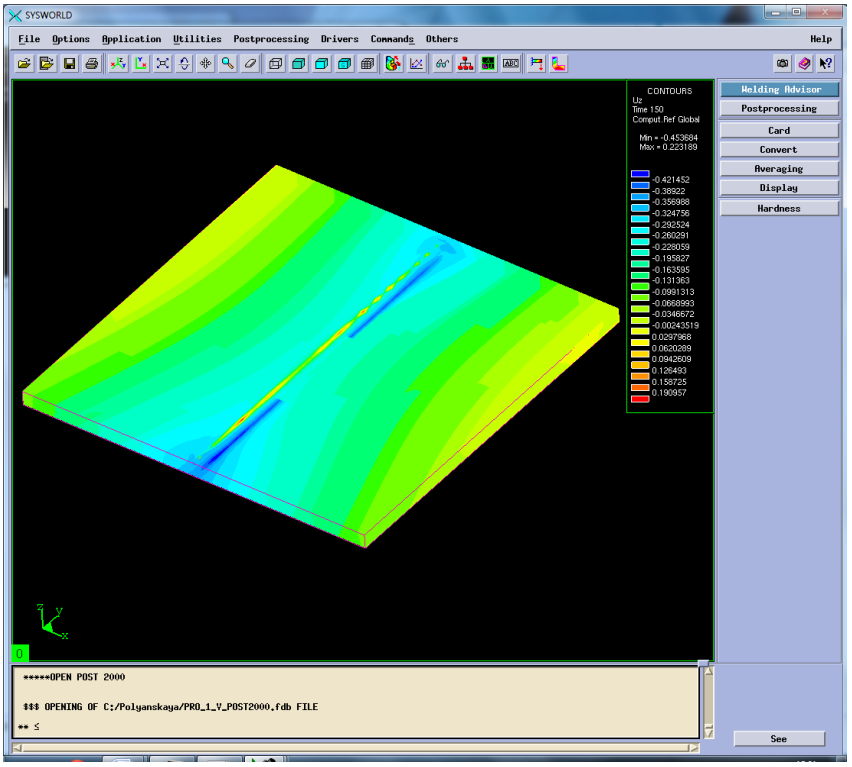


Рисунок 39. Деформация относительно OZ.

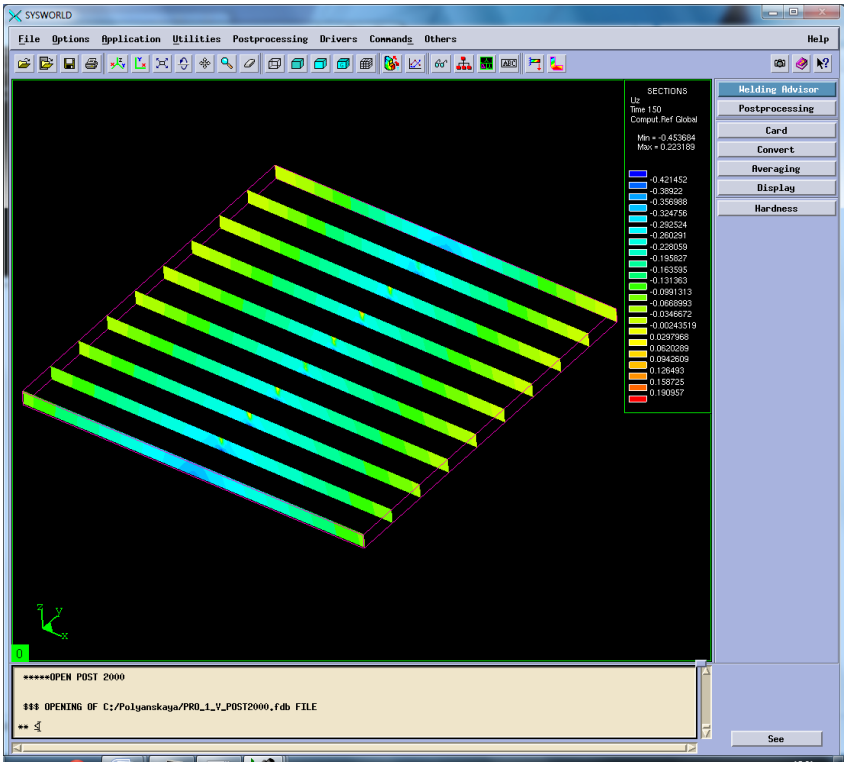


Рисунок 40. Разбиение на сечения.

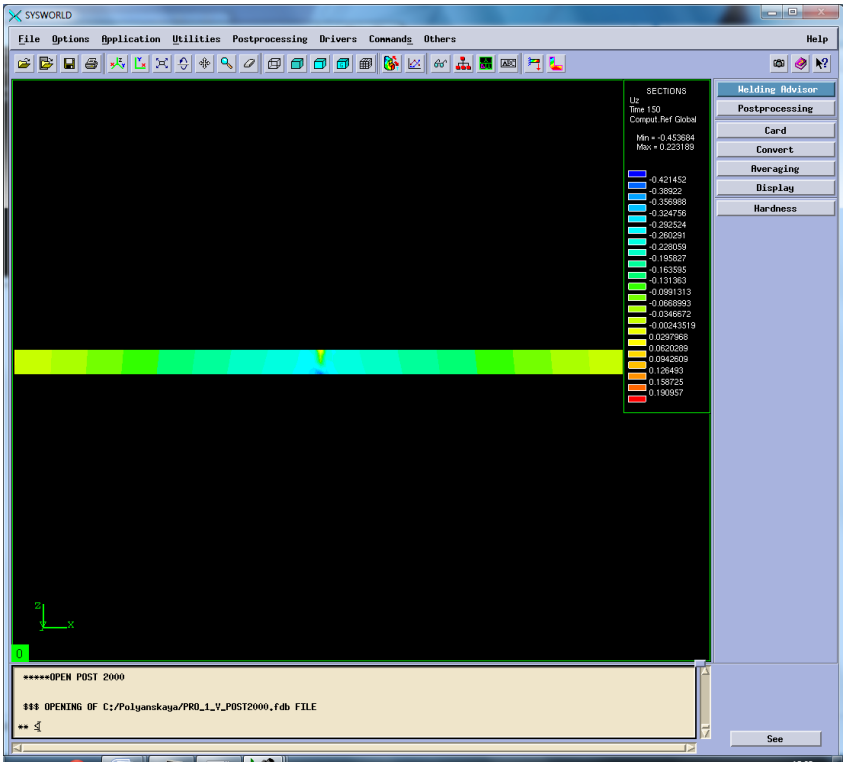


Рисунок 41. Сечение №4.

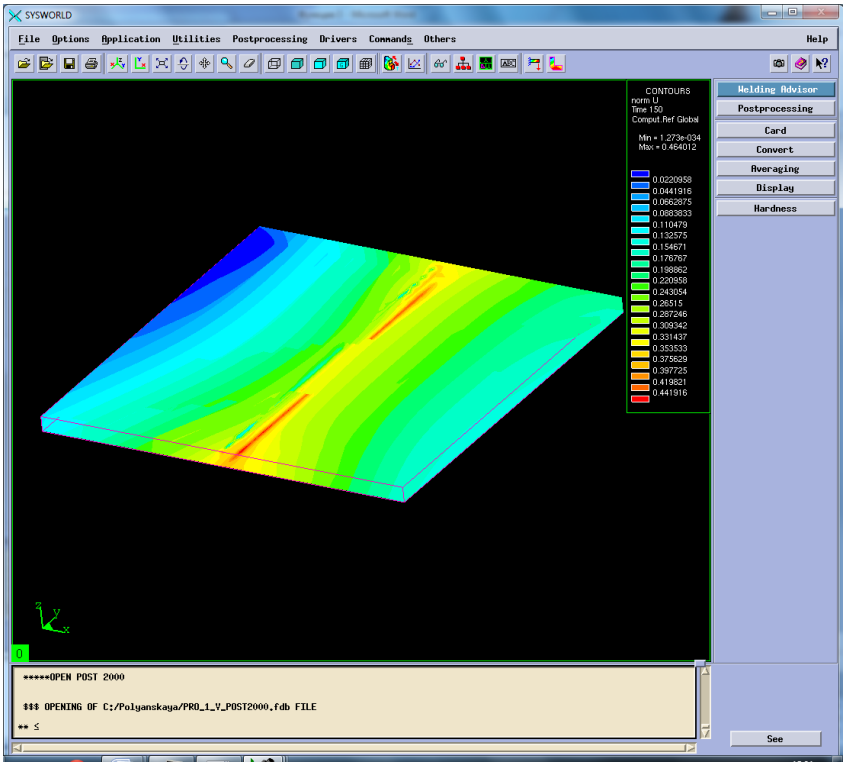


Рисунок 42. Нормальная деформация (нормализованная деформация).

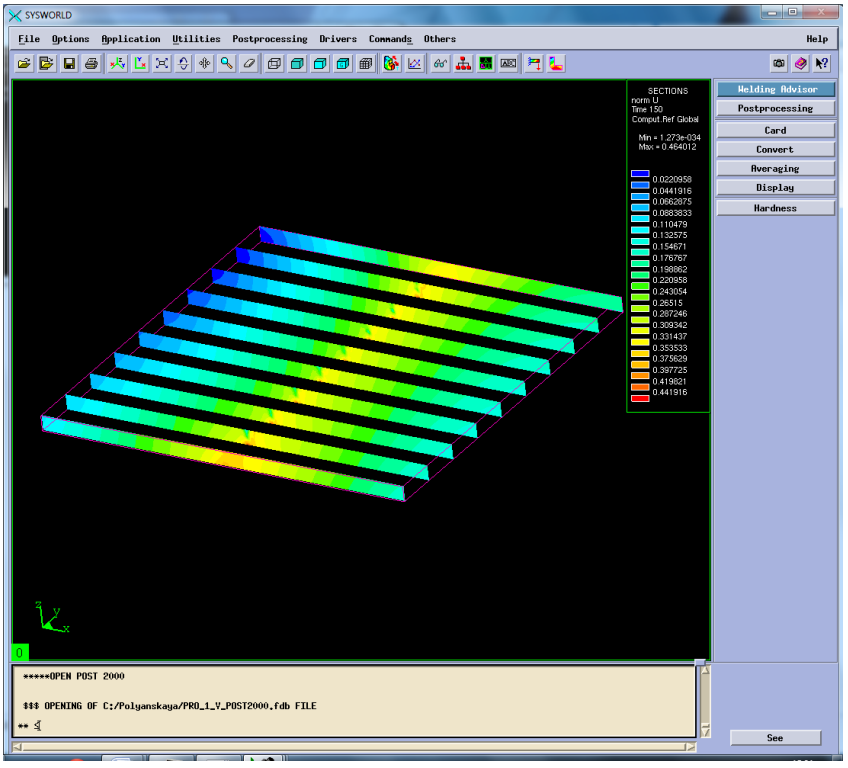


Рисунок 43. Разбиение на сечения.

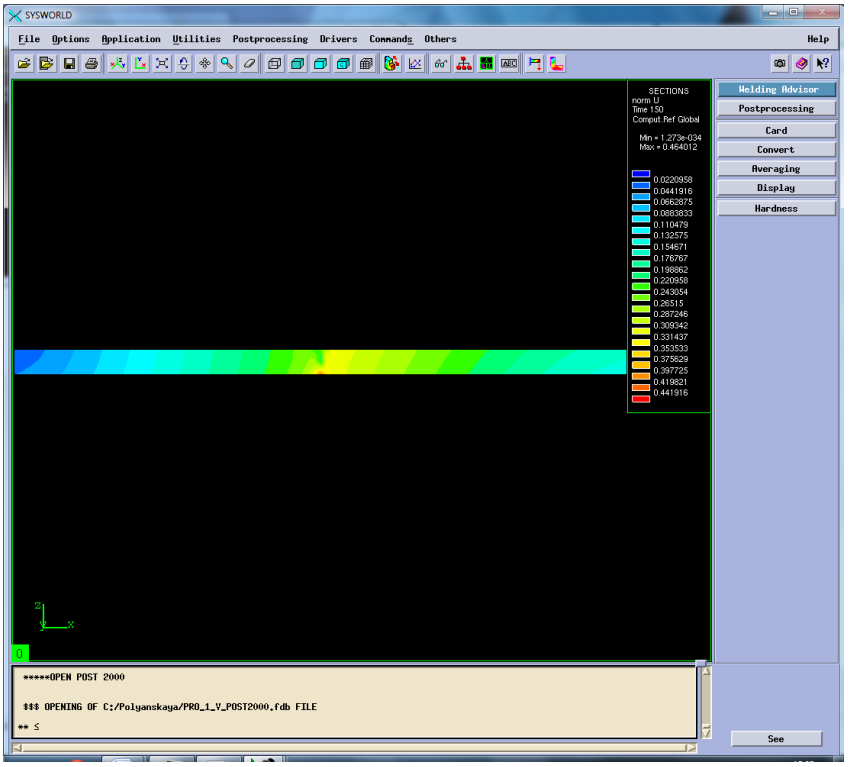


Рисунок 44. Сечение №4.

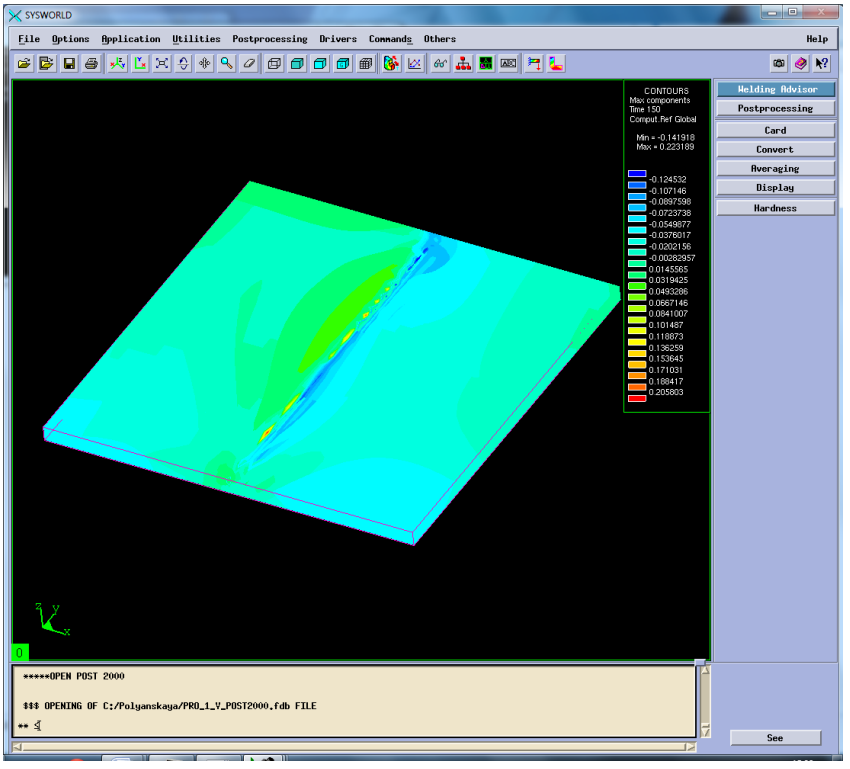


Рисунок 45. Максимальная результирующая деформация.

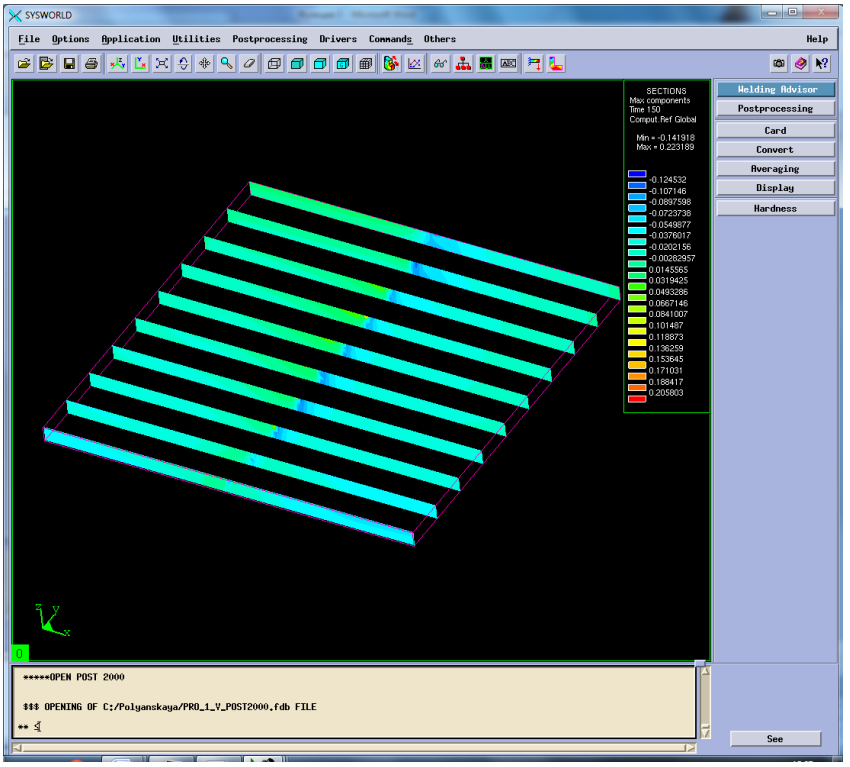


Рисунок 46. Разбиение на сечения.

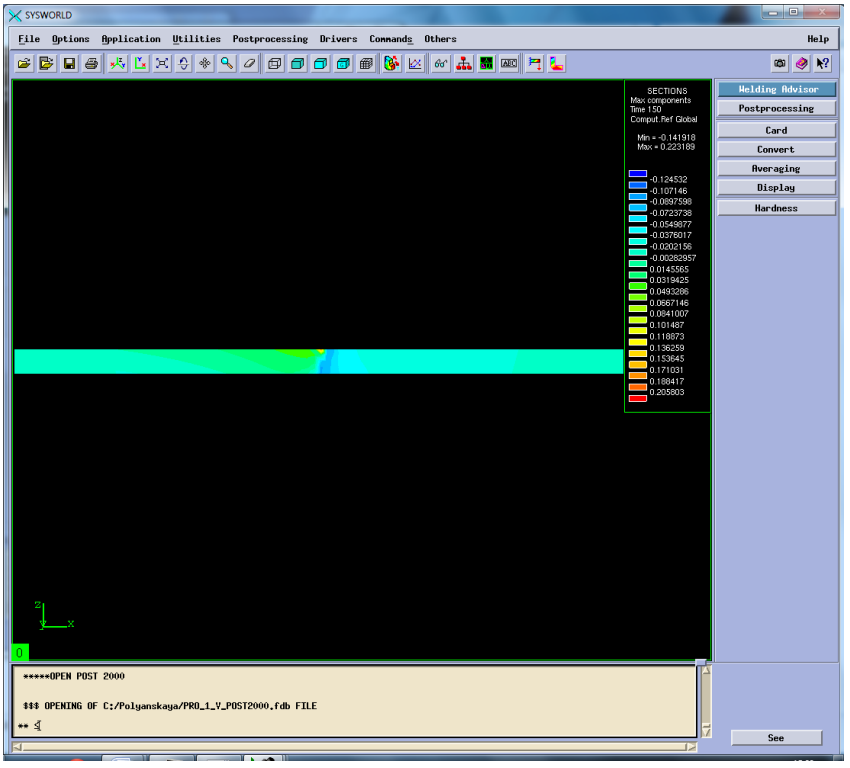


Рисунок 47. Сечение №6.

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)

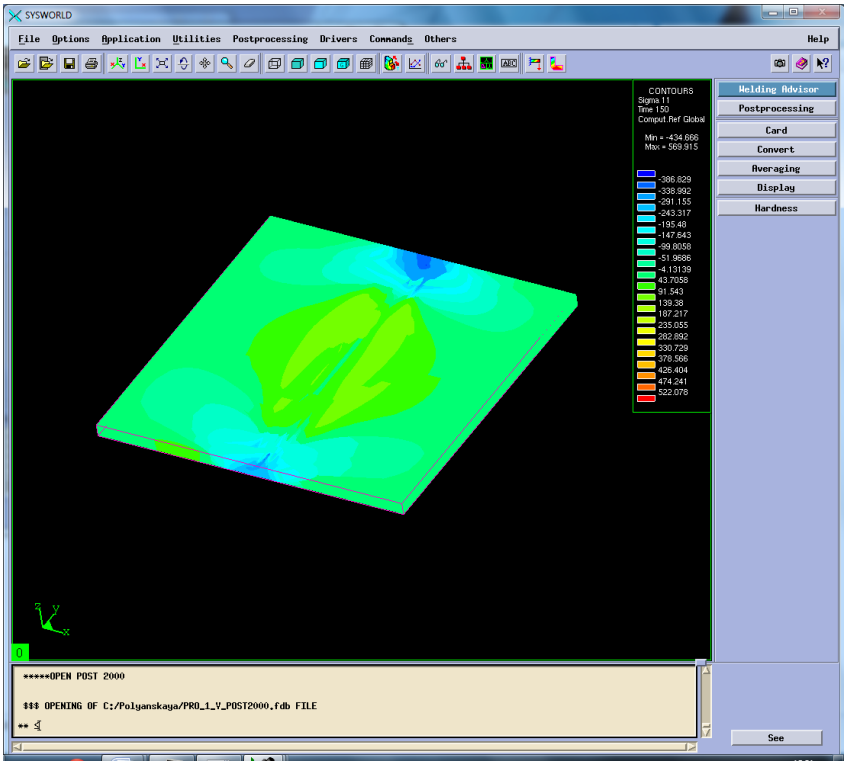


Рисунок 48.Распределение напряжений по оси OX.

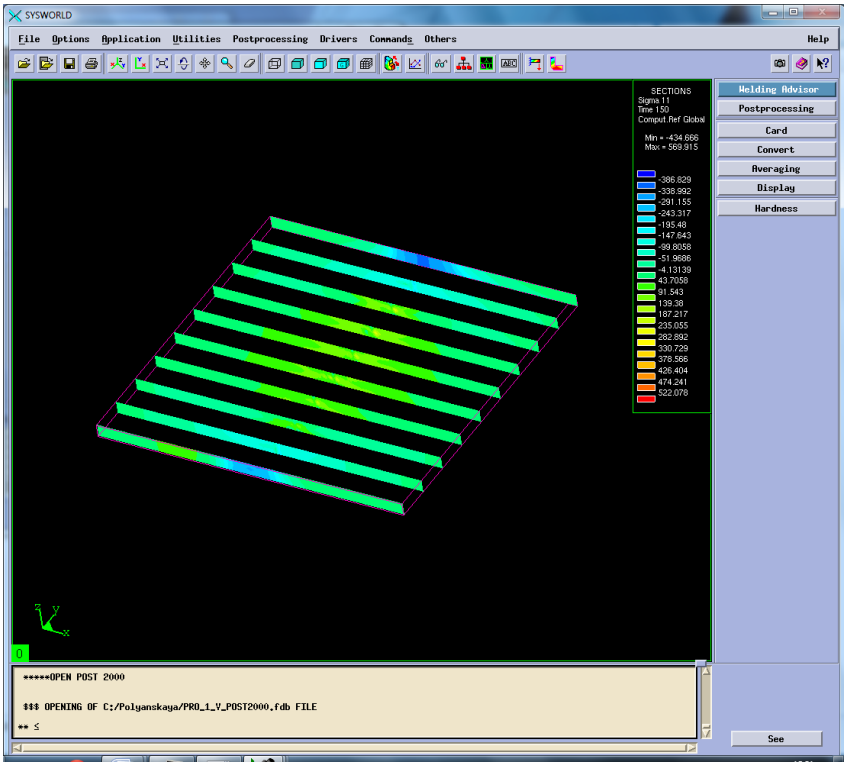


Рисунок 49. Разбиение на сечения.

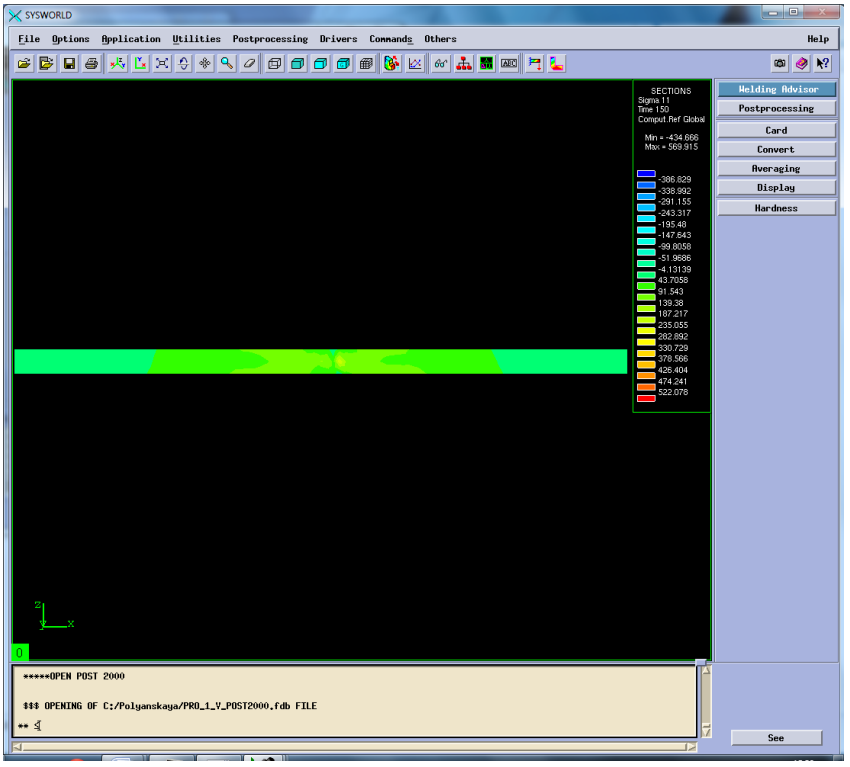


Рисунок 50. Сечение №4.

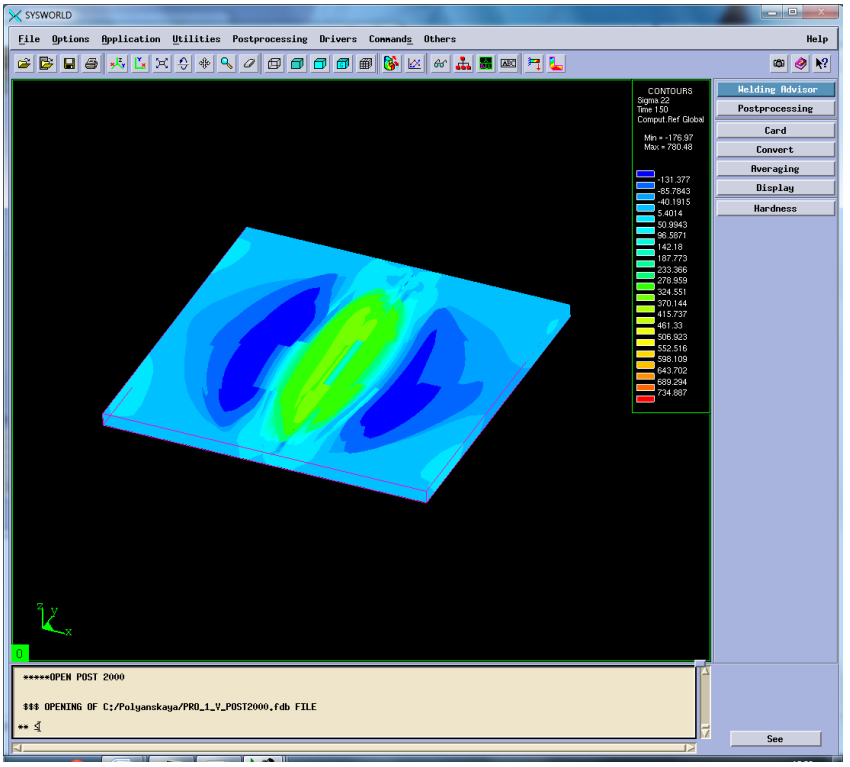


Рисунок 51. Распределение напряжений по OY.

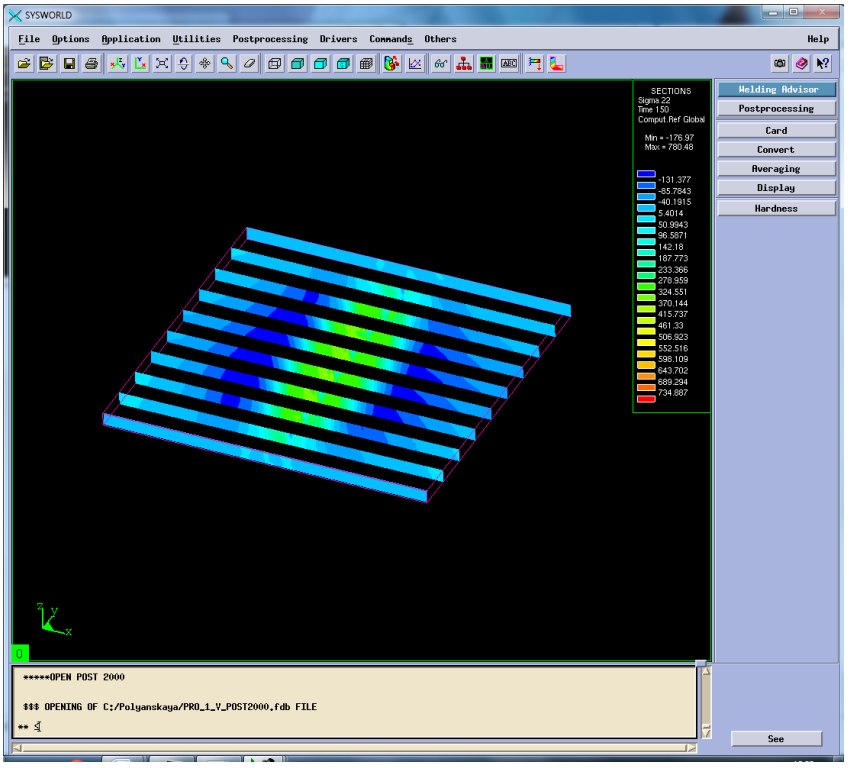


Рисунок 52. Разбиение на сечения.

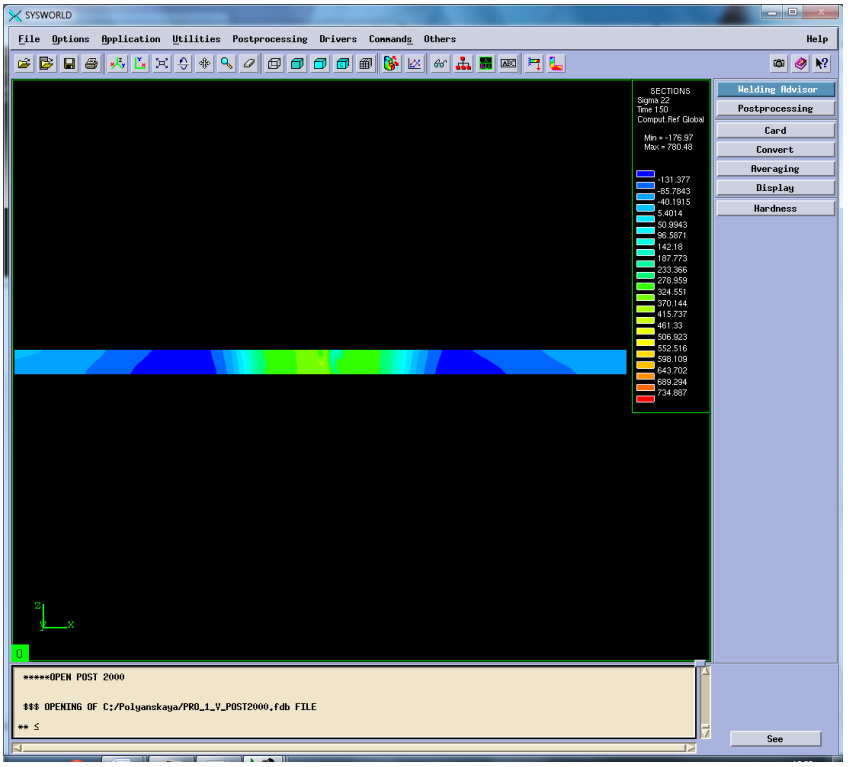


Рисунок 53. Сечение №4.

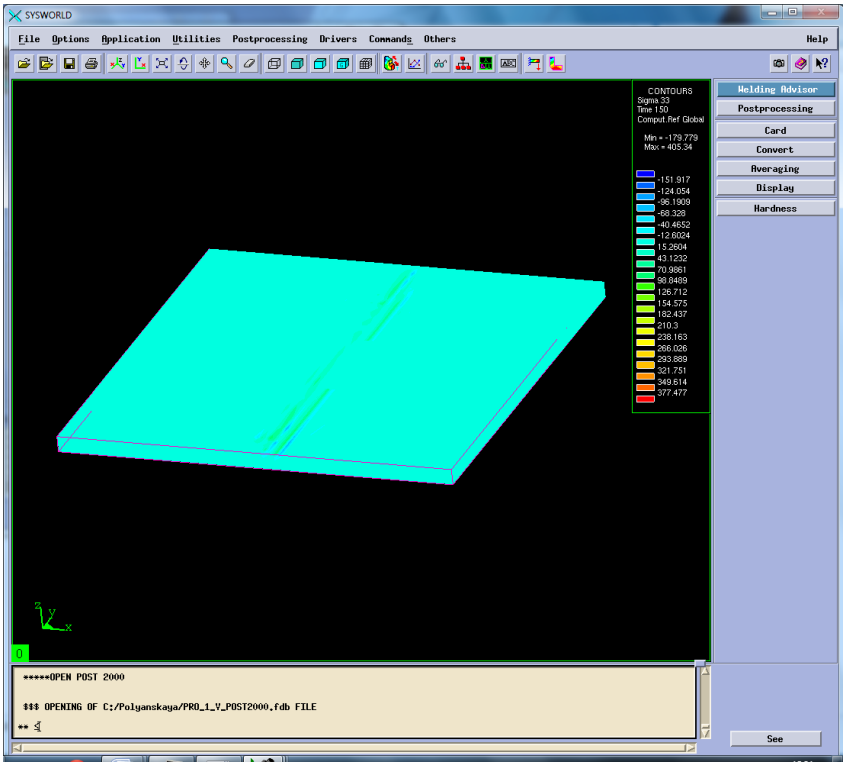


Рисунок 54. Распределение напряжений по OZ.

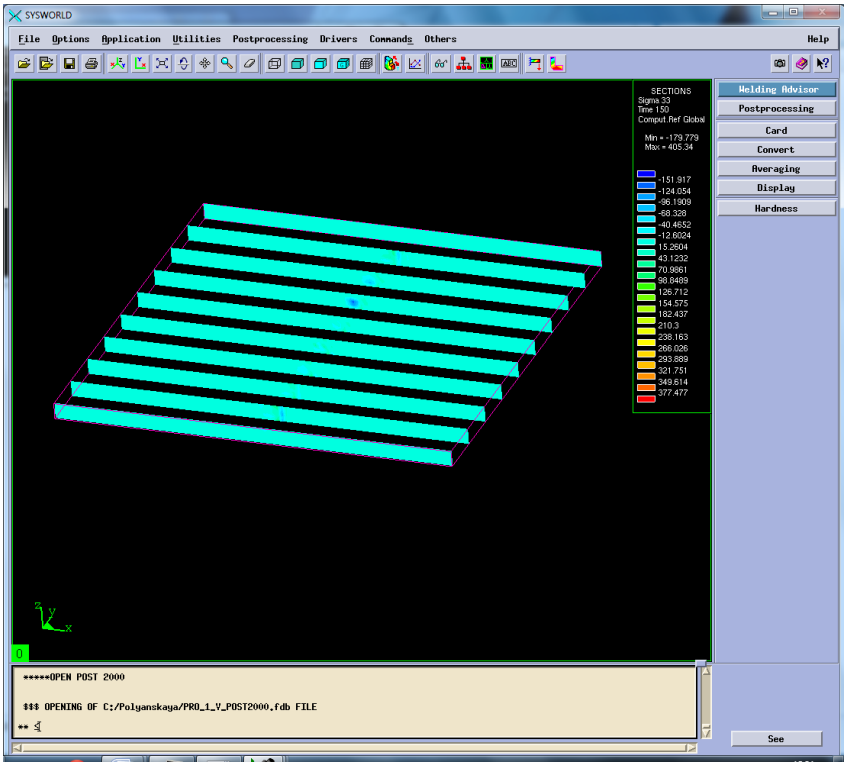


Рисунок 55. Разбиение на сечения.

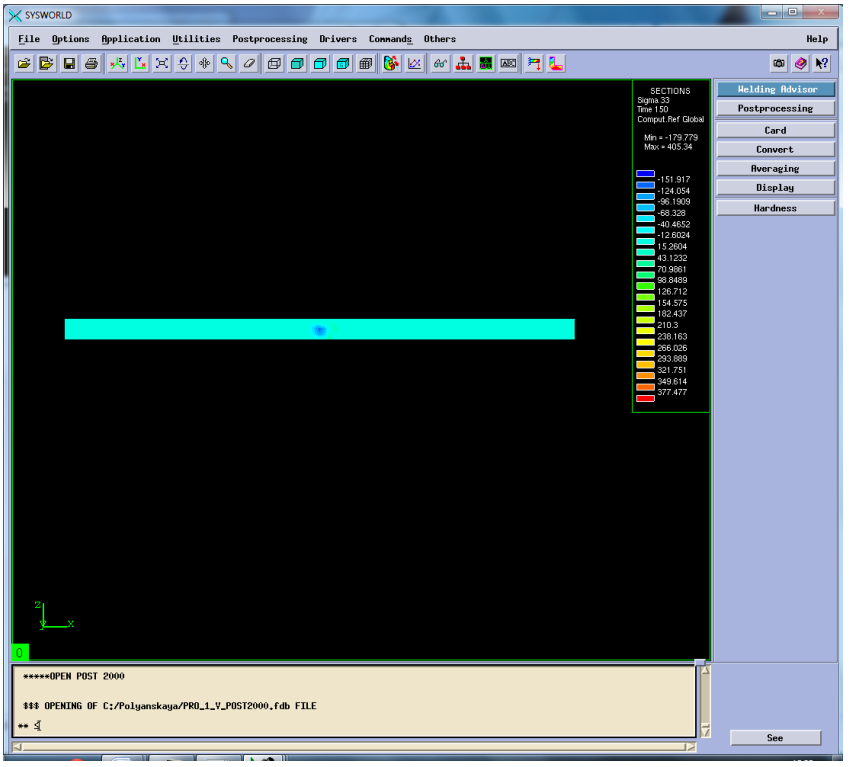


Рисунок 56. Сечение №3.

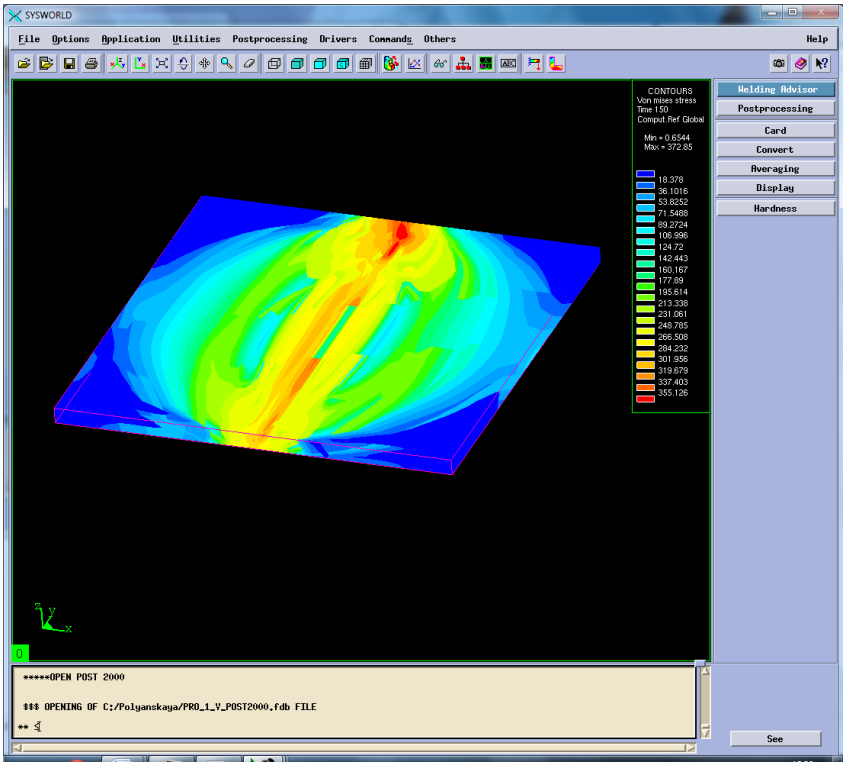


Рисунок 57. Распределение напряжений по Мизесу.

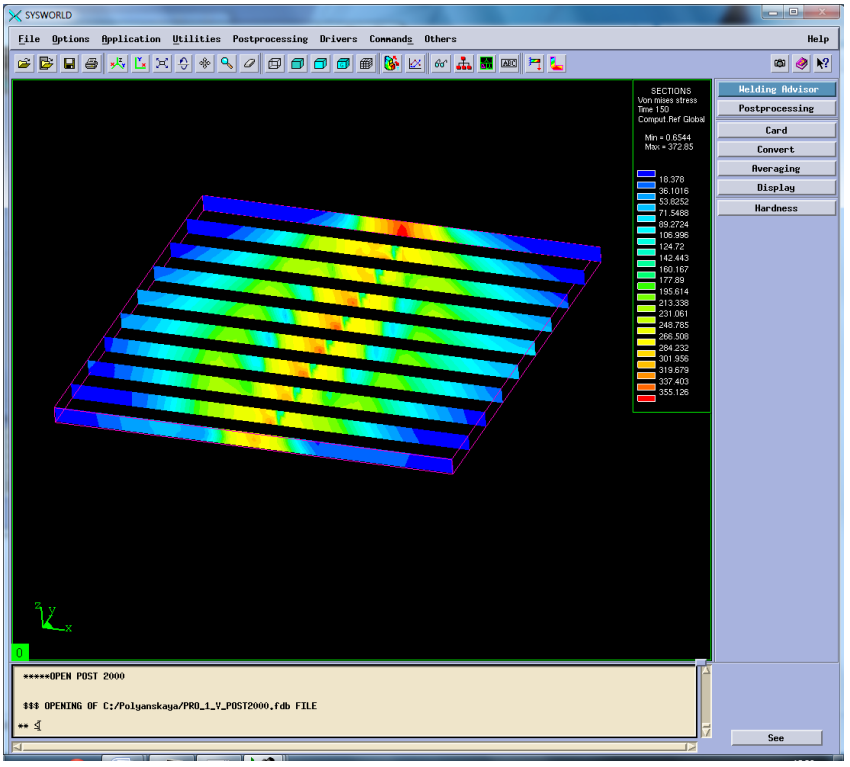


Рисунок 58. Разбиение на сечения.

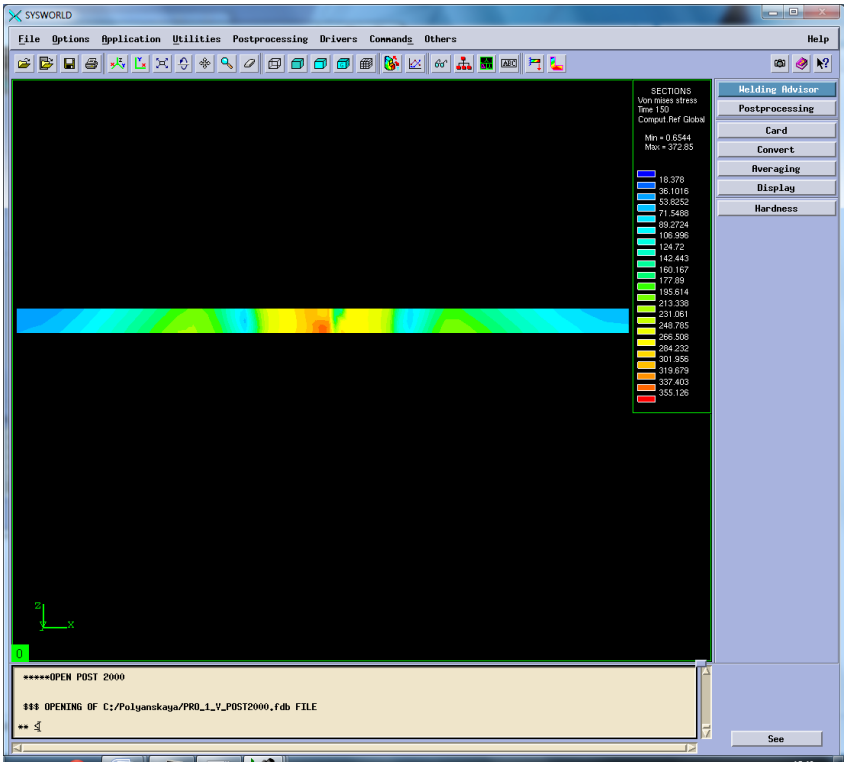


Рисунок 59. Сечение №4.

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

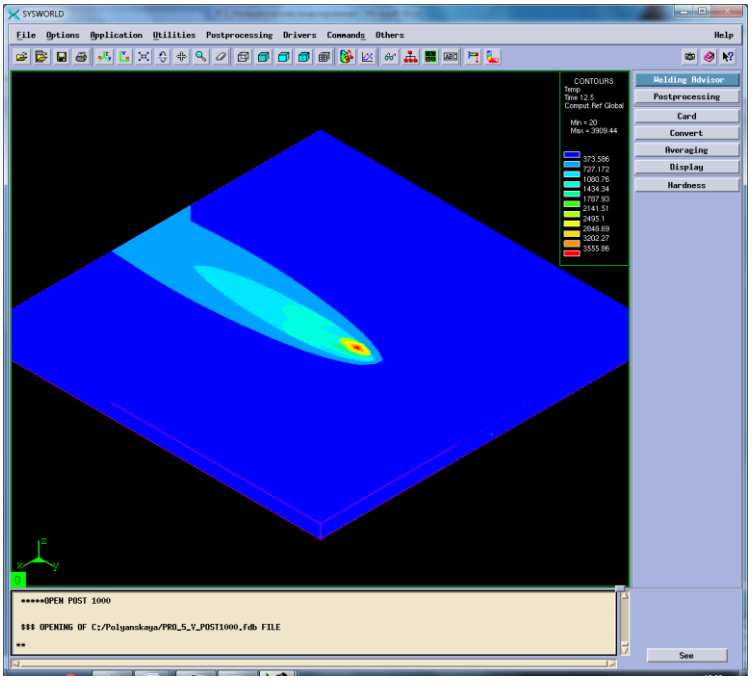


Рисунок 60. Отображение тепловых характеристик.

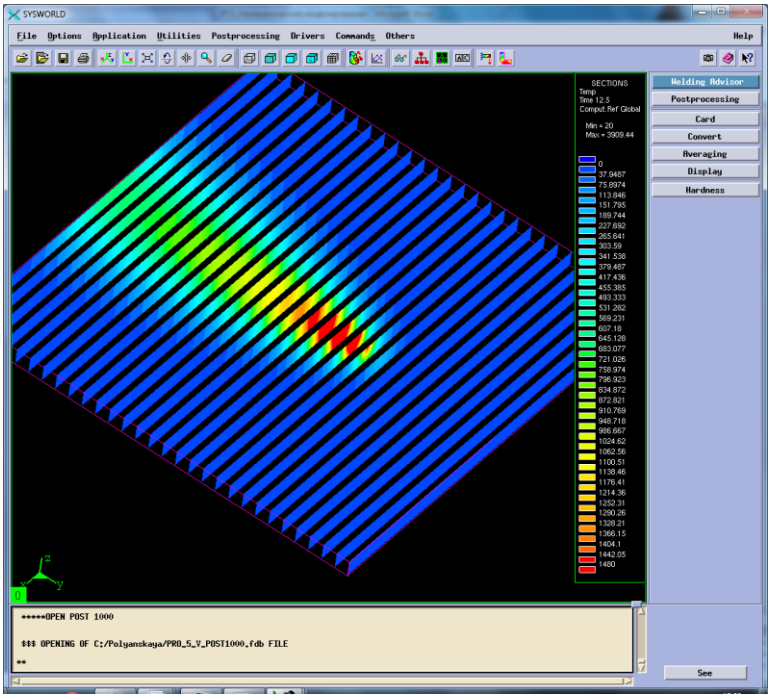


Рисунок 61. Разбиение на сечения.

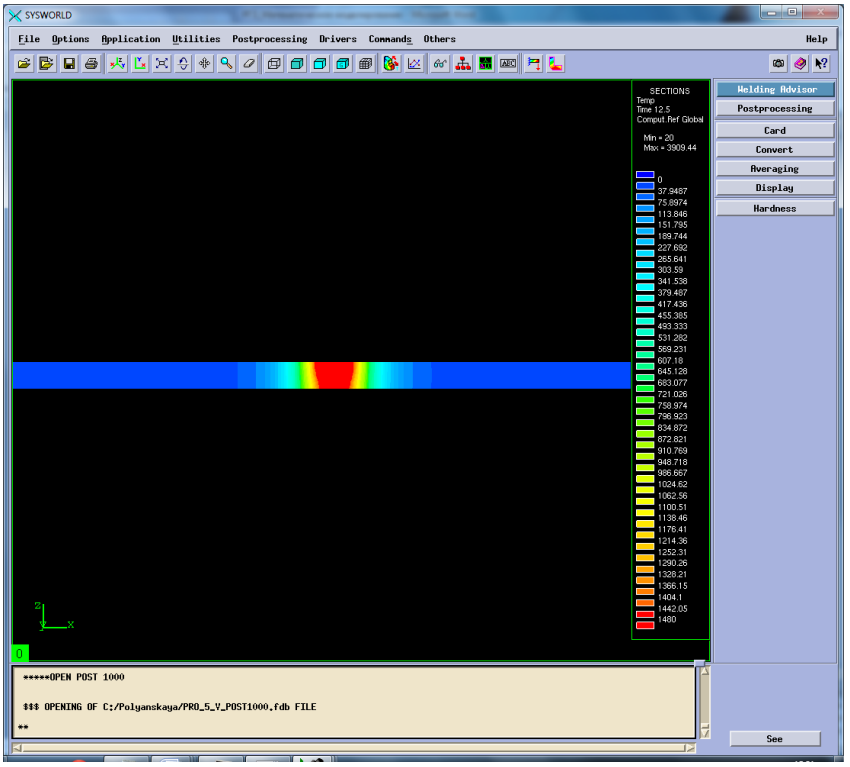


Рисунок 62. Сечение №16.

Следующим шагом необходимо подробно рассмотреть охлаждение (Рисунок 62).

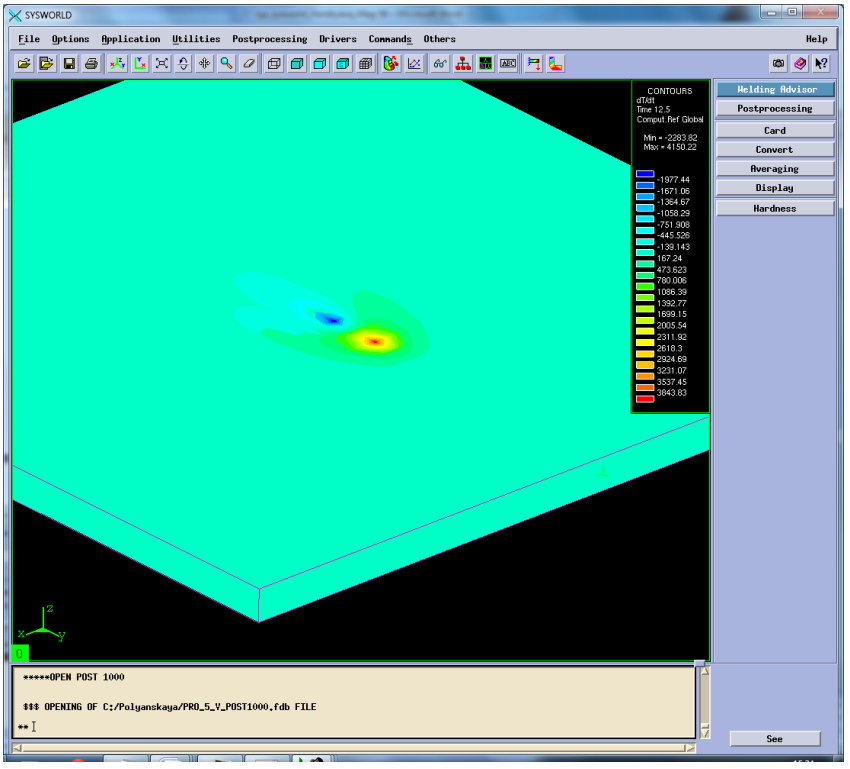


Рисунок 63. Отображение максимальных скоростей нагрева и охлаждения.

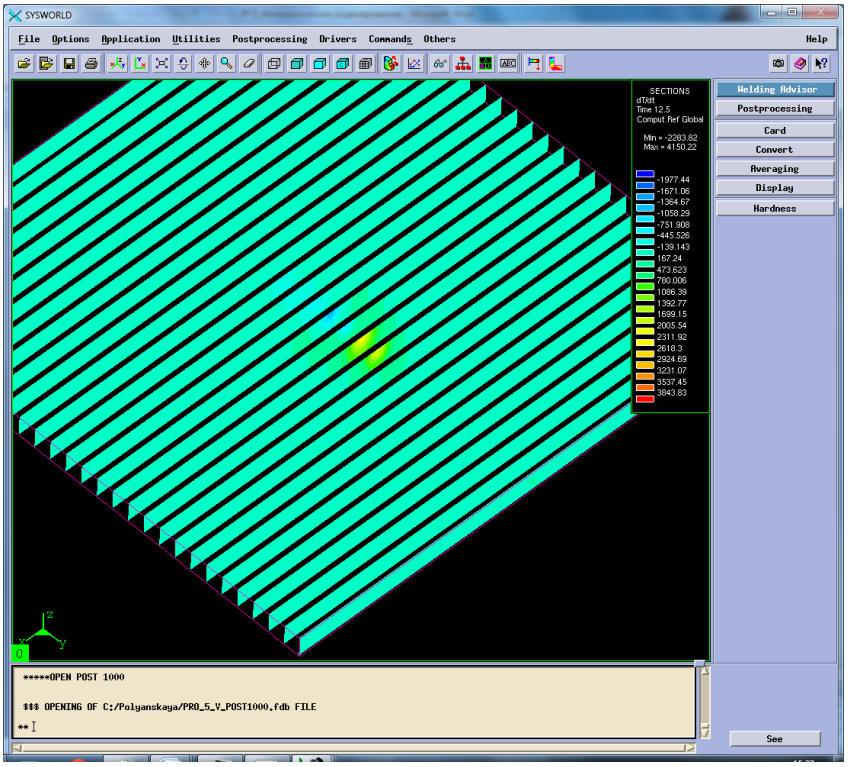


Рисунок 64. Разбиение на сечения.

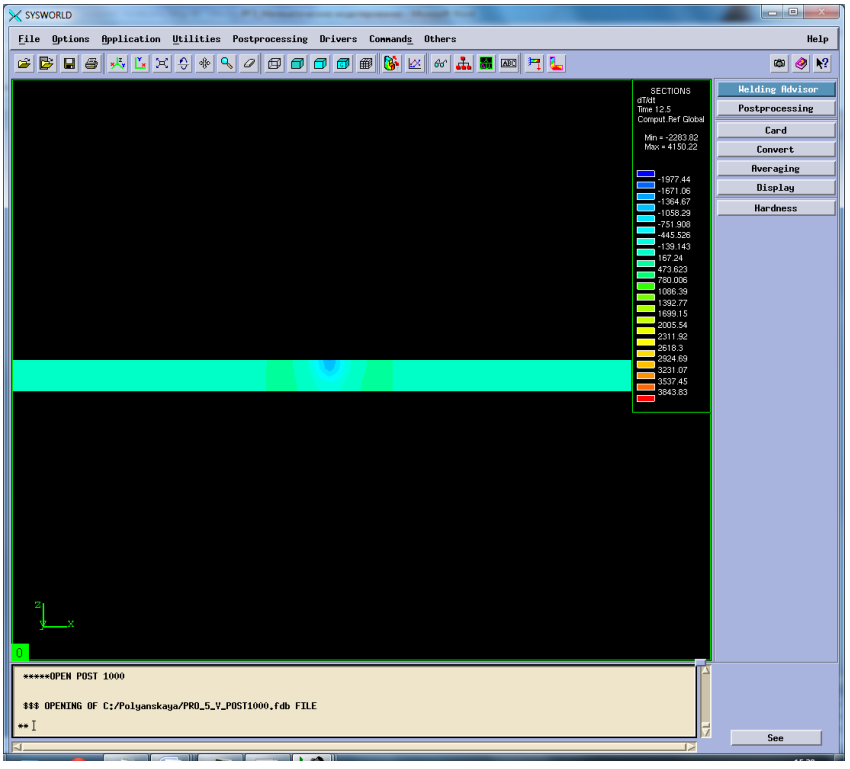


Рисунок 65. Сечение №6 Охлаждение.

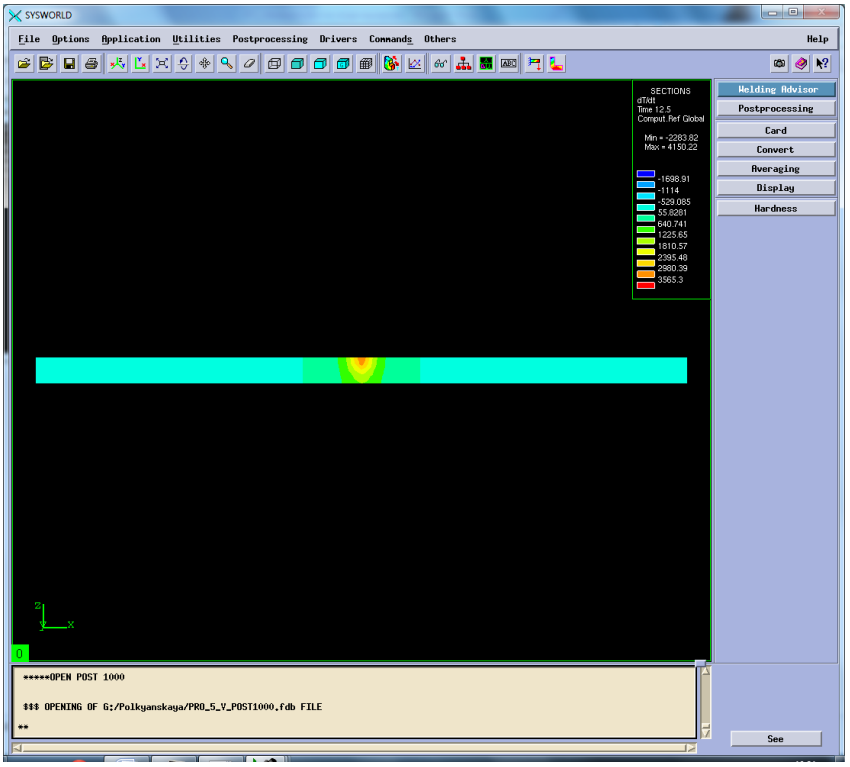


Рисунок 66. Сечение №10 Нагрев.

Максимальная скорость нагрева – 4150.22 ºС/с.

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

5.2.Фазовый состав

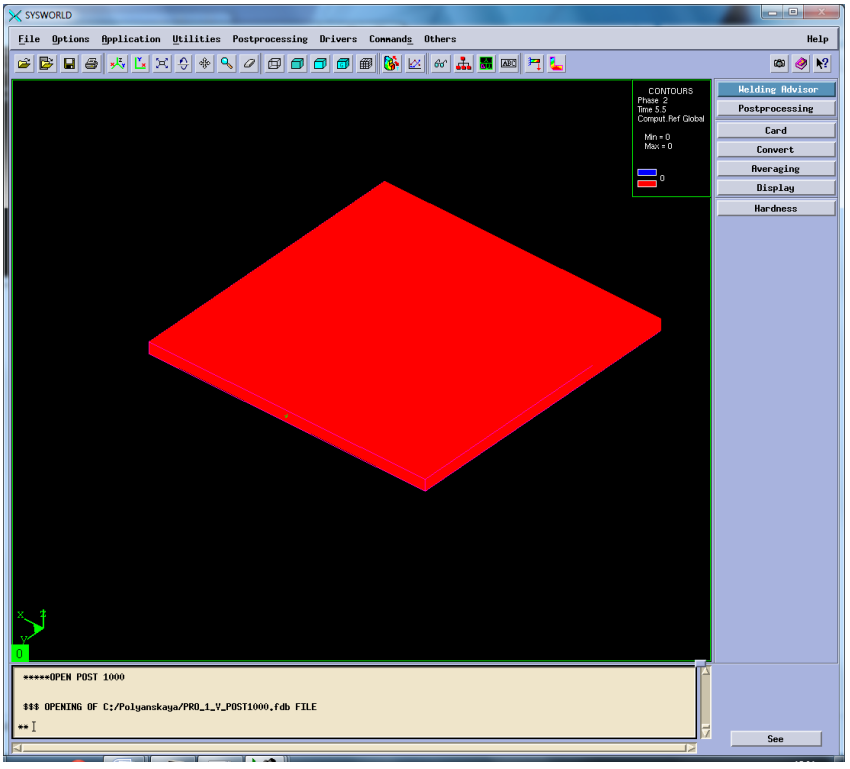


Рисунок 67. Структура сварного соединения.

5.3.Механические характеристики

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

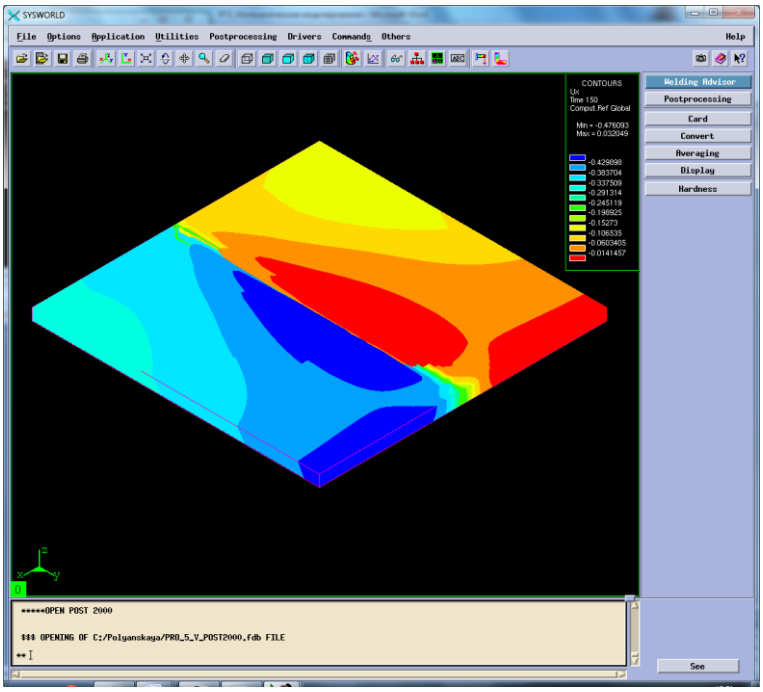


Рисунок 68. Деформация относительно OX.

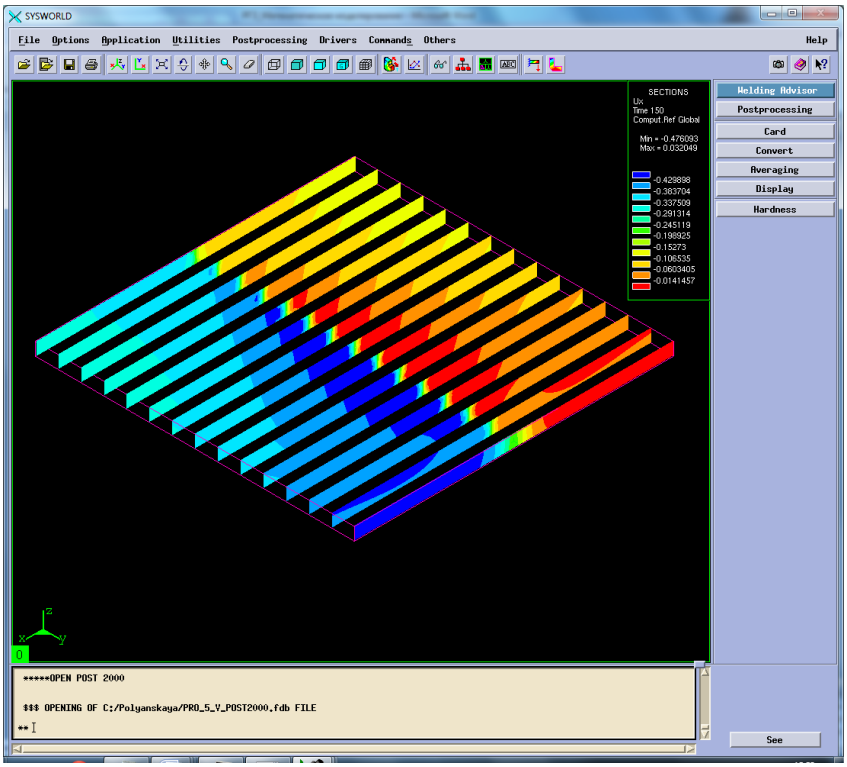


Рисунок 69. Разбиение на сечения.

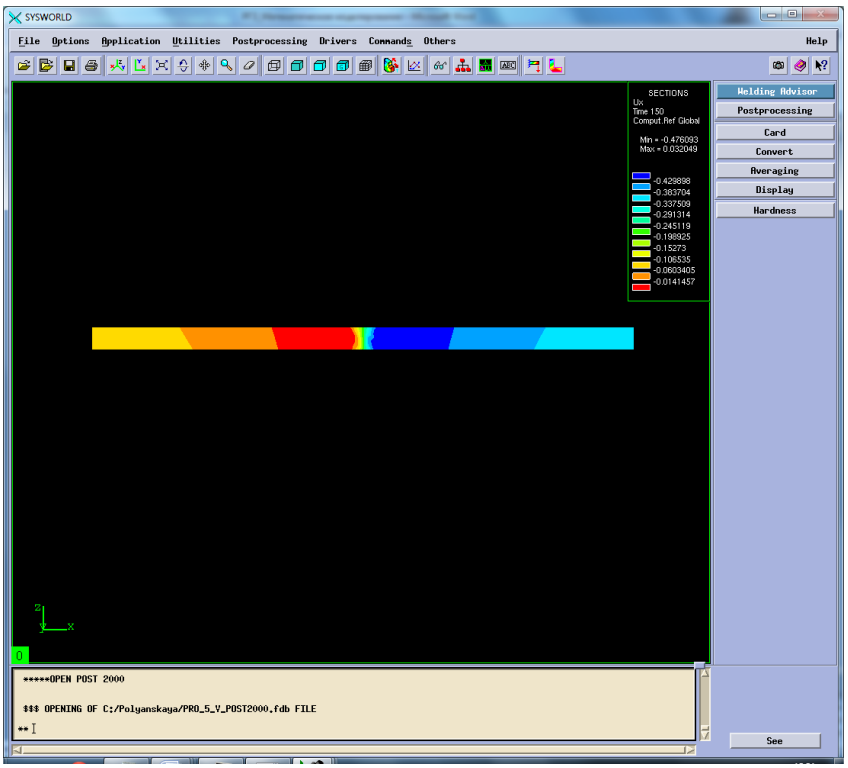


Рисунок 70. Сечение №7.

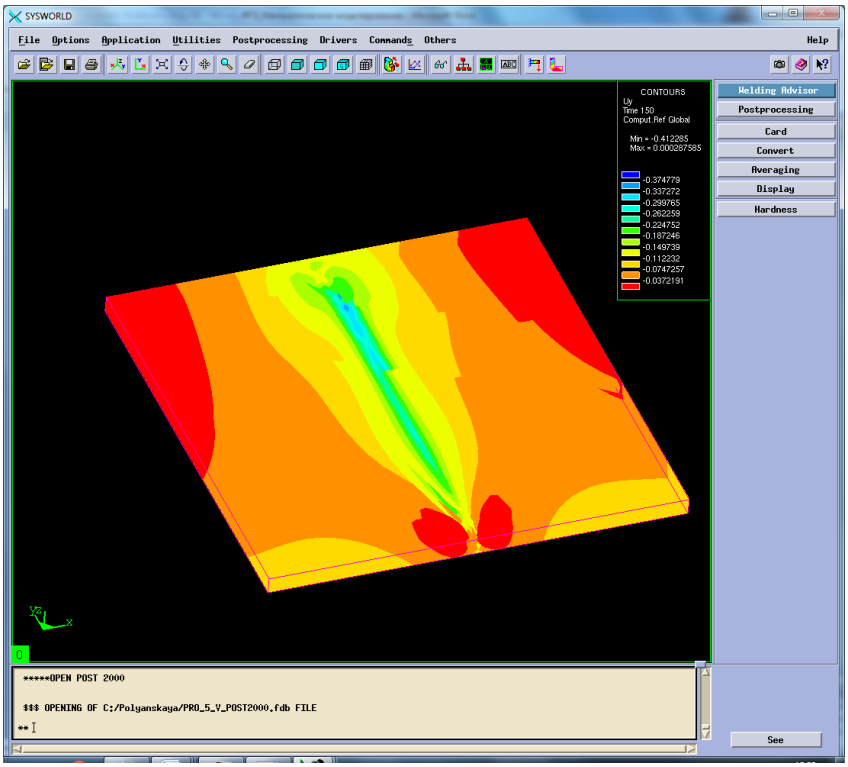


Рисунок 71. Деформация относительно ОУ.

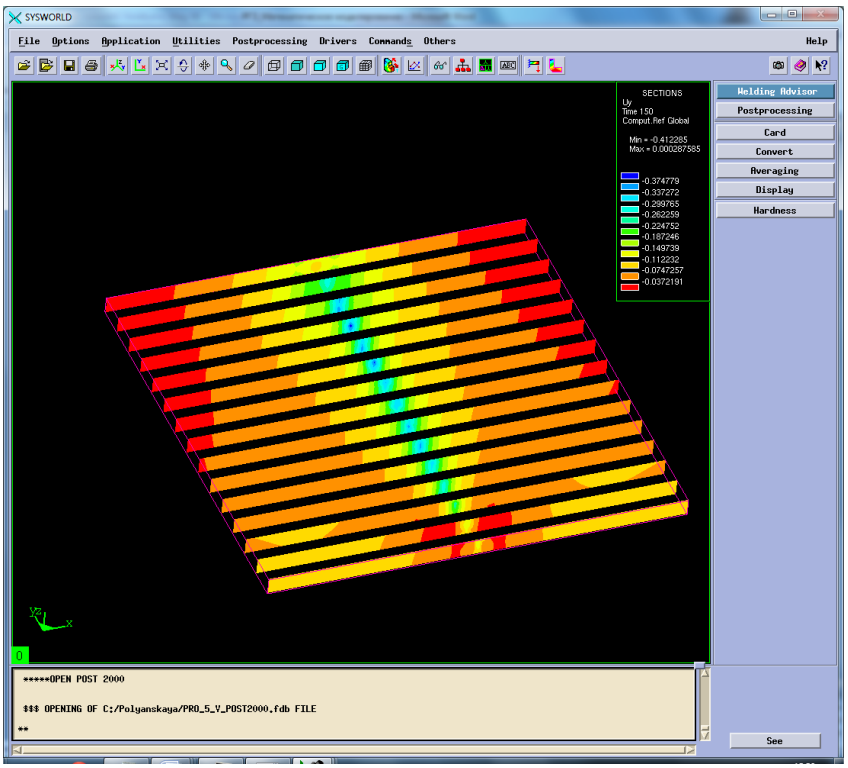


Рисунок 72. Разбиение на сечения.

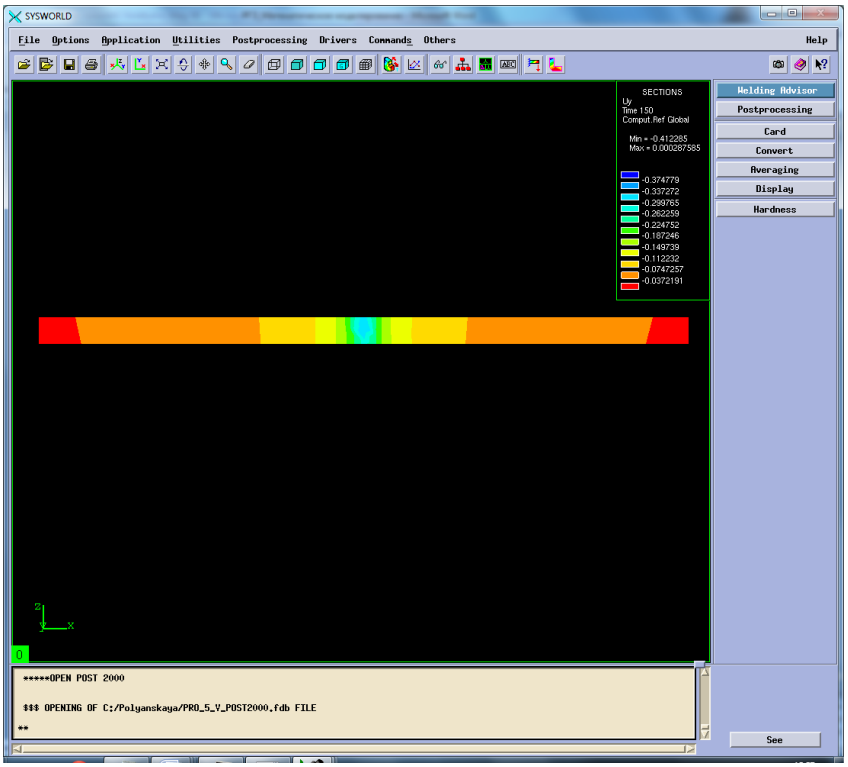


Рисунок 73. Сечение №7.

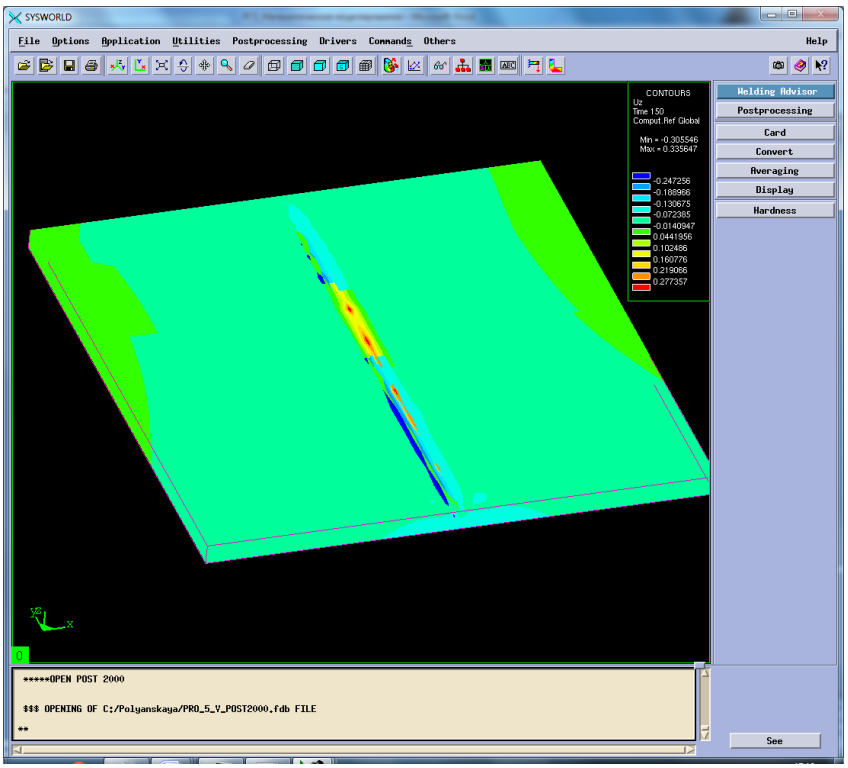


Рисунок 74. Деформация относительно OZ.

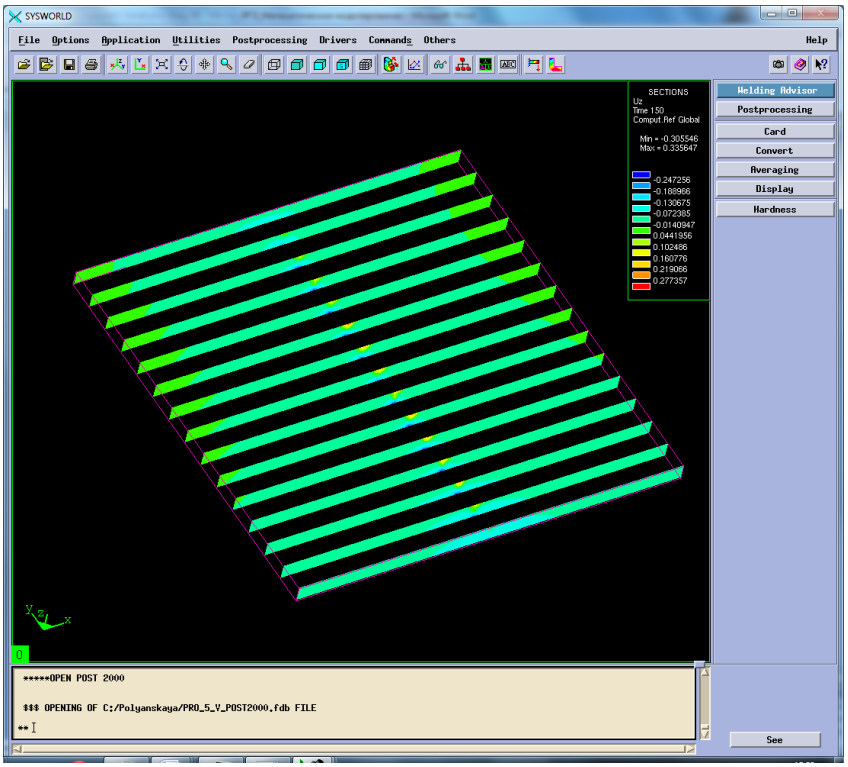


Рисунок 75. Разбиение на сечения.

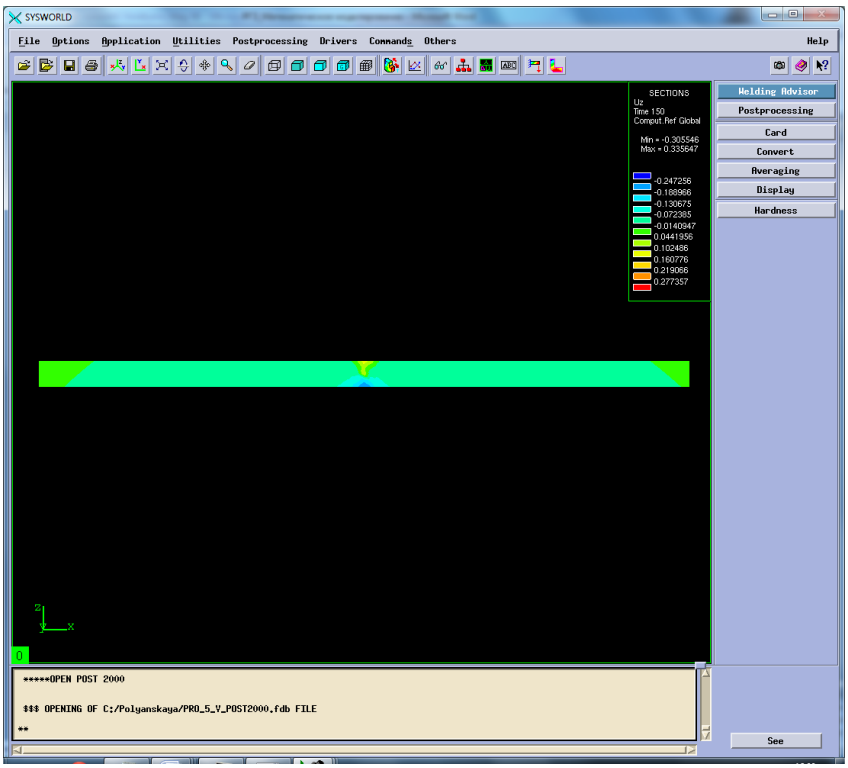


Рисунок 76. Сечение №6.

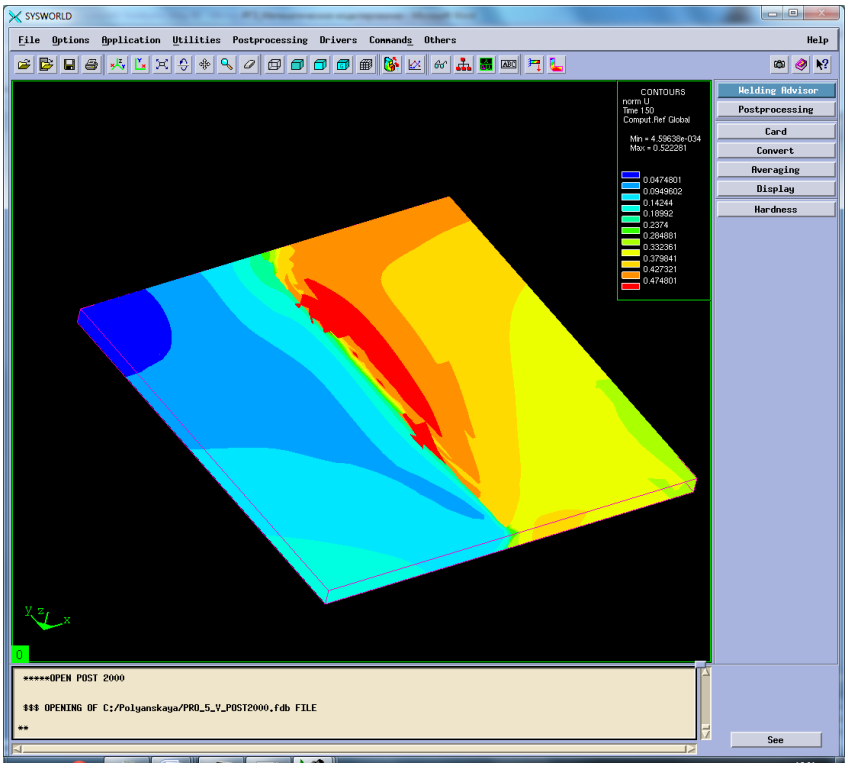


Рисунок 77. Нормальные деформации.

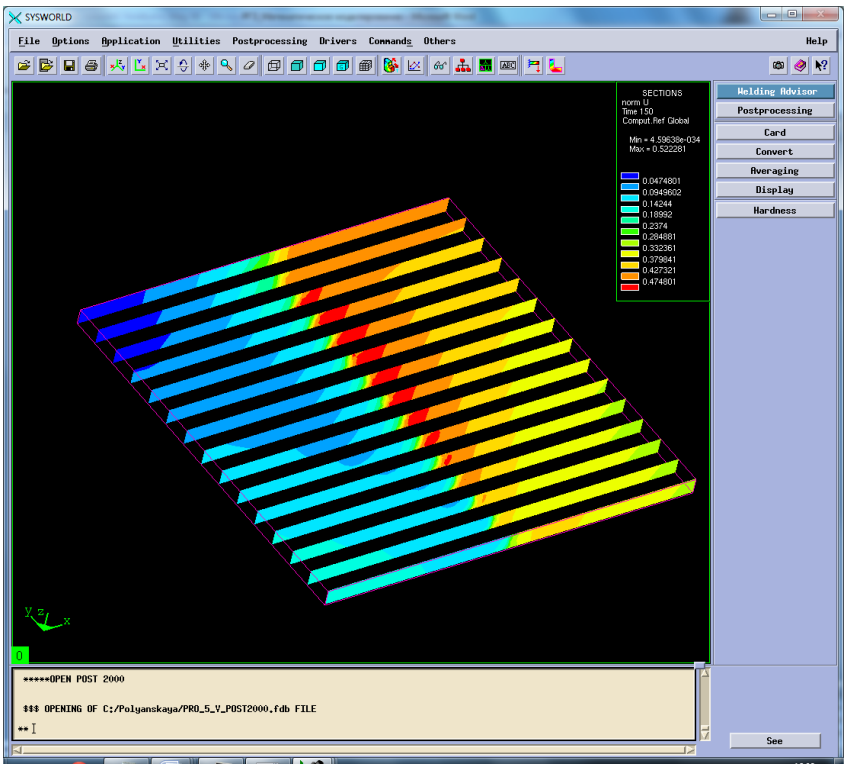


Рисунок 78. Разбиение на сечения.

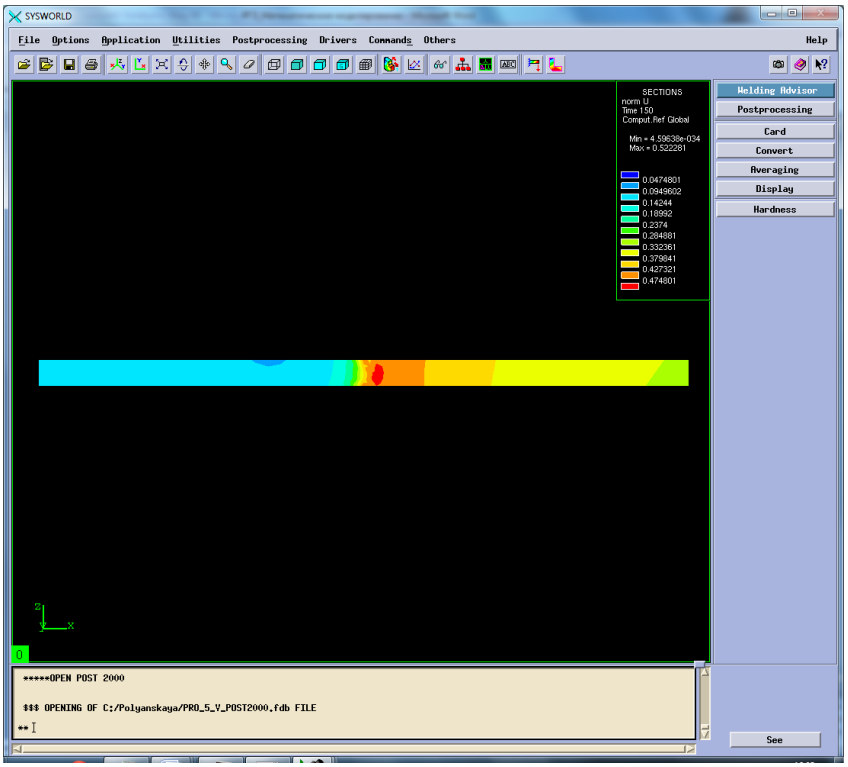


Рисунок 79. Сечение №7.

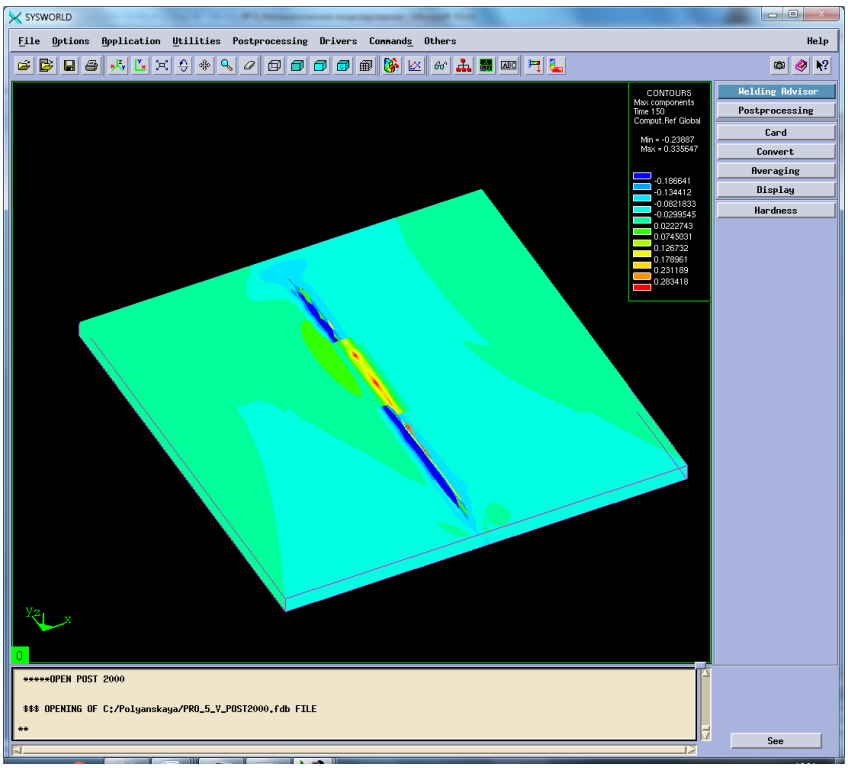


Рисунок 80. Максимальная результирующая деформация.

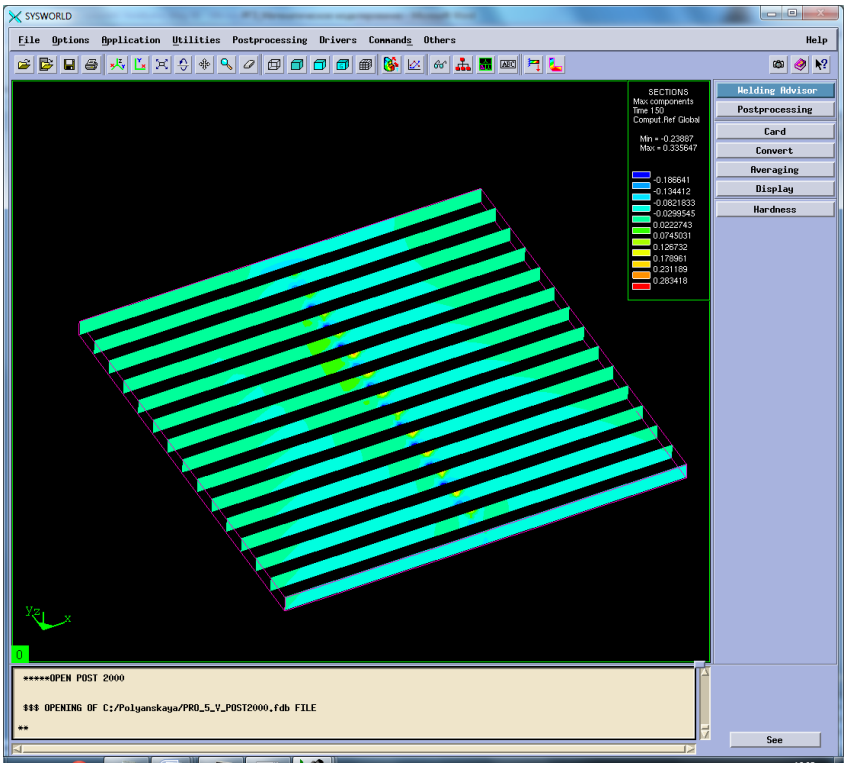


Рисунок 81. Разбиение на сечения.

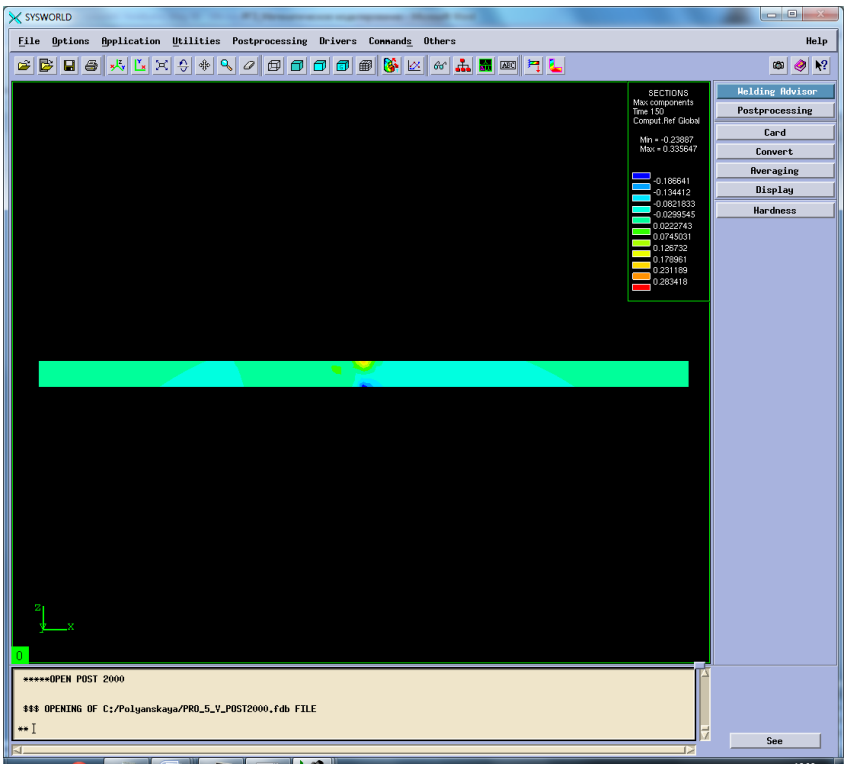


Рисунок 82. Сечение №7.

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).

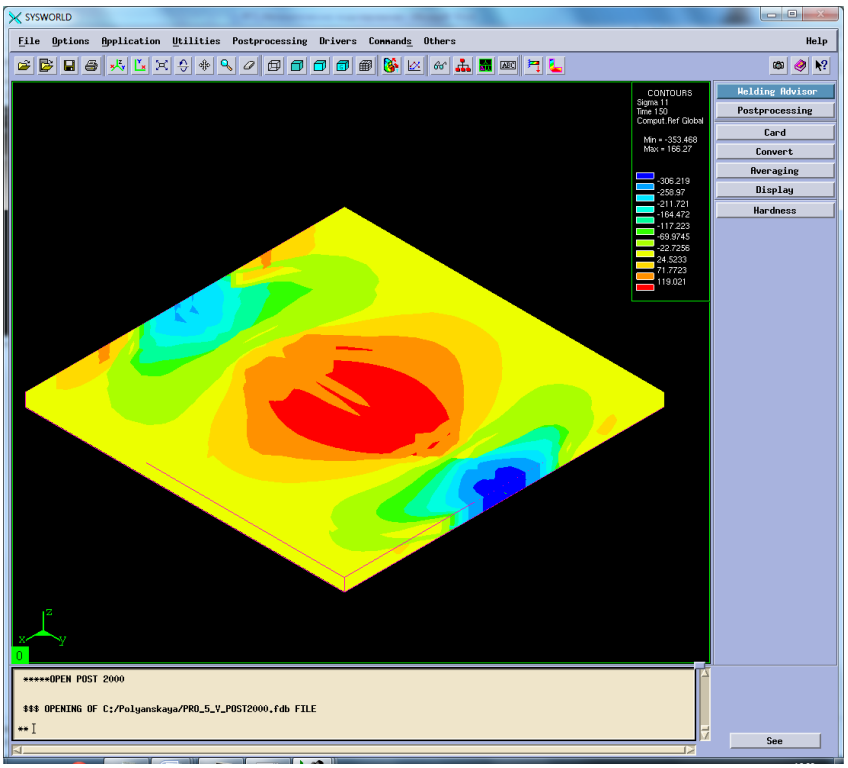


Рисунок 83. Напряжение относительно OX.

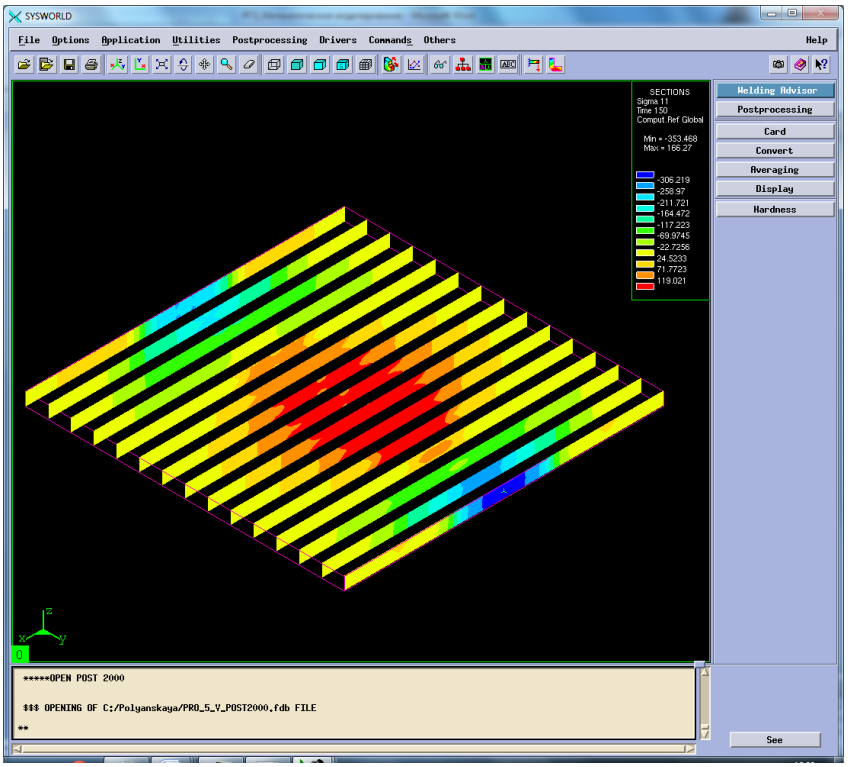


Рисунок 84.Разбиение на сечения.

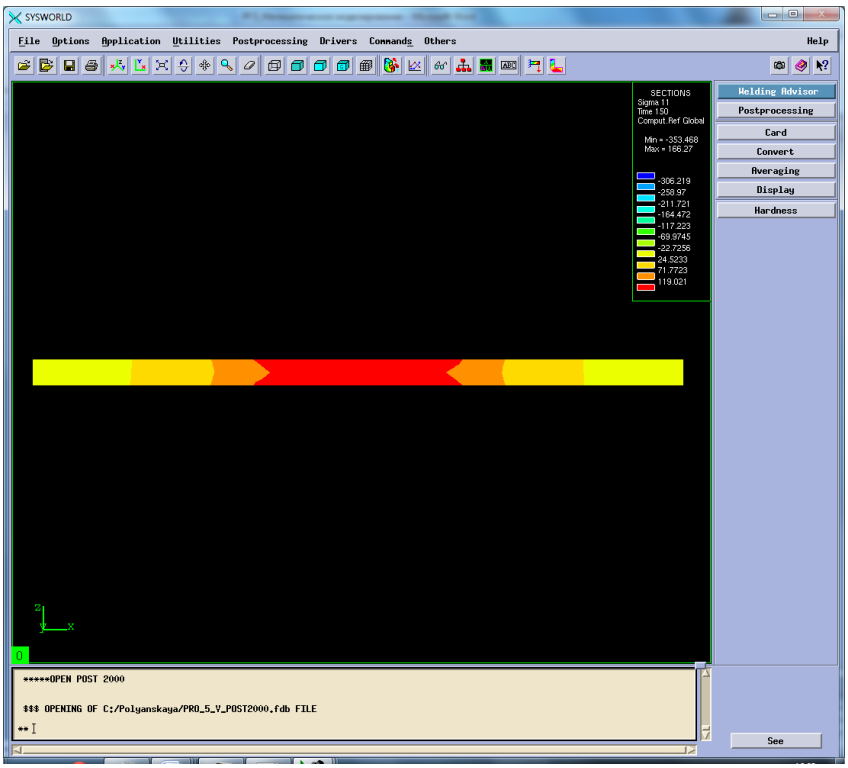


Рисунок 85. Сечение №7.

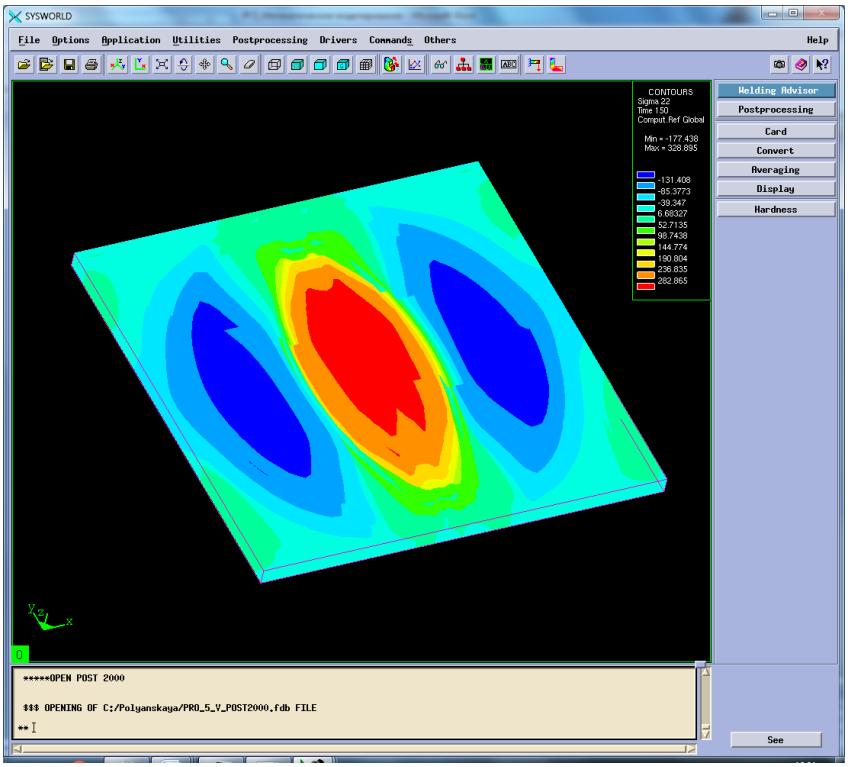


Рисунок 86. Напряжение относительно ОУ.

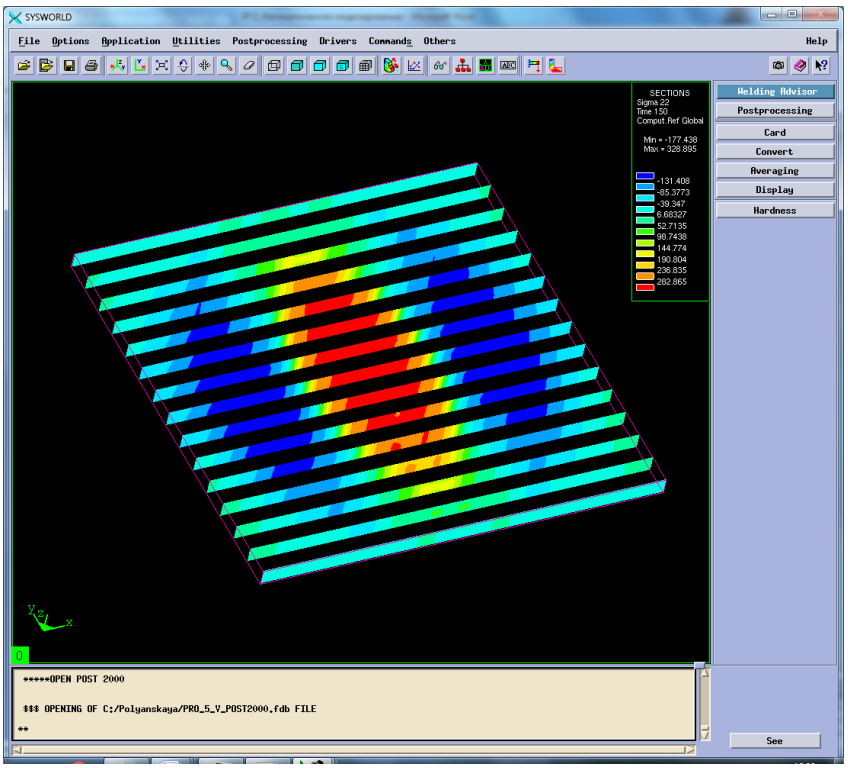


Рисунок 87. Разбиение на сечения.

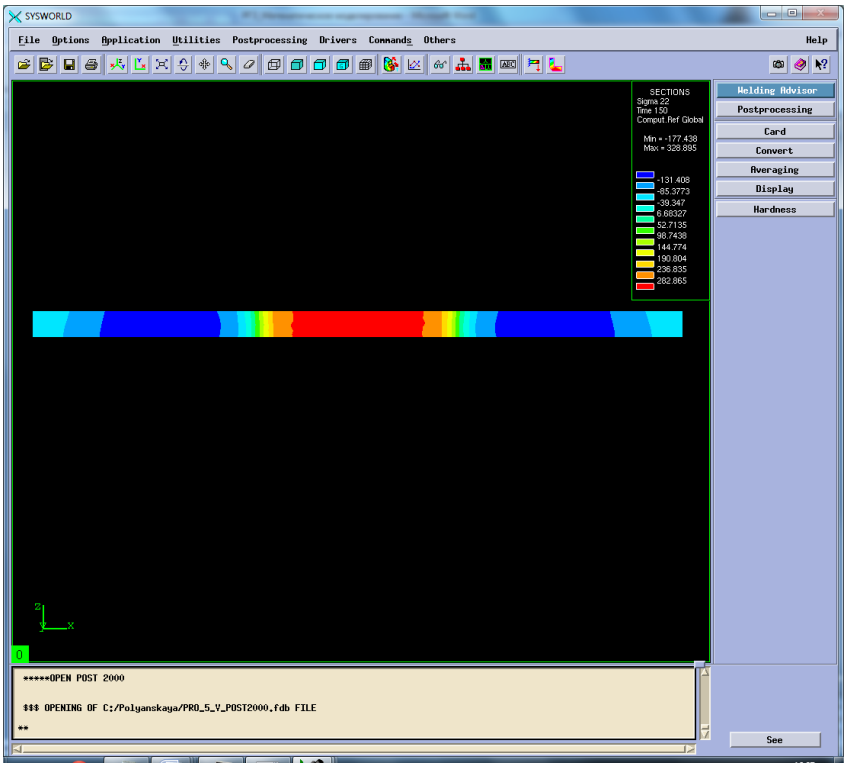


Рисунок 88. Сечение №7.

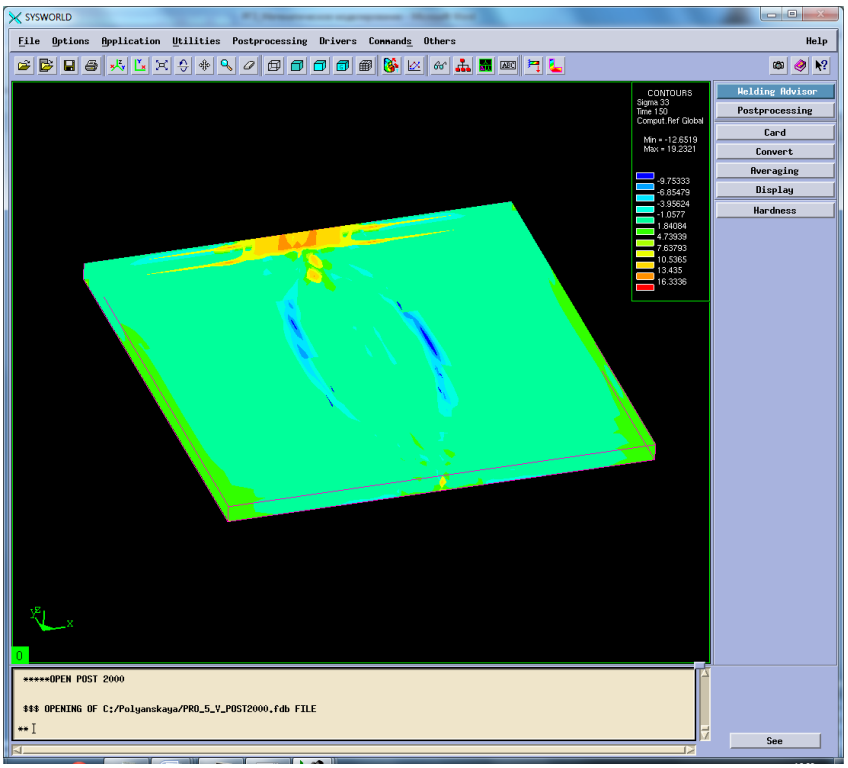


Рисунок 89. Напряжение относительно OZ.

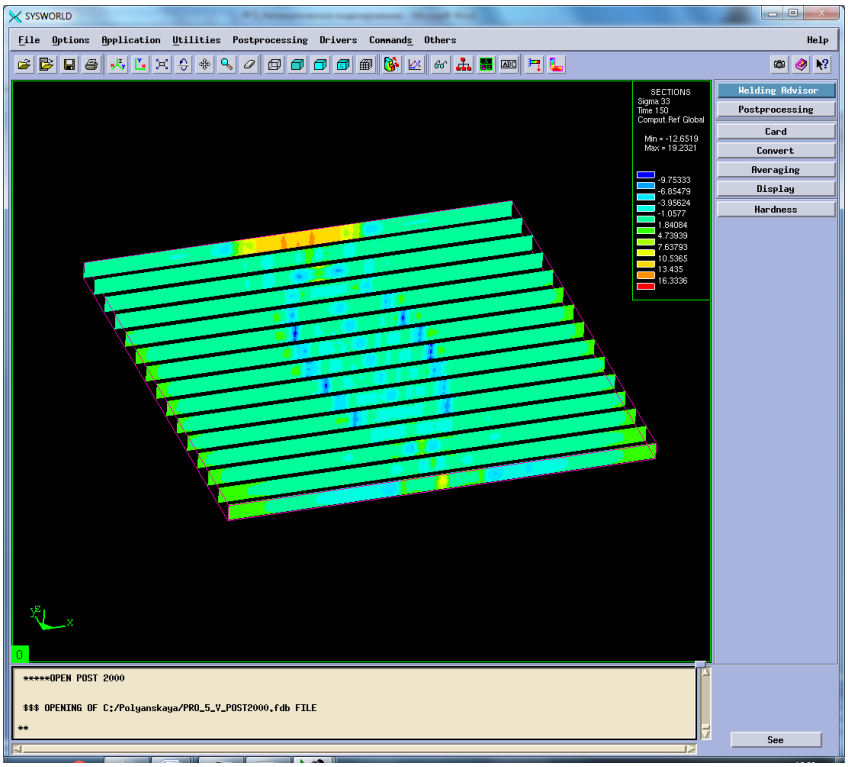


Рисунок 90. Разбиение на сечения.

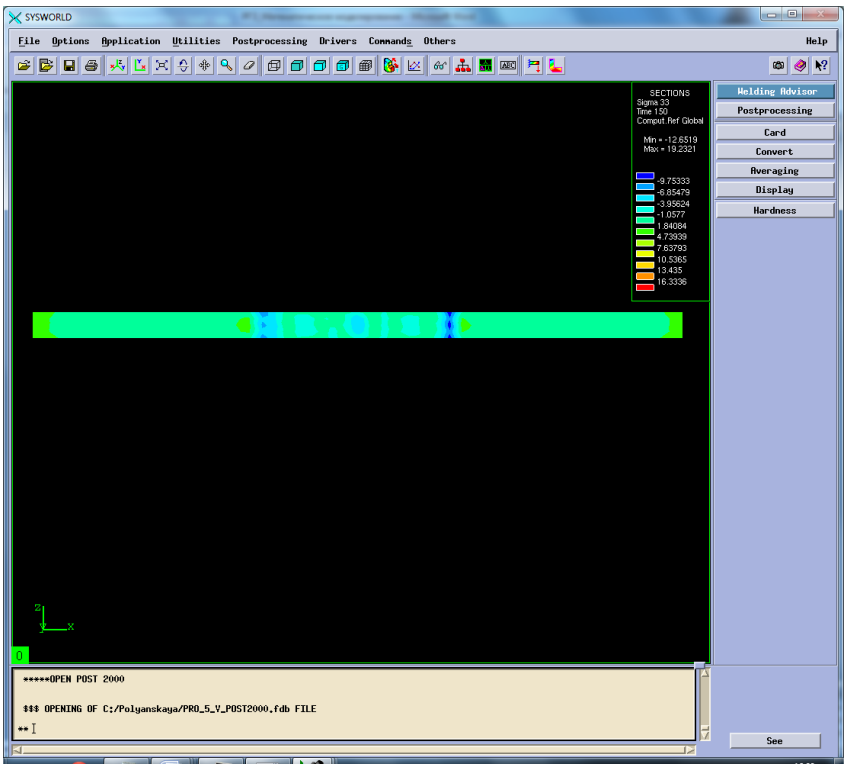


Рисунок 91. Сечение №7.

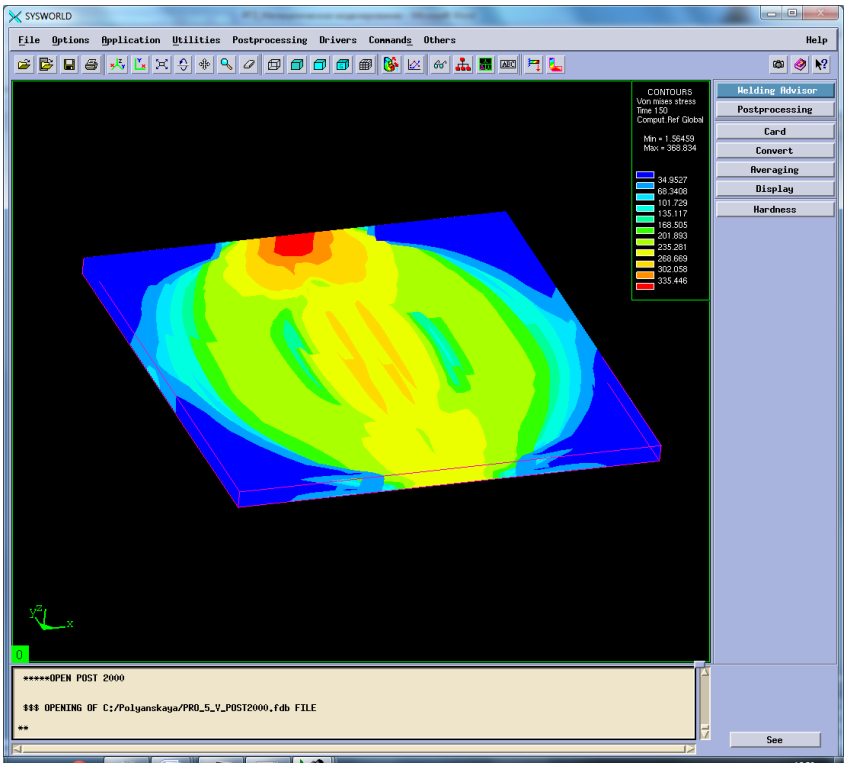


Рисунок 92. Напряжение по Мизесу.

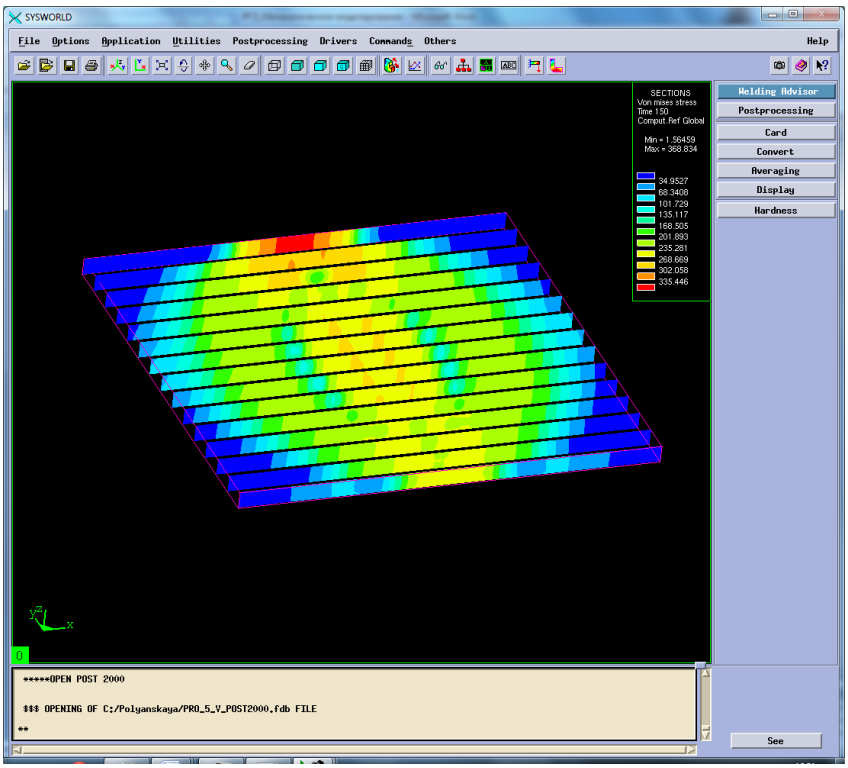


Рисунок 93. Разбиение на сечения.

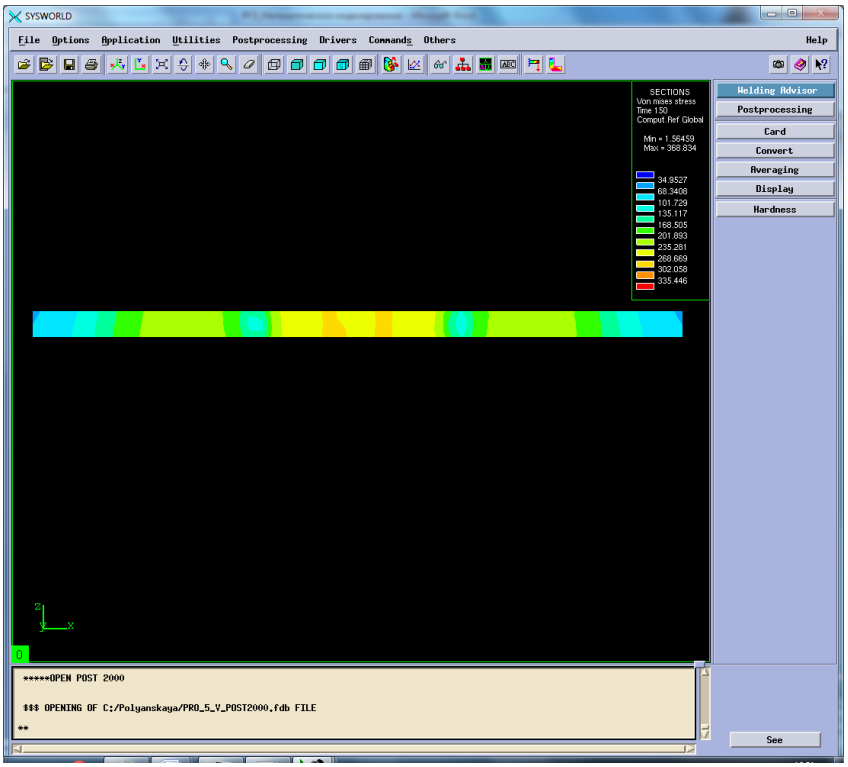


Рисунок 94. Сечение № 7.

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 *Sysweld*. 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