

«

»

“

”

. . . . .

31.08.2022

: . . . . .

:

:

<https://www.nstu.ru/university/info/sveden/education>

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Математическое моделирование и оптимизация технологических процессов**

: 15.04.05

-

:

: 2, : 3

- ,

		<b>3</b>
<b>1</b>	( )	6
<b>2</b>		216
<b>3</b>	, .	64
<b>4</b>	, .	0
<b>5</b>	, .	18
<b>6</b>	, .	0
<b>7</b>	, .	10
<b>8</b>	, .	1
<b>9</b>	, .	2
<b>10</b>	, .	44
<b>11</b>	, .	152
<b>12</b>	( , ( )/ , )	
<b>13</b>		

( ): 15.04.05

-

1045 17.08.2020 . , : 09.09.2020 .

: 1,

,

( ): 15.04.05 -

, 31.08.2022

- , 6 31.08.2022

:

, . . . . . . . .

:

. . .

## 1.1

-1.	/
-1.	/ .5
-2.	/
-2.	/ .1
-2.	/ .3
-2.	/ .4

**2.**

## 2.1

<b>ПК-1.В/ПР. 5 Умеет использовать при решении задач САПР, инструментальные системы, языки программирования, системы управления и контроля, системы сбора и обработки данных</b>	
	;
,	;
,	;
,	;
,	;
<b>ПК-2.В/ПР. 1 Знает основные физико-механические и химические свойства материалов, используемых в современном машиностроении</b>	
-	;
<b>ПК-2.В/ПР. 3 Знает структурный подход к проектированию, изготовлению, эксплуатации и переработке машиностроительной продукции</b>	
,	;

	;
	;
,	;
<b>ПК-2.В/ПР. 4 Уметь выбирать системы экологической безопасности машиностроительных производств</b>	
	;

### 3.

#### 3.1

		„ .”	, .		
<b>: 3</b>					
: , - -					
1.	0,5	0	0	-1. / .5 , -2. / . 3, -2. / . .4	
2.	0,5	0	0	-1. / .5 , -2. / . 3	
3. - -	0,5	0	0	-1. / .5 , -2. / . 1, -2. / . .3	- -
: - <b>CAE</b>					
4.	0,5	0	0	-1. / .5 , -2. / . 1, -2. / . .3	
5. 3D Sysweld Ansys. 3D - .	3	0	2	-1. / .5 , -2. / . 1, -2. / . .3	3D Sysweld Ansys
:					



6.				-1. / .5 -2. / . 3	
7.	3	0	2		
Heat Input Fitting Welding Advisor	4	0	2	-1. / .5 -2. / . 3, -2. / . .4	Heat Input Fitting Welding Advisor
8.				-1. / .5 -2. / . 3, -2. / . .4	
Welding wizard	6	1	4		Welding wizard

### 3.1

### 3.2

			( )
1	Welding wizard		Welding wizard

### 3.2

### 3.3

: 3				
1	/	-1. / .5, -2. / .1, - 2. / .3	62	15
<p>ANSYS. SYSWELD</p> <p>" - " -Kjellberg Finsterwalde".</p> <p>" : ' Axiovert 40MAT, AXIO Observer</p> <p>A1m; Tecnai G2 20TWIN,</p> <p>EVO 50 XVP, ARL X'TRA,</p> <p>ARL 3460 Quantis.: . .</p> <p>[ ] : / . .</p> <p>; . . . . . , [2017]. - :</p> <p><a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194</a>. - .</p>				
2		-1. / .5, -2. / .1, - 2. / .3, -2. / .4	10	0

<p> [2017]. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194. -  , 2016. - 19, [1] : .. - :  http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042 </p>				
3		-1. / .5, -2. / .1, -50 2. / .3		24
<p> 3D (CAD- ): SolidWorks, SolidEdge, NX, PowerShape . .  ( ).  - - ( ).: . .  [ ]:  - / . . ; . . - . , [2017]. -  : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194. - . </p>				
4		-1. / .5, -2. / .1, -30 2. / .3, -2. / .4		5
<p> ; [ ]:  - / . . ; . . - . ,  [2017]. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194. - . </p>				

### 3.3

, ( . 3.4).

3.4

	-
	e-mail:: skiba@corp.nstu.ru; : :http://ciu.nstu.ru/kaf/persons/20541
	e-mail:skiba@corp.nstu.ru; :http://ciu.nstu.ru/kaf/persons/20541; :http://dispace.edu.nstu.ru/didesk/course/show/2456
	e-mail:skiba@corp.nstu.ru; :Skype: skeeba_vadim
	:http://dispace.edu.nstu.ru/didesk/course/show/2456

1		-1. / -2. /
<b>Формируемые умения:</b> 1. Знает основные физико-механические и химические свойства материалов, используемых в современном машиностроении; 3. Знает структурный подход к проектированию, изготовлению, эксплуатации и переработке машиностроительной продукции; 4. Уметь выбирать системы экологической безопасности машиностроительных производств; 5. Умеет использовать при решении задач САПР, инструментальные системы, языки программирования, системы управления и контроля, системы сбора и обработки данных		
<b>Краткое описание применения:</b> Обсуждение общих принципов создания математических моделей поведения рассчитываемых изделий и материалов.		

## 4.

( ),

-  
15-

ECTS.

. 4.1.

4.1

<b>: 3</b>		
<i>Практические занятия:</i>	6	36
<a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194</a> . - [ ]:		
<i>РГЗ/Реферат:</i>	18	24
<a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194</a> . - [ ]:		
<i>Экзамен:</i>	26	40
<a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194</a> . - [ ]:		

4.2

4.2

		/	
<b>-1. /</b>	-1. / 5. , , ,	+	+
<b>-2. /</b>	-2. / 1. - ,	+	+
	-2. / 3. , ,	+	+

	-2. / 4.	+	+
--	----------	---	---

1

## 5.

1. Skeebe V. Y. Mathematical modeling and optimization of technological processes [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / V. Y. Skeebe ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2012]. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000175252](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000175252). - Загл. с экрана.
2. Присекин В. Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел : [учебник] / В. Л. Присекин, Г. И. Расторгуев. - Новосибирск, 2010. - 237 с. : ил.. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000125831](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000125831)
3. Ивликов С. Ю. Основы конечно-элементного моделирования в системе ANSYS : учебное пособие / С. Ю. Ивликов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 66, [1] с. : ил.. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000077935](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000077935). - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".

1. Подгорный Ю. И. Математическое моделирование технологических машин : [учебное пособие] / Ю. И. Подгорный, В. Ю. Скиба, Т. Г. Мартынова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017.- 84, [2] с. : ил.- Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000236933](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000236933)

1. Портал машиностроения [Электронный ресурс]: источник отраслевой информации. - 2017. - Режим доступа : <http://www.mashportal.ru>. - Загл. с экрана.

## 6.

### 6.1

1. Дудкина М. П. Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : учебно-методическое пособие / М. П. Дудкина, Ю. В. Никитин ; Новосиб. гос. техн. ун-т.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2022.- 61, [1] с. : табл.- Текст : непосредственный.- Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=223022](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=223022)
2. Скиба В. Ю. Моделирование процессов в промышленности [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / В. Ю. Скиба ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2017]. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000234194](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234194). - Загл. с экрана.
3. Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина]. - Новосибирск, 2016. - 19, [1] с. : табл.. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000234042](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042)

### 6.2

- 1 Программный комплекс для 3-D моделирования процессов сварки и термообработки ESI Group SYSWELD
- 2 набор инструментов инженерного моделирования ANSYS Ansys Academic Research
- 3 Трехмерное моделирование объектов АСКОН Компас 3D
- 4 Система трехмерного моделирования SolidWorks, Waltham, Massachusetts, USA SolidWorks
- 5 Система автоматизированного проектирования Siemens PLM Software SolidEdge

6.3

, - .

7. -

1	6	, .

1	BenQ W1200 DLP 1800 ANSI 1080P( .5, .250)	

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра проектирования технологических машин

“УТВЕРЖДАЮ”  
ДЕКАН МТФ  
к.т.н., доцент А.Г. Тюрин

“            ”            Г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

## ДИСЦИПЛИНЫ

**Математическое моделирование и оптимизация технологических процессов**  
Образовательная программа: **15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств**, магистерская программа:  
***Проектирование технологических машин***

## 1. Обобщенная структура фонда оценочных средств дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация технологических процессов» представлена в Таблице. Совокупность результатов обучения по дисциплине соотнесена с уровнями сформированности компетенций и соотнесенными с ними индикаторами. Индикаторы достижения компетенций измеряемы с помощью средств текущей и промежуточной аттестации по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация технологических процессов».

Таблица

Формируемые компетенции	Индикаторы компетенций	Темы	Этапы оценки результатов обучения и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (контрольная работа, курсовой проект, РГЗ(Р), реферат и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ПК-1.В/ПР Способен выполнять разработку функциональной, логической, технической и экономической организации машиностроительных производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения на основе современных методов, средств и технологий проектирования и автоматизации	5. Умеет использовать при решении задач САПР, инструментальные системы, языки программирования, системы управления и контроля, системы сбора и обработки данных	Виды источников энергии и функциональные зависимости, описывающие интенсивность распределения тепла Использование модуля Heat Input Fitting мастера сварки Welding Advisor Метод конечных элементов Программы и алгоритмы построения математических моделей Создание и расчет стандартного сварного соединения с использованием модуля Welding wizard Стратегия создания 3D модели объектов расчета средствами Sysweld и Ansys. Меширование 3D модели и создание регулярной конечно-элементной сетки. Подготовка компонентов КЭМ Численные методы решения задачи структурно-фазовых превращений и напряженно-деформированного состояния Численные методы решения уравнения теплопроводности	РГЗ	Экзамен, вопросы 1-24
ПК-2.В/ПР Способен участвовать в разработке проектов, формулировать их цели и задачи с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных и прочих параметров, разрабатывать обобщенные варианты решения проектных задач и выбирать оптимальные решения,	1. Знает основные физико-механические и химические свойства материалов, используемых в современном машиностроении	Метод конечных элементов Стратегия создания 3D модели объектов расчета средствами Sysweld и Ansys. Меширование 3D модели и создание регулярной конечно-элементной сетки. Подготовка компонентов КЭМ Численные методы решения задачи структурно-фазовых превращений и напряженно-деформированного состояния	РГЗ	Экзамен, вопросы 1-24

разрабатывать технические задания на создание новых и модернизацию существующих машиностроительных изделий, устройств, средств и систем конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств, проводить технические расчеты по выполняемым проектам, технико-экономическому и функционально-стоимостному анализу эффективности проектируемых машиностроительных производств, средствам и системам оснащения, проводить оценку инновационного потенциала выполняемых проектов и их риски				
ПК-2.В/ПР	3. Знает структурный подход к проектированию, изготовлению, эксплуатации и переработке машиностроительной продукции	Виды источников энергии и функциональные зависимости, описывающие интенсивность распределения тепла Использование модуля Heat Input Fitting мастера сварки Welding Advisor Метод конечных элементов Программы и алгоритмы построения математических моделей Создание и расчет стандартного сварного соединения с использованием модуля Welding wizard Стратегия создания 3D модели объектов расчета средствами Sysweld и Ansys. Меширование 3D модели и создание регулярной конечно-элементной сетки. Подготовка компонентов КЭМ Численные методы решения задачи структурно-фазовых превращений и напряженно-деформированного состояния Численные методы решения уравнения теплопроводности	РГЗ	Экзамен, вопросы 1-24
ПК-2.В/ПР	4. Уметь выбирать системы экологической безопасности машиностроительных производств	Использование модуля Heat Input Fitting мастера сварки Welding Advisor Создание и расчет стандартного сварного соединения с использованием модуля Welding wizard Численные методы решения	РГЗ	Экзамен, вопросы 1-24



		уравнения теплопроводности		
--	--	----------------------------	--	--

## 2. Методика оценки этапов формирования компетенций по дисциплине

Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций проверяются при проведении мероприятий текущей аттестации (контроля) в процессе изучения дисциплины, указанных в таблице раздела 1.

В 3 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)). Требования к выполнению РГЗ(Р), состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р).

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 3 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с установленными в программе индикаторами достижения компетенций ПК-1.В/ПР, ПК-2.В/ПР и соотнесенных с ними индикаторов. (см. таблицу раздела 1).

Экзамен проводится в устной и письменной форме, по билетам. На экзамене студенту выдается билет, включающий 1 комплексное задание: выполнить в конечно-элементном комплексе *Sysweld* моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) материала в условиях соответствующего технологического процесса (сварка / термообработка) и определить рациональные режимы обработки.

Общие правила выставления оценок текущей и промежуточной аттестации по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе дисциплины.

На основании критериев, приведенных в п. 3, осуществляется оценка уровней достигнутых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в программе индикаторами достижения компетенций ПК-1.В/ПР, ПК-2.В/ПР, закрепленных за дисциплиной

## 3. Общая характеристика уровней результатов обучения, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

**Продвинутый.** Теоретическое содержание курса освоено полностью. Студент демонстрирует систематическое и глубокое понимание учебного материала и способность к самостоятельному пополнению и обновлению знаний в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности. Сформированы необходимые навыки практической работы. Все учебные задания, предусмотренные программой обучения, выполнены качественно, без замечаний. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов, входящим в диапазон продвинутого уровня.

**Базовый.** Теоретическое содержание курса освоено в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности. Навыки практической работы сформированы на базовом уровне. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены с небольшими погрешностями. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов в пределах базового уровня.

**Пороговый.** Теоретическое содержание курса освоено в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности. Некоторые практические навыки работы сформированы с пробелами. Учебные задания, предусмотренные программой обучения, выполнялись с ошибками, исправленными под руководством преподавателя. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов в пределах порогового уровня.

**Ниже порогового.** Теоретическое содержание курса освоено фрагментарно. Необходимые навыки практической работы сформированы минимально. Большинство учебных заданий, предусмотренных программой обучения, не выполнены. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций, оценены числом баллов, входящих в диапазон ниже порогового уровня.

## Паспорт экзамена

по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация технологических процессов», 3 семестр

### 1. Методика оценки

Студент допускается к сдаче экзамена при условии, что он выполнил и защитил все практические работы и расчетно-графическое задание, а также у него есть весь лекционный материал, и набрал не менее 24 баллов.

На экзамене студенту выдается билет, включающий одно комплексное задание: выполнить в конечно-элементном комплексе Sysweld моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) материала в условиях соответствующего технологического процесса (сварка / термообработка) и определить рациональные режимы обработки. Распределение дидактических единиц по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины».

Выставление оценок на экзамене осуществляется на основе выполнения и защиты двух вопросов. Экзамен считается сданным, если ответы даны на оба вопроса при этом рейтинг студента по итоговой аттестации составляет не менее 26 баллов. Оценивание ответа на вопросы осуществляется в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 26-30 баллов; "хорошо" – 31-36 баллов; "отлично" – 37-40 баллов. Всего за два вопроса студент может получить максимум 40 баллов.

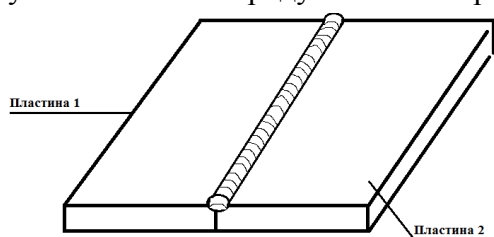
### Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет МТФ

#### Билет № 1

к экзамену по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация технологических процессов»

В конечно-элементном комплексе *Sysweld* посредством использования мастера сварки *Welding Advisor* выполнить расчет напряженно-деформированного состояния материала в условиях электродуговой сварки. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т):



100мм×35мм×4мм. Материал свариваемых пластин – малоуглеродистая сталь. Скорость источника 5 мм/с, Мощность источника: 1600 Вт.

Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.

Утверждаю: зав. кафедрой \_\_\_\_\_ должность, ФИО  
(подпись)

(дата)

## 2. Критерии оценки

*Защита считается неудовлетворительной*, если студент не освоил теоретический материал и не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет менее 26 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **пороговом уровне***, если студент освоил теоретический материал, но не смог обобщить теоретический и практический материал; оценка составляет 26-30 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **базовом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, допустил несколько ошибок при защите, привёл не достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения при ответе на вопросы, оценка составляет 31-36 баллов.

*Защита считается состоявшейся на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своей точки зрения по всем вопросам, оценка составляет 37-40 баллов.

## 3. Шкала оценки

Если студент в семестре работал не систематически, в результате чего не набрал требуемое количество баллов, то ему выдается дополнительное задание, тематика и объем которого определяются преподавателем.

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.

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется согласно таблице.

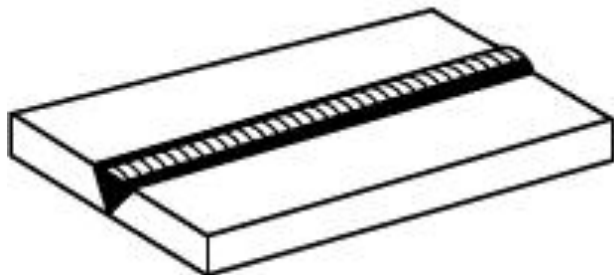
Таблица

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. Вопросы к экзамену по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация технологических процессов»

Общая часть: в конечно-элементном комплексе Sysweld посредством использования мастера сварки Welding Advisor выполнить расчет напряженно-деформированного состояния материала в условиях электродуговой или лазерной сварки.

Вопросы: 1–6.



1. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 100мм×35мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *малоуглеродистая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.

2. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 90мм×20мм×3мм. Материал свариваемых пластин – *нержавеющая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.

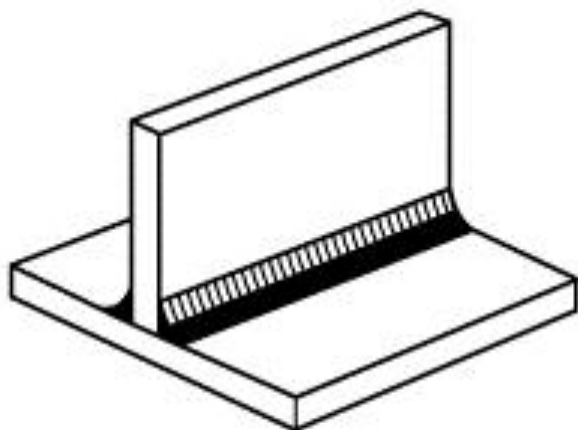
3. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 110мм×25мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *алюминиевый сплав*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.

4. Лазерная сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 100мм×35мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *малоуглеродистая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.

5. Лазерная сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 90мм×20мм×3мм. Материал свариваемых пластин – *нержавеющая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.

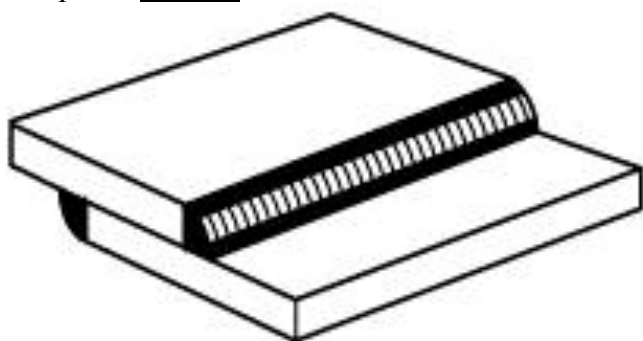
6. Лазерная сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 110мм×25мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *алюминиевый сплав*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.

Вопросы: 7–12.



1. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 100мм×50мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *малоуглеродистая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
2. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 95мм×25мм×3мм. Материал свариваемых пластин – *нержавеющая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
3. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 125мм×35мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *алюминиевый сплав*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
4. Лазерная сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 100мм×35мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *малоуглеродистая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
5. Лазерная сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 90мм×20мм×3мм. Материал свариваемых пластин – *нержавеющая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
6. Лазерная сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 110мм×25мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *алюминиевый сплав*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.

Вопросы: 13 – 18.



1. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 100мм×60мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *малоуглеродистая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
2. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 95мм×35мм×3мм. Материал свариваемых пластин – *нержавеющая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
3. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 125мм×46мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *алюминиевый сплав*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
4. Лазерная сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 100мм×56мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *малоуглеродистая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
5. Лазерная сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 90мм×32мм×3мм. Материал свариваемых пластин – *нержавеющая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
6. Лазерная сварка. Габариты свариваемых пластин (Д×Ш×Т): 110мм×46мм×4мм. Материал свариваемых пластин – *алюминиевый сплав*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.

Вопросы: 19 – 24.



1. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых труб (Длина×Диаметр×Толщина стенки): 70мм×30мм×4мм. Материал свариваемых труб – *малоуглеродистая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
2. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых труб (Длина×Диаметр×Толщина стенки): 60мм×24мм×2мм. Материал свариваемых труб – *нержавеющая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
3. Электродуговая сварка. Габариты свариваемых труб (Длина×Диаметр×Толщина стенки): 80мм×46мм×4мм. Материал свариваемых труб – *алюминиевый сплав*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
4. Лазерная сварка. Габариты свариваемых труб (Длина×Диаметр×Толщина стенки): 50мм×36мм×4мм. Материал свариваемых труб – *малоуглеродистая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
5. Лазерная сварка. Габариты свариваемых труб (Длина×Диаметр×Толщина стенки): 72мм×24мм×2мм. Материал свариваемых труб – *нержавеющая сталь*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.
6. Лазерная сварка. Габариты свариваемых труб (Длина×Диаметр×Толщина стенки): 64мм×42мм×4мм. Материал свариваемых труб – *алюминиевый сплав*. Скорость источника \_\_\_\_ мм/с, Мощность источника: \_\_\_\_ Вт. Определить: 1. Температурное поле; 2. Фазовый состав; 3. Остаточные напряжения и деформации.

## Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация технологических процессов», 3 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.

*Работа 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 Е ("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 Tescnaі G2 20TWIN, растрoвый элeктронный 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.

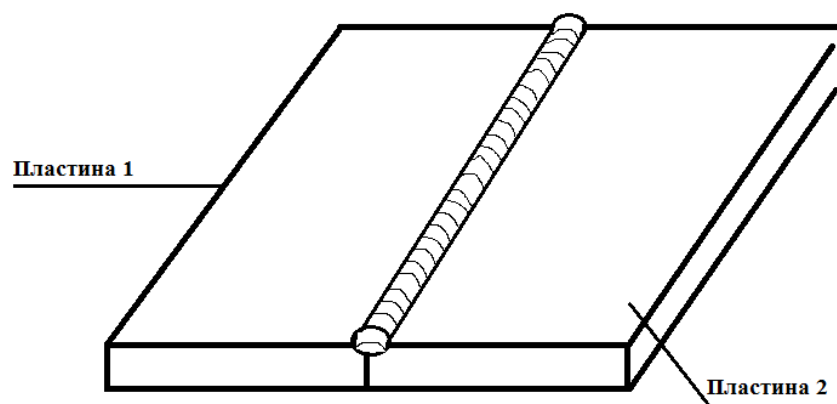


Рисунок 1. Условное изображение стыкового соединения.

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	12X18H10T	12X18H10T

### 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.

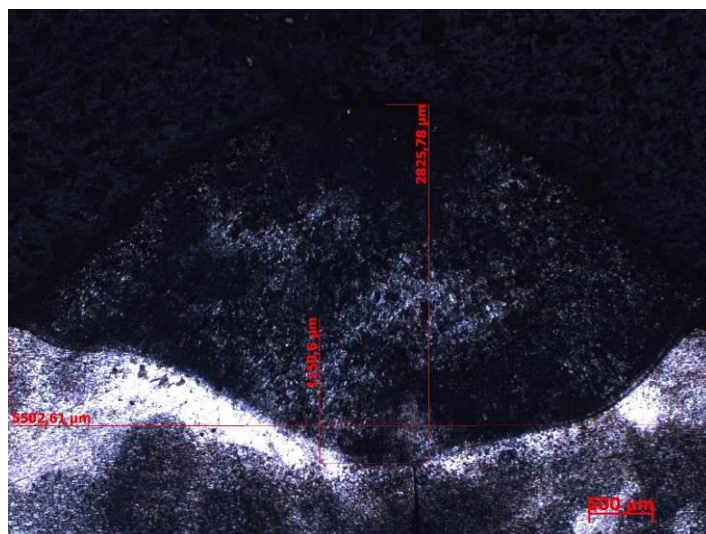


Рисунок 3. Микроструктура сварного шва.

### 3.1 Создание сетки

Выбираем Application-Welding Advisor- Heat input 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).

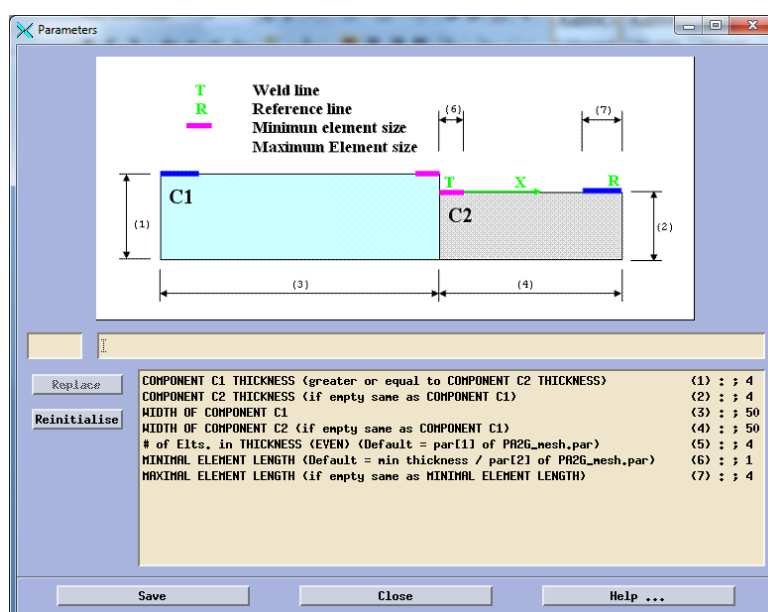


Рисунок 4. Параметры 2D сетки.

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

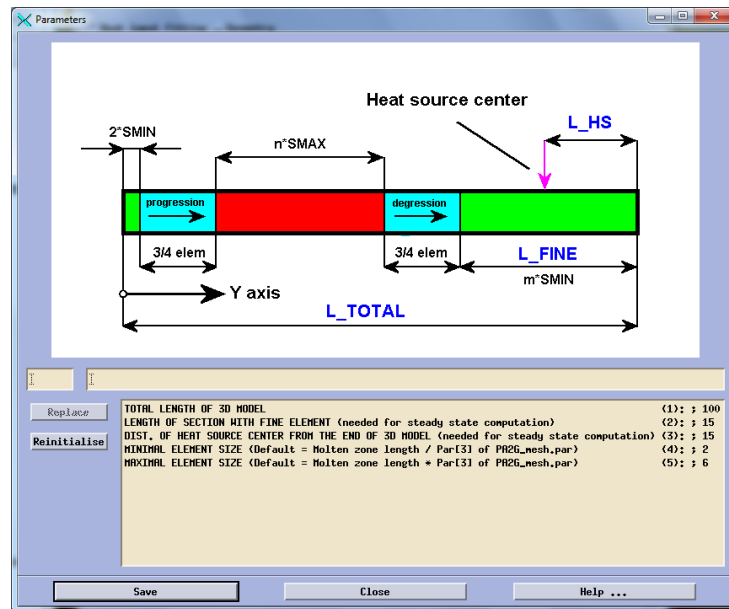


Рисунок 5. Параметры 3D сетки.

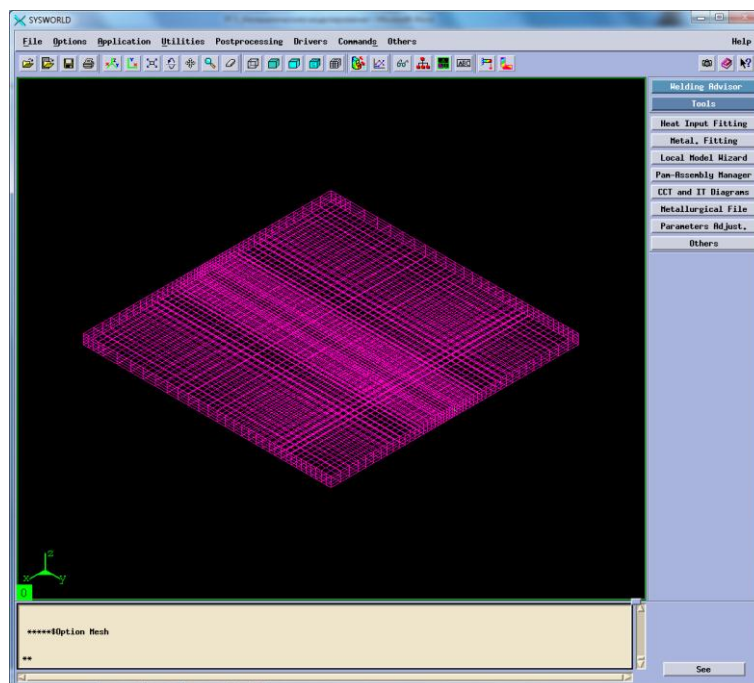


Рисунок 6. Модель сетки.

Далее необходимо задать материал пластин и электрода. В данном случае это нержавеющая сталь марки 12X18H10T, 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).

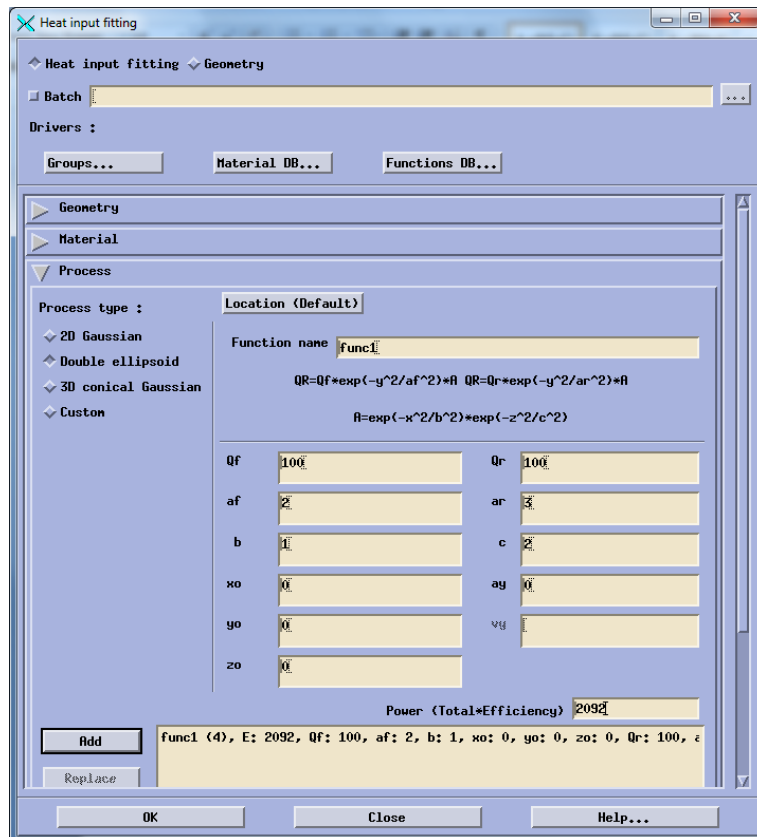


Рисунок 7. Создание функции.

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.

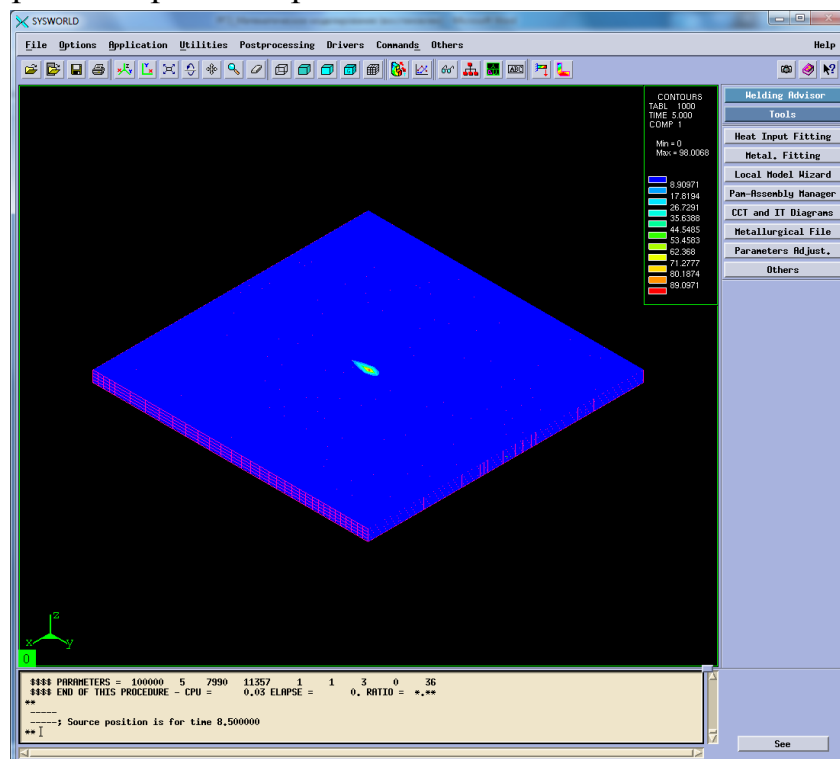


Рисунок 8.Источник нагрева в середине процесса

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

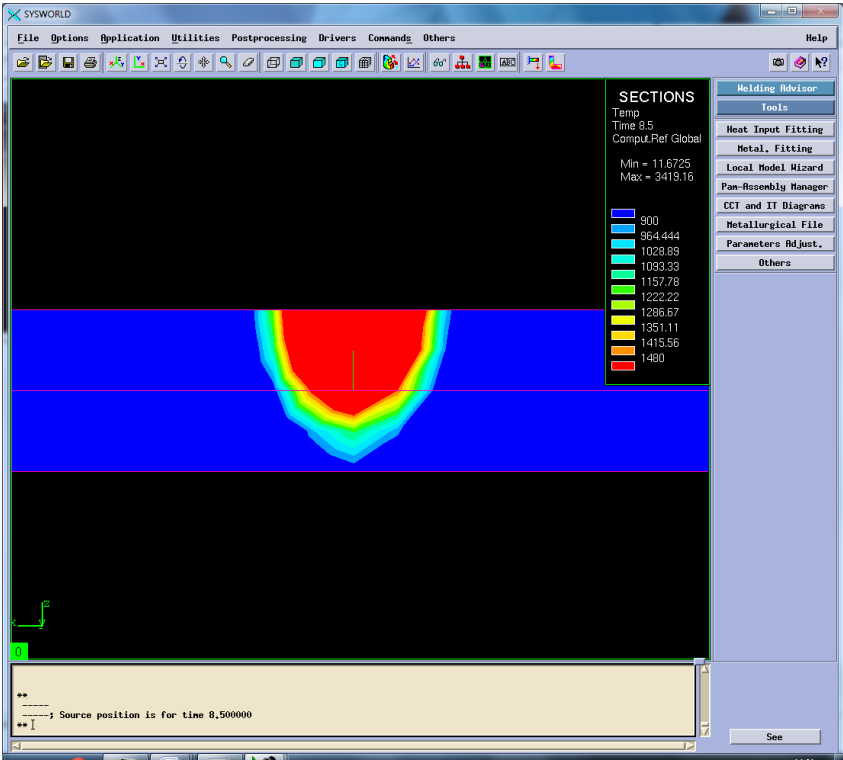


Рисунок 9. Макрофотография сварного шва натурального эксперимента.

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)

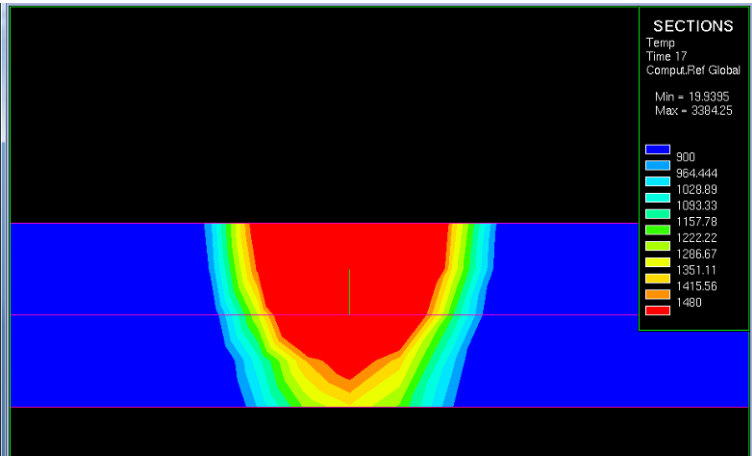


Рисунок10. Макрофотография соответствует функции №2.



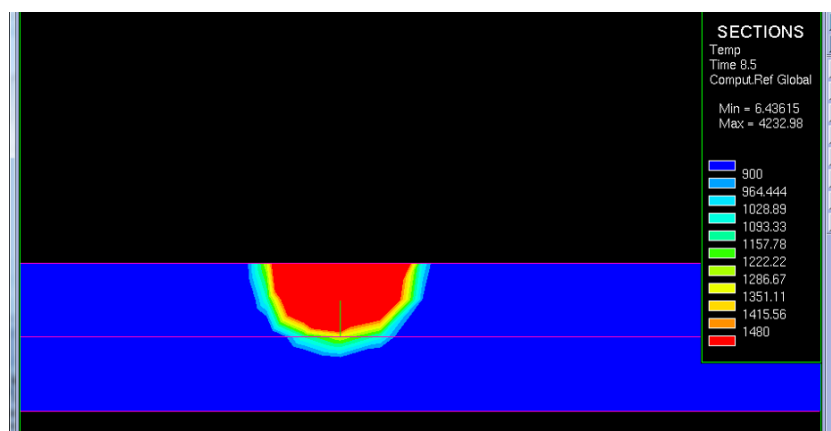


Рисунок 11. Макрофотография соответствует функции №3.

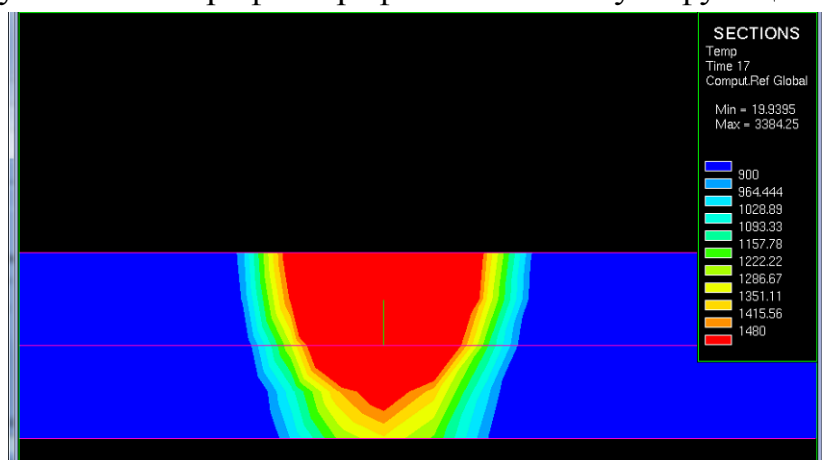


Рисунок 12. Макрофотография соответствует функции №4.

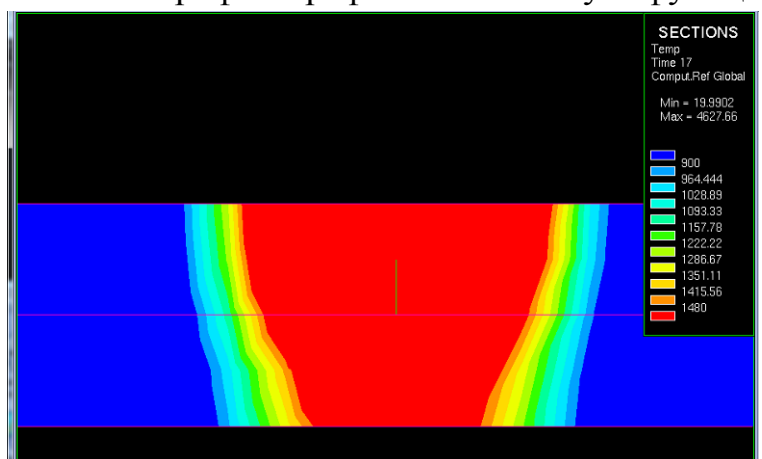


Рисунок 13. Макрофотографии соответствует функции №5.

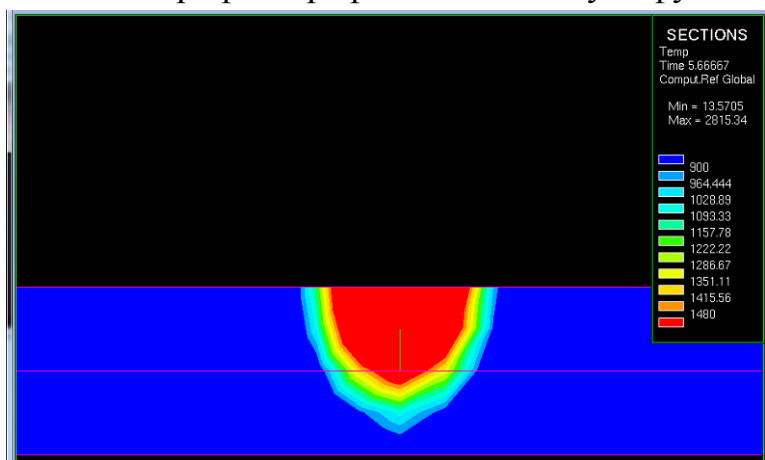


Рисунок 14. Макрофотографии соответствует функции №6.

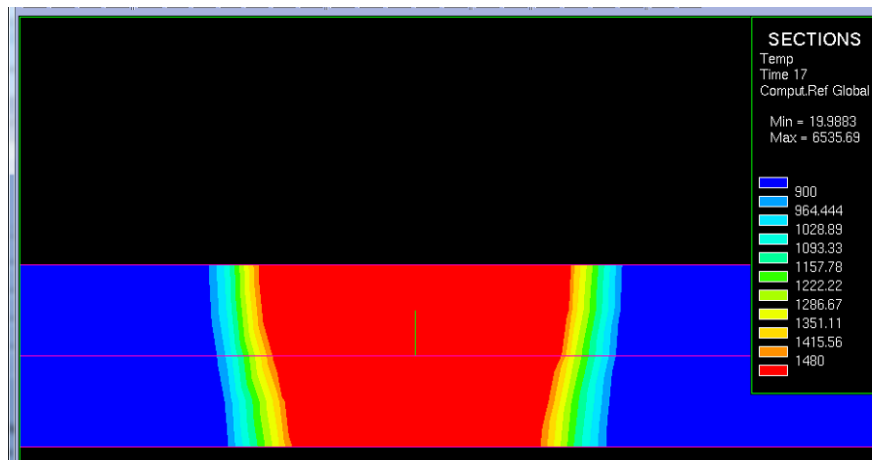


Рисунок 15. Макрофотографии соответствует функции №7.

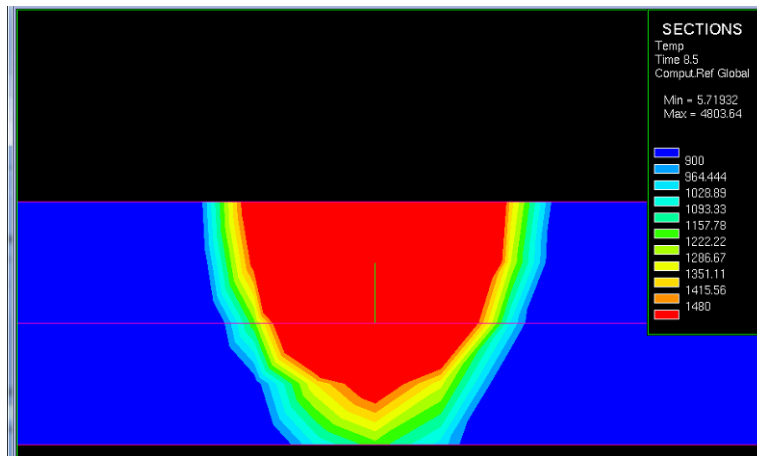


Рисунок 16. Макрофотографии соответствует функции №8.

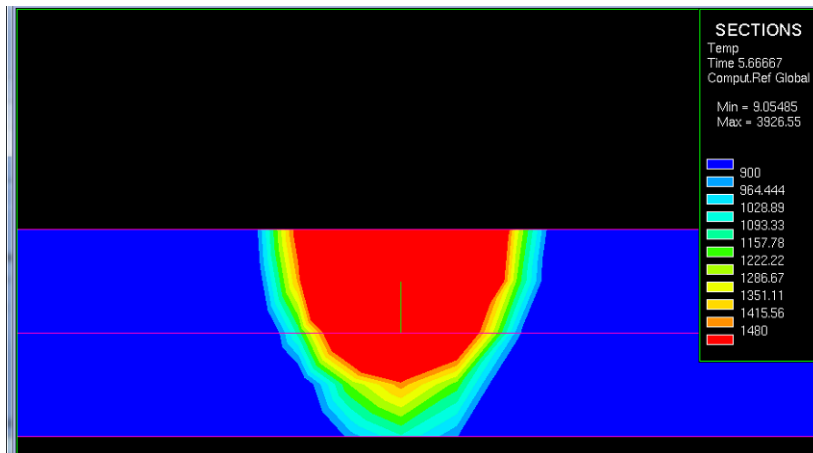


Рисунок 17. Макрофотографии соответствует функции №9.

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).

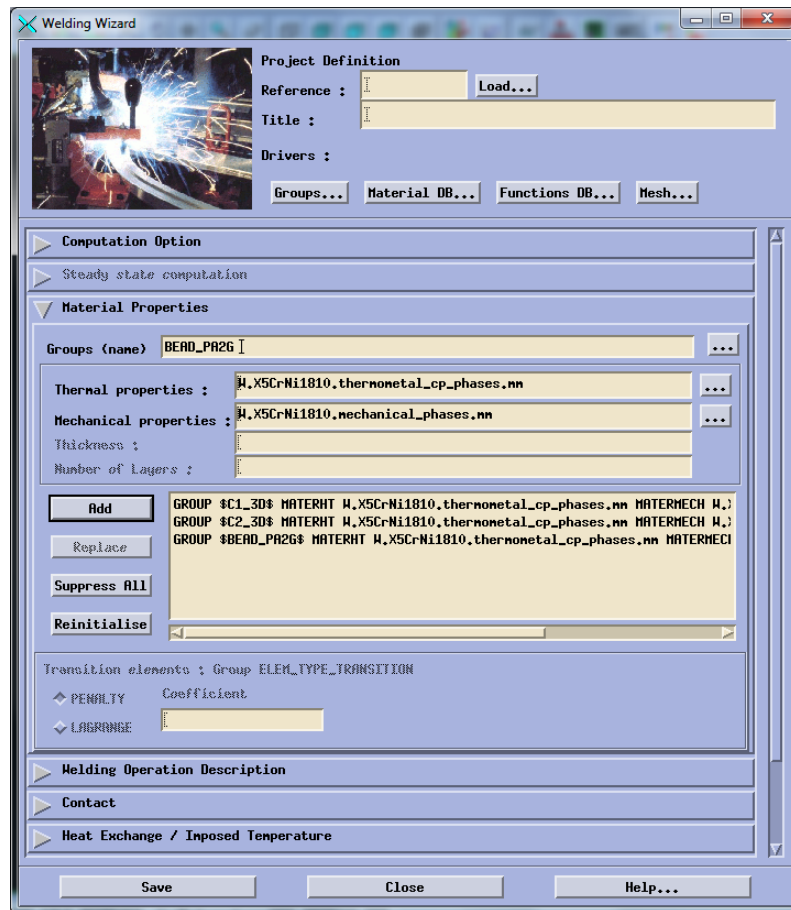


Рисунок18. Создание групп свойств материалов.

Заполняем вкладку Heat Exchange (Рисунок 19)

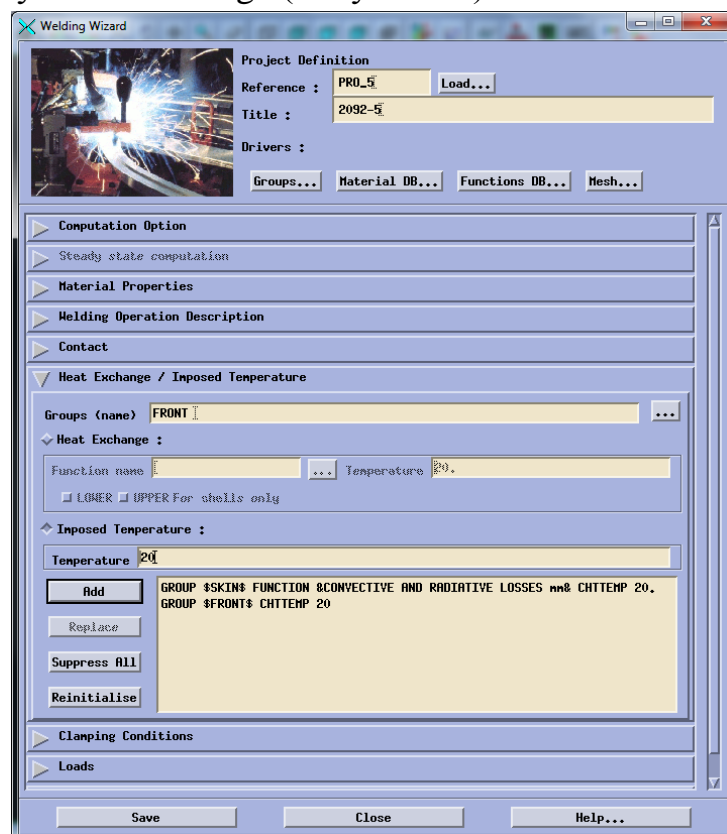


Рисунок 19. Данные Heat Exchange.

Заполняем вкладку Clamping Conditions (Рисунок20).



### 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).

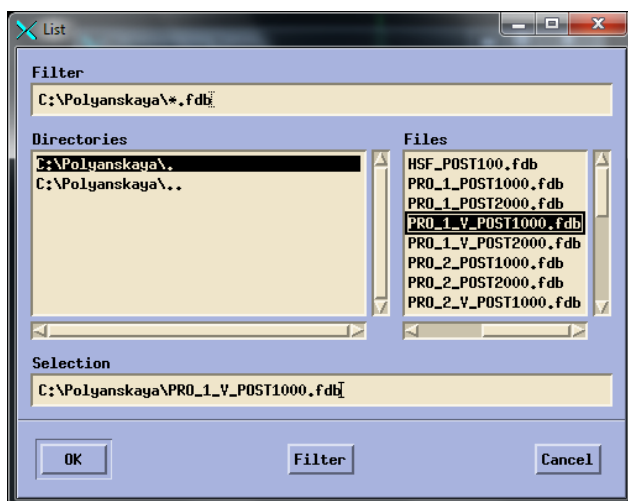


Рисунок 22. Подгрузка файла.

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

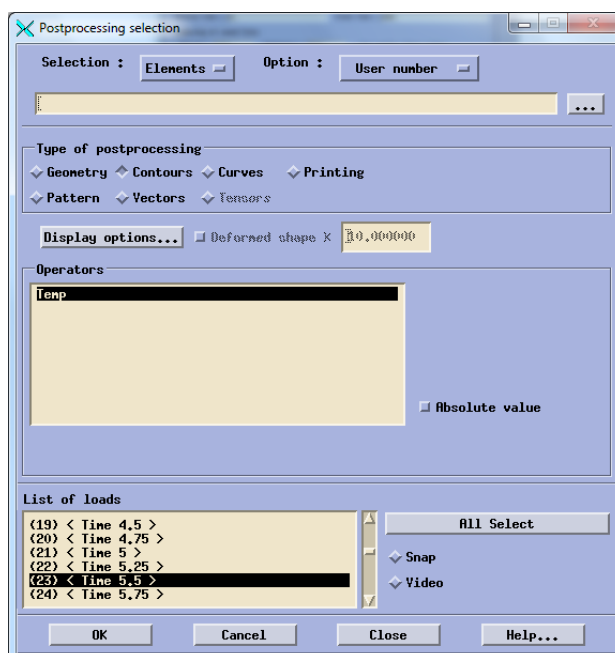


Рисунок23. Выбор данных для расчета температурных характеристик.

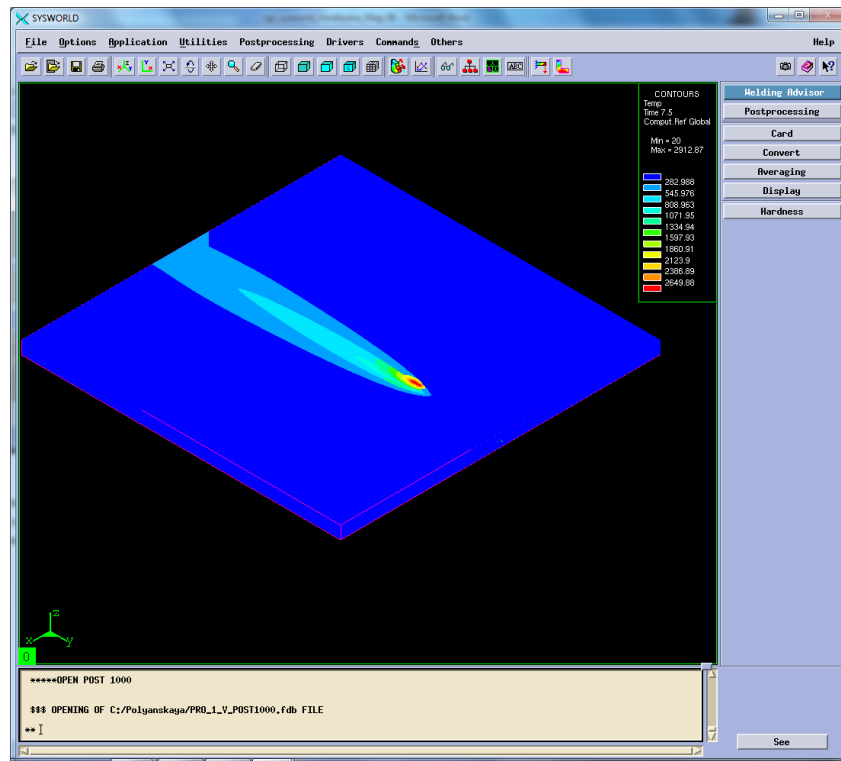


Рисунок 24. Отображение тепловых характеристик.

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

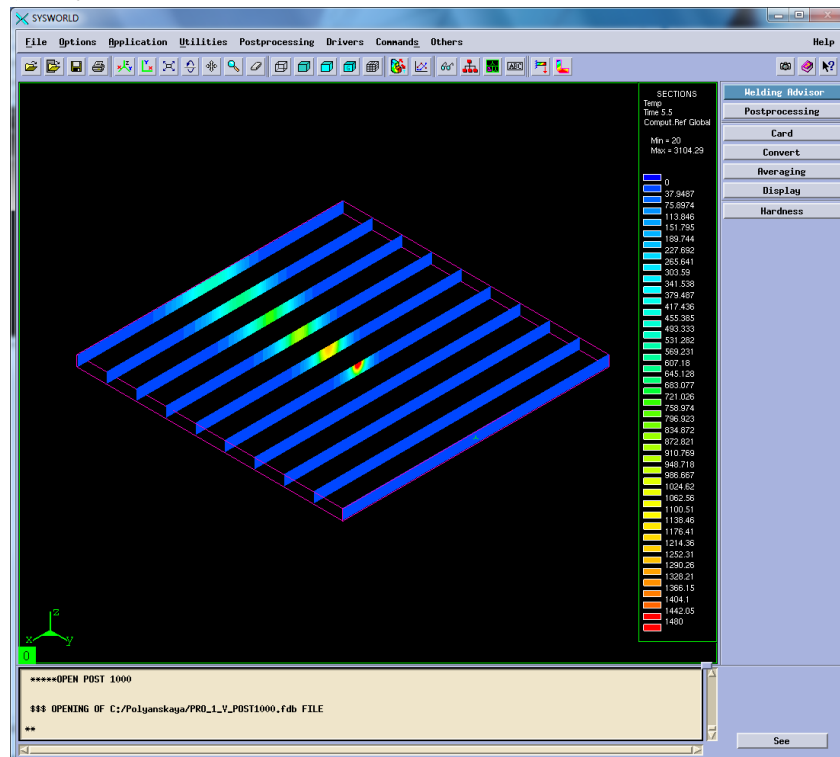


Рисунок 25. Разбиение на сечения.

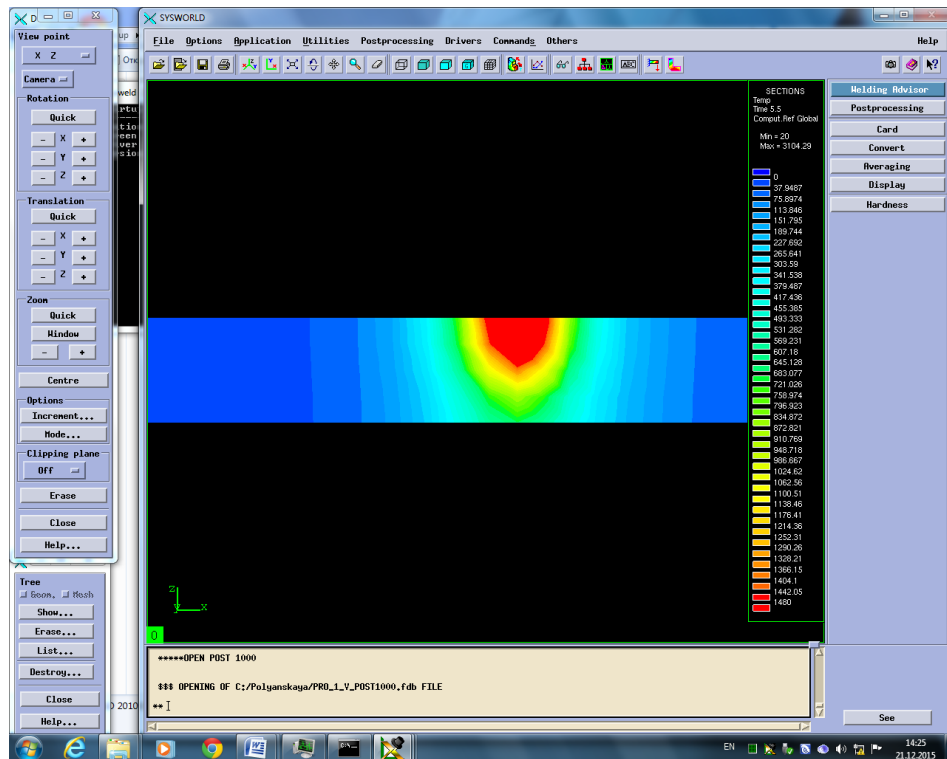


Рисунок 26. Сечение №5.

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).

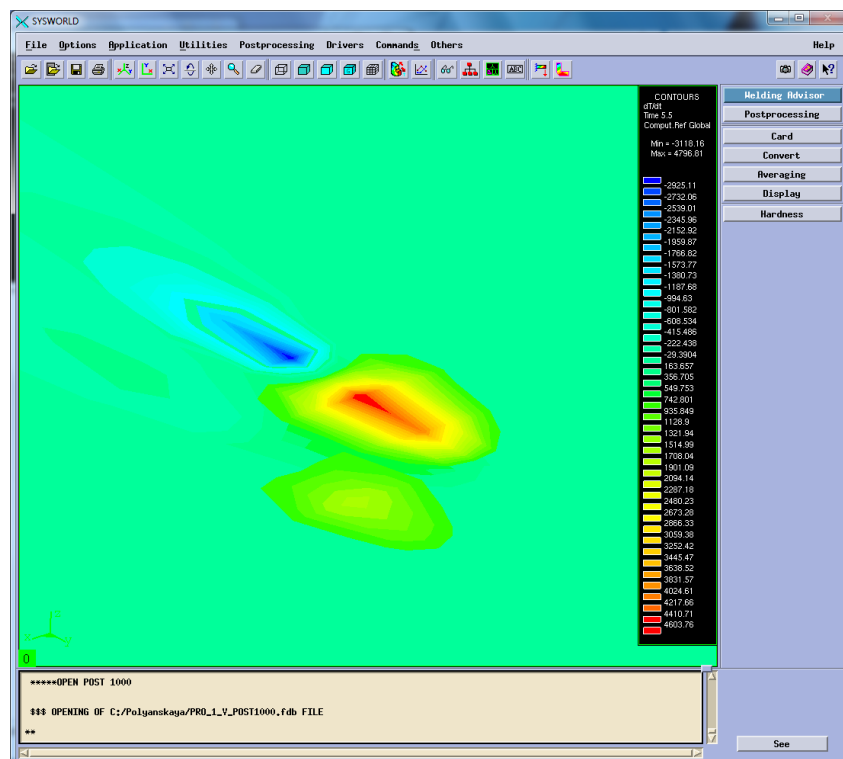


Рисунок 27. Сварное соединение, время и максимальные скорости охлаждения и нагрева.

*Максимальная скорость нагрева – 4796.81 °C/с.*

*Максимальная скорость охлаждения – (-3116.16) °C/с.*

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

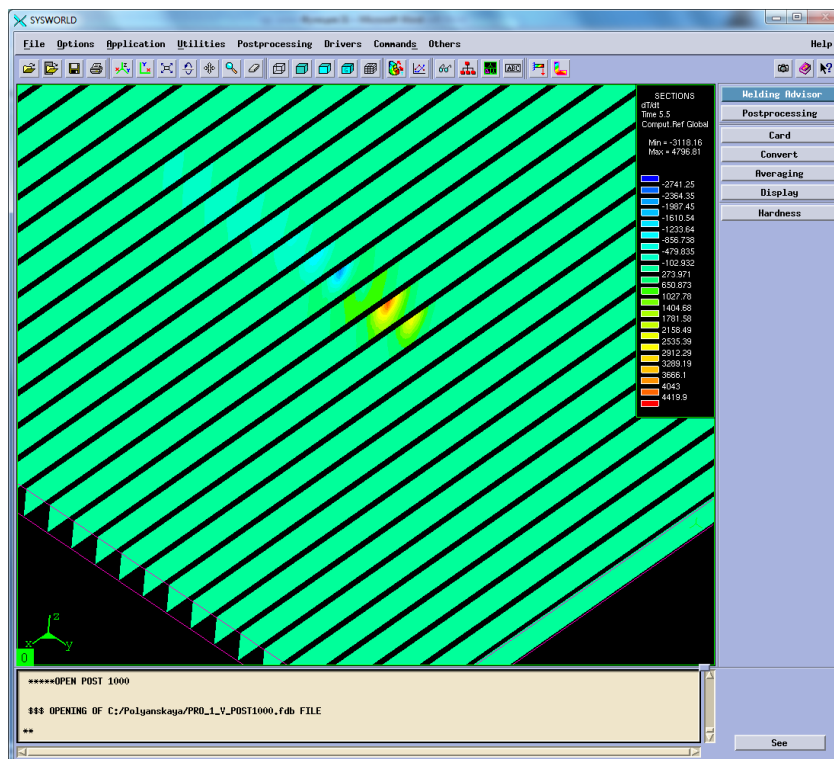


Рисунок29. Разбиение на сечения.

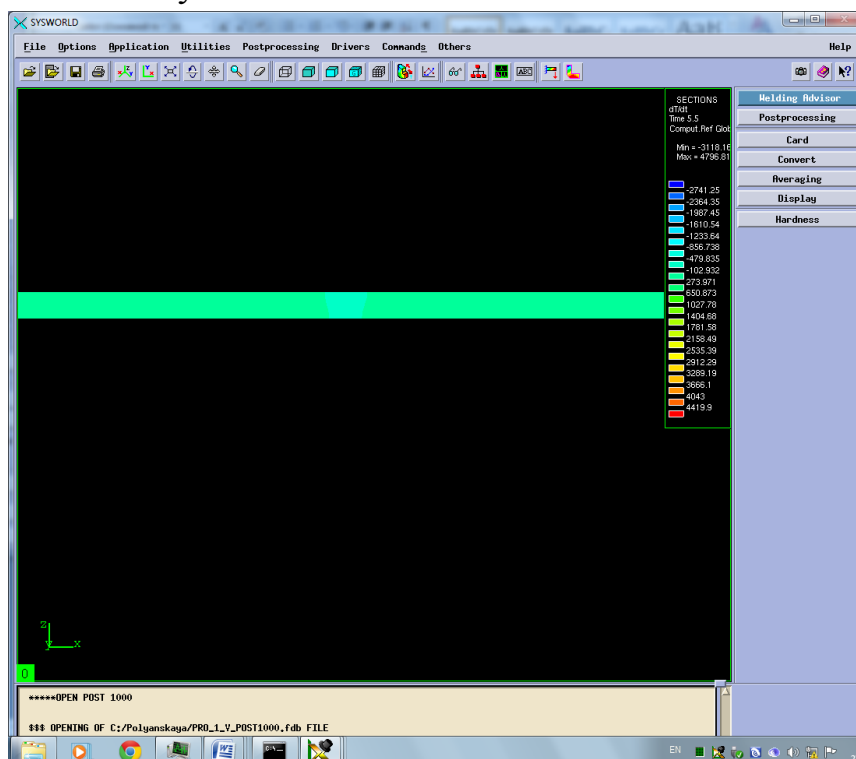


Рисунок 30. Сечение №12-Охлаждение.



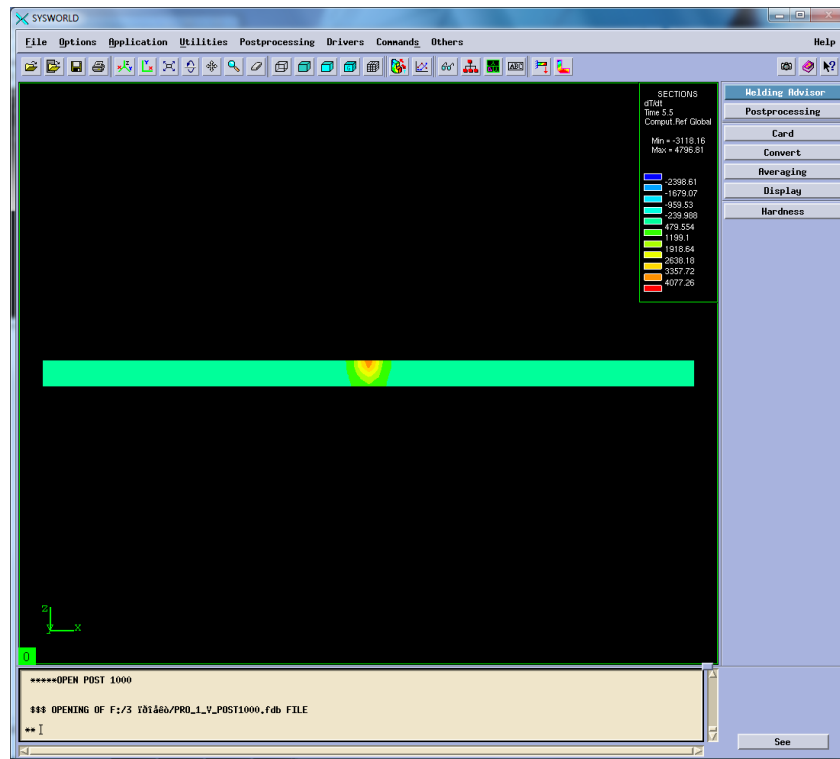


Рисунок 31. Сечение №7. Нагрев

### 3.5.Фазовый состав

Далее выбираем Phase\_proportions, чтобы посмотреть фазовые составляющие соединения. При содержании хрома более 12...15 % сталь имеет только  $\alpha$  ( $\delta$ )-структуру (Рисунок 31). При меньших содержаниях хрома в области температур 800...1400 °C имеются  $\gamma$ - и  $\gamma^+$  +  $\alpha$ -твердые растворы.

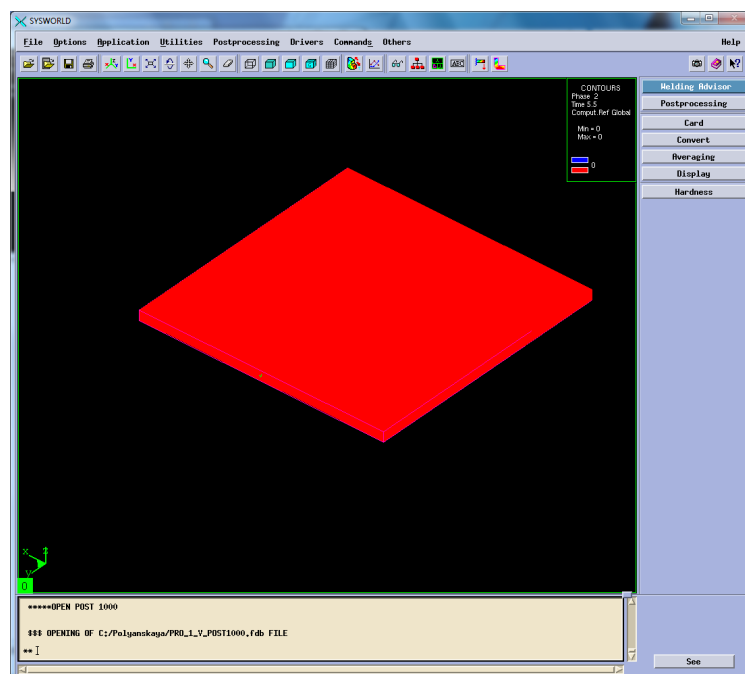


Рисунок 32. Структура сварного соединения.

### 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).

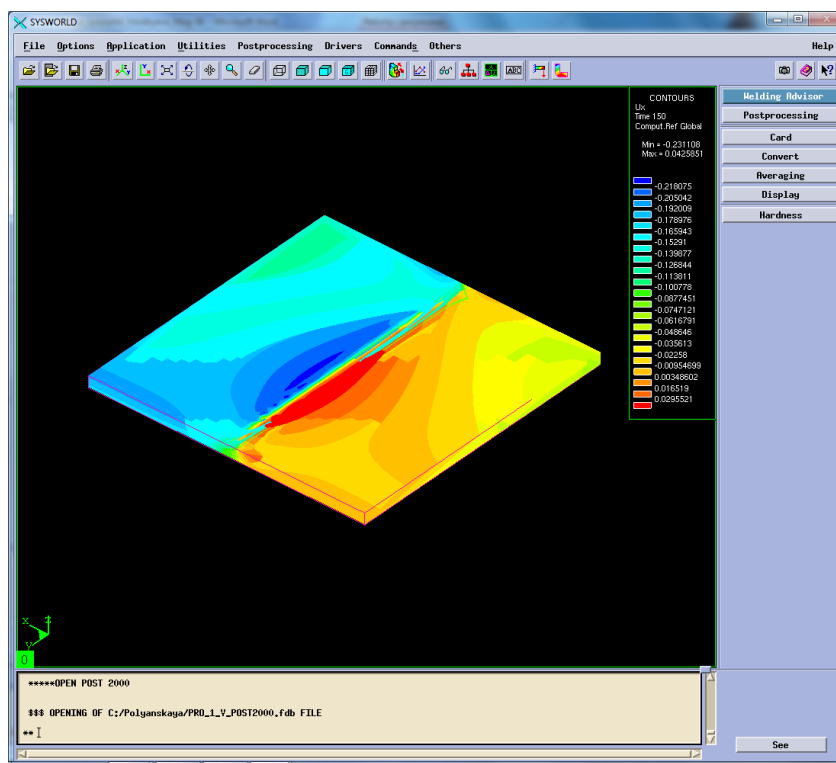


Рисунок 33. Распределение деформации по оси OX.

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

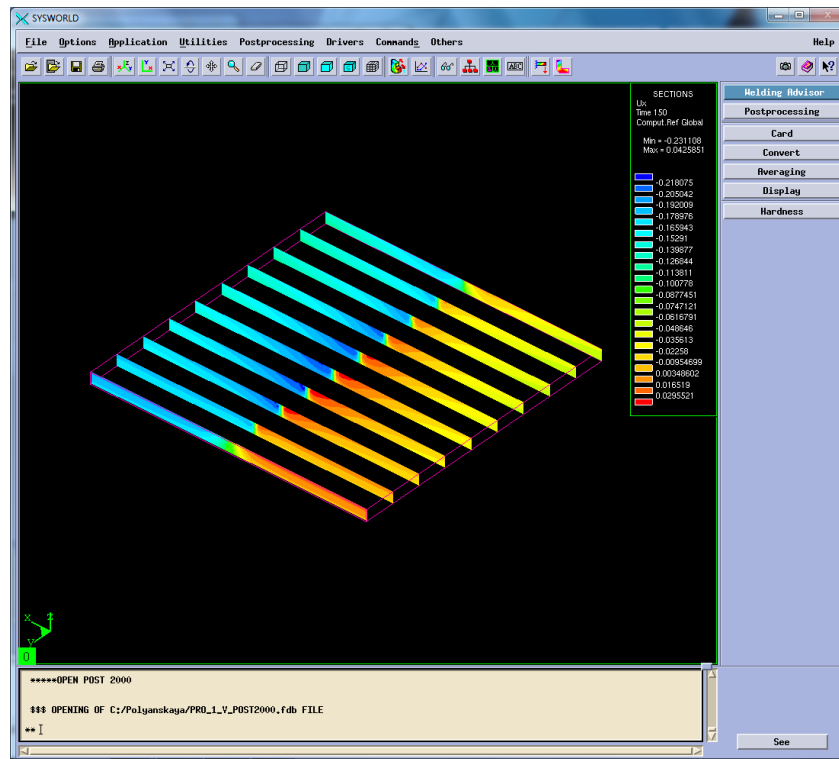


Рисунок 34. Разбиение на сечения.

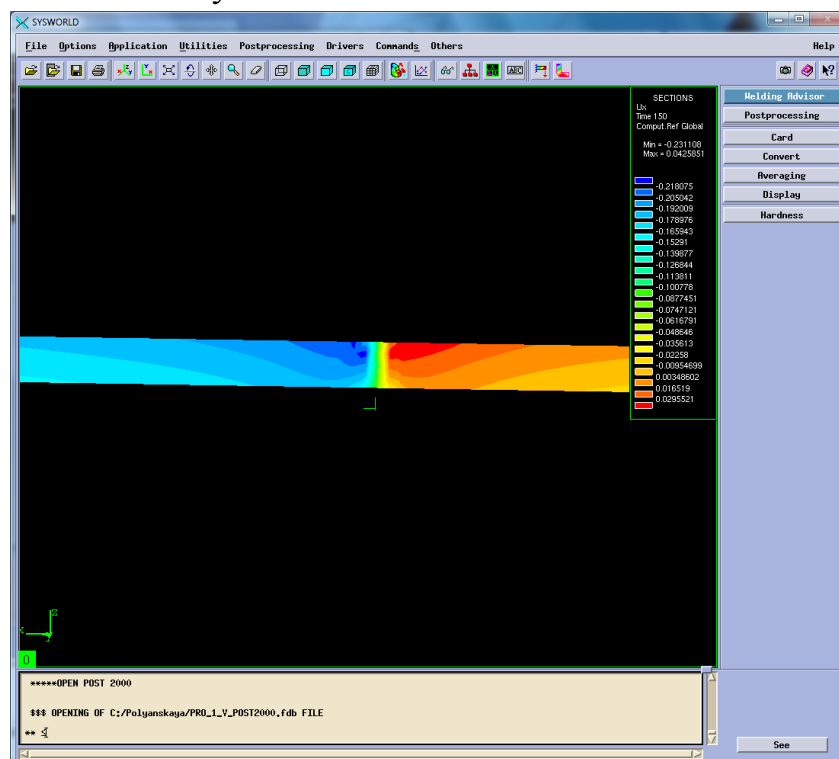


Рисунок 35. Сечение № 5

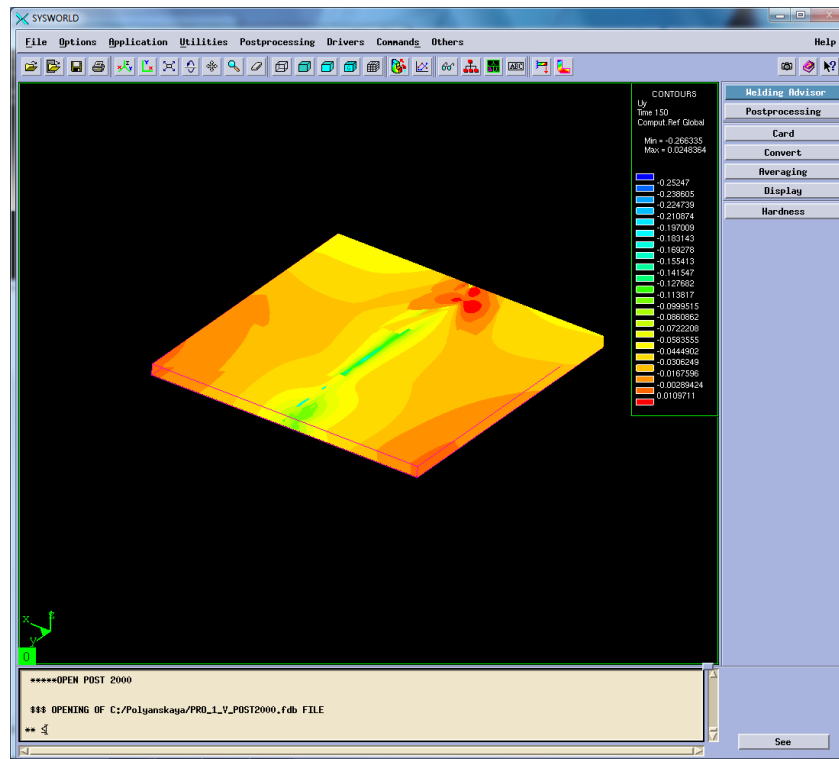


Рисунок 36. Деформация относительно ОУ

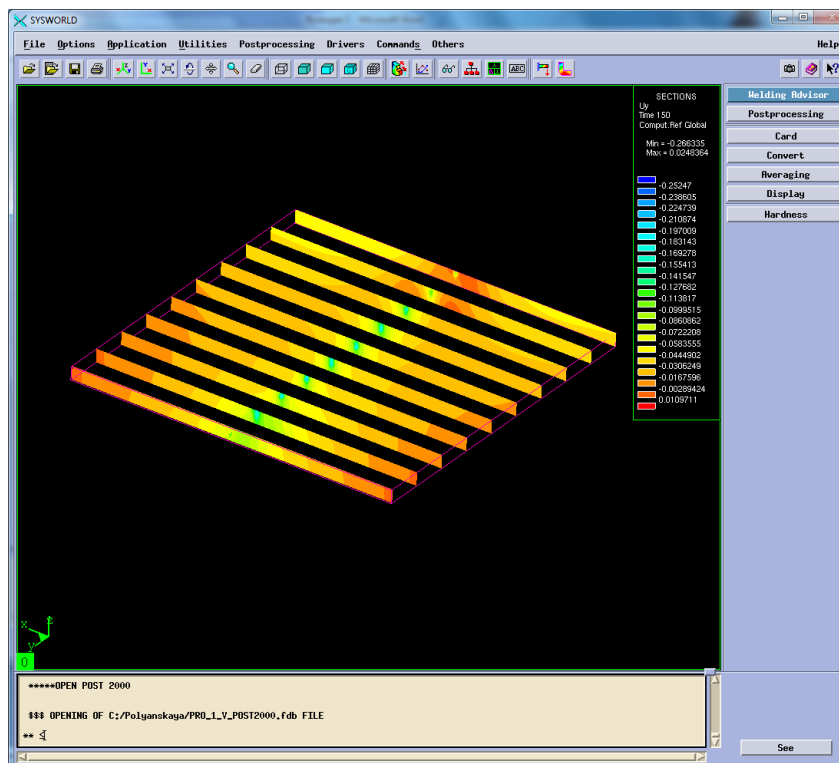


Рисунок 37. Разбиение на сечения.

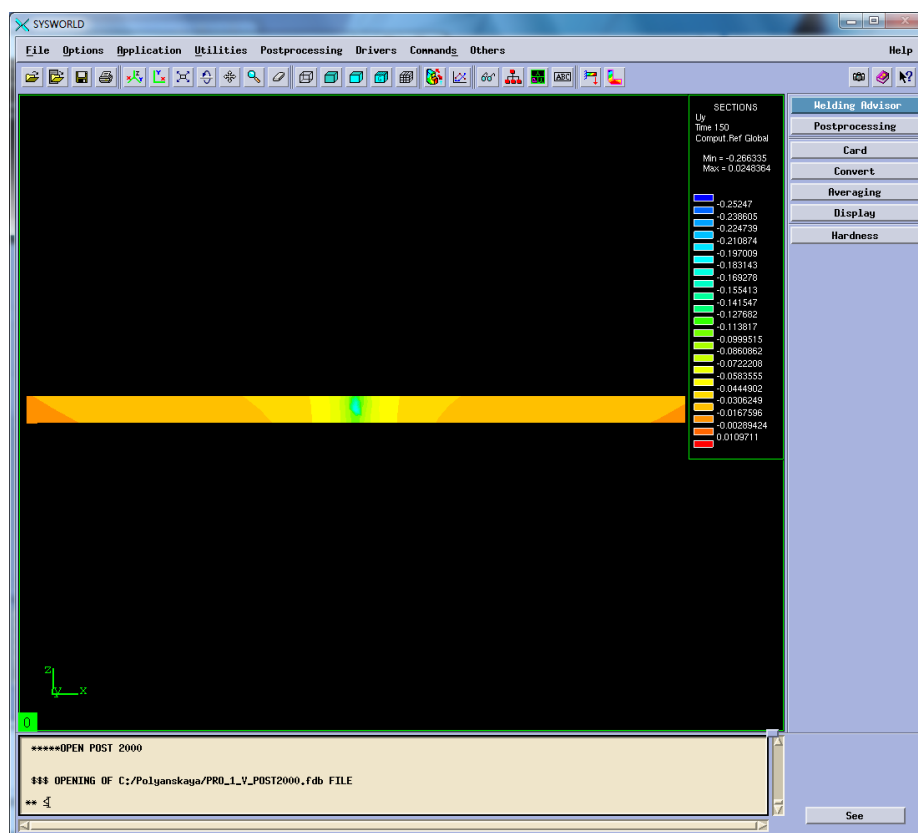


Рисунок 38.Сечение №5.

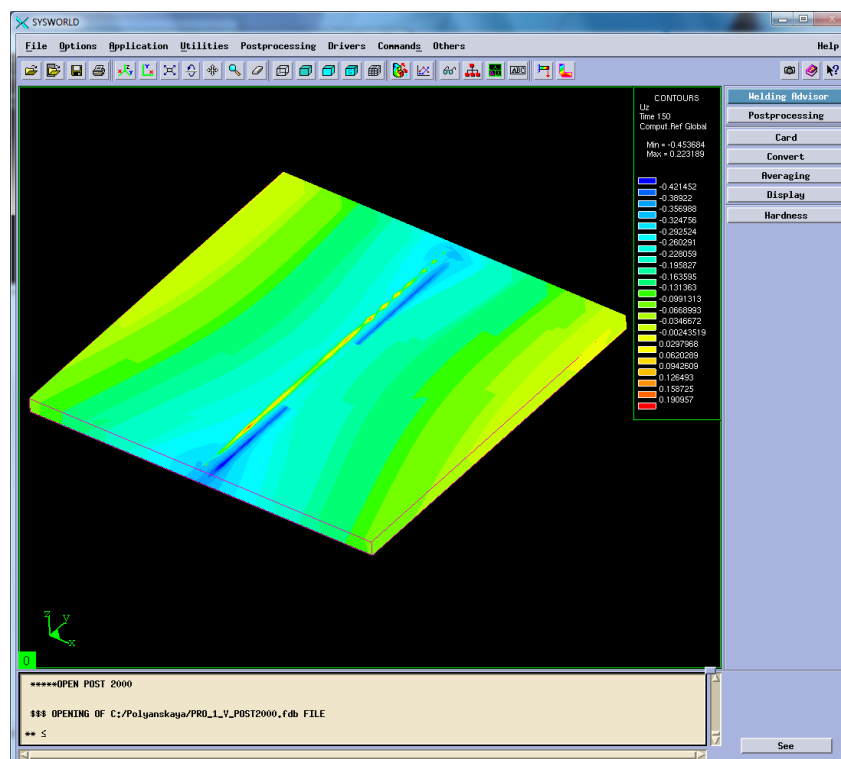


Рисунок 39. Деформация относительно OZ.

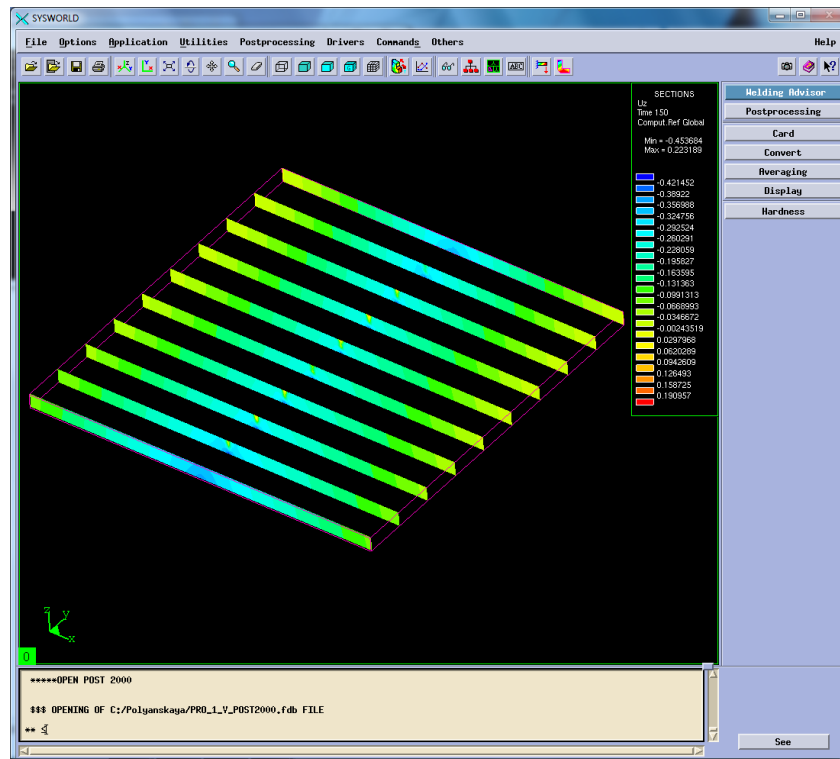


Рисунок 40. Разбиение на сечения.

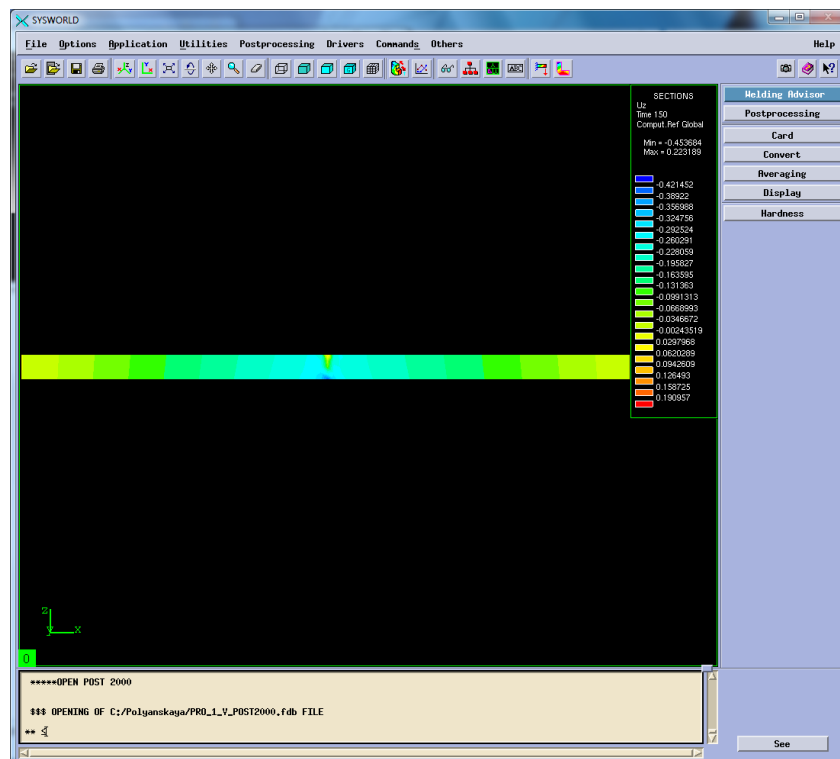


Рисунок 41. Сечение №4.

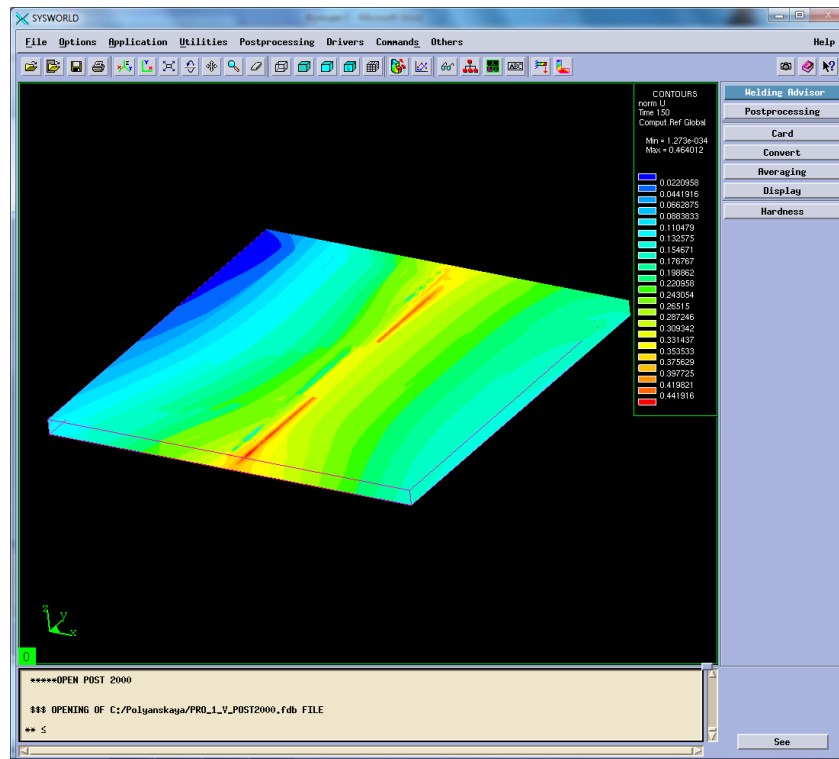


Рисунок 42. Нормальная деформация (нормализованная деформация).

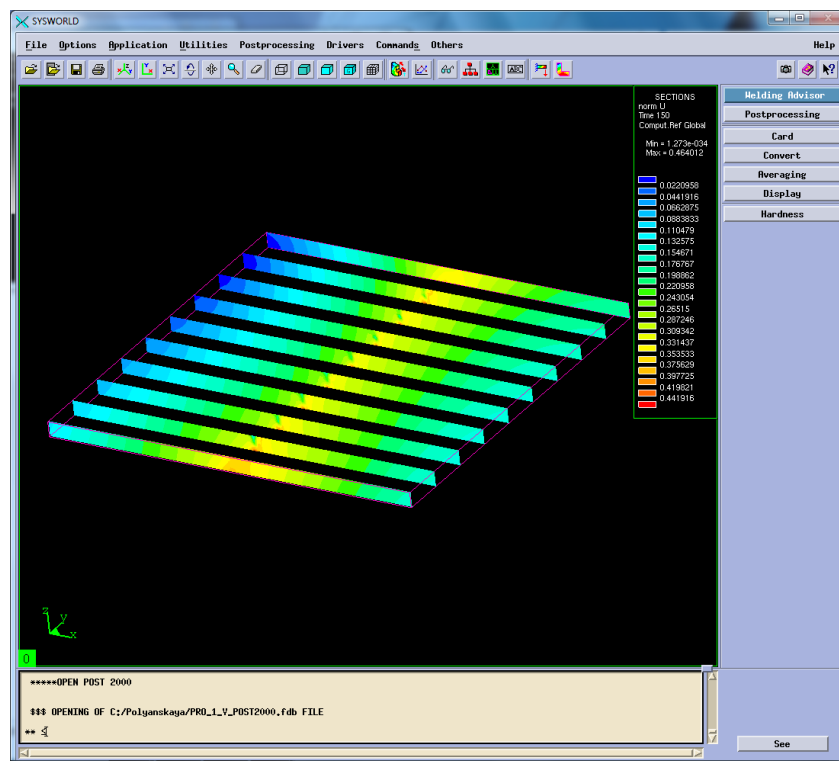


Рисунок 43. Разбиение на сечения.

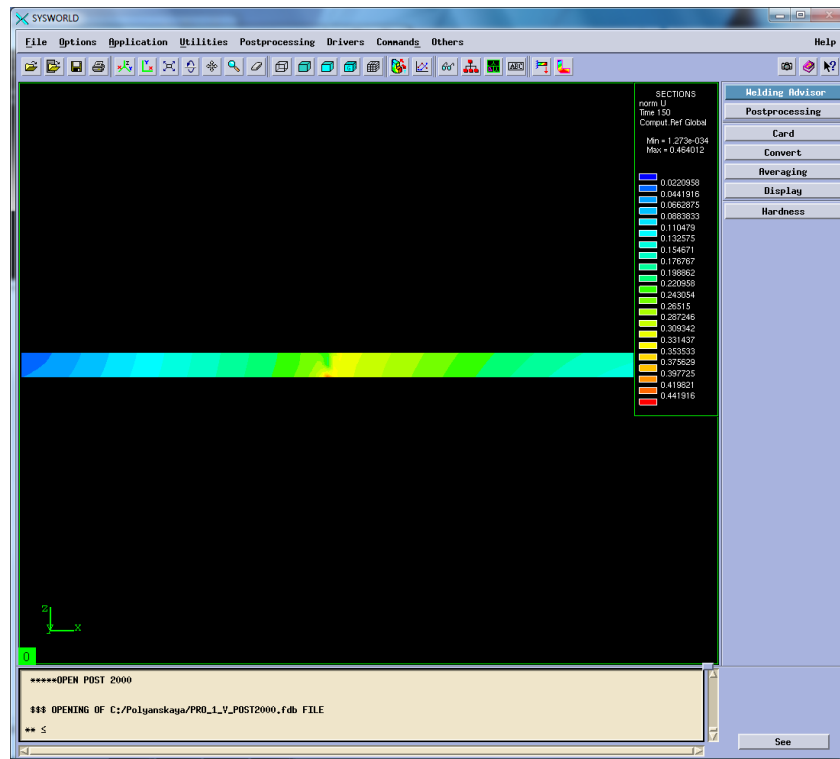


Рисунок 44. Сечение №4.

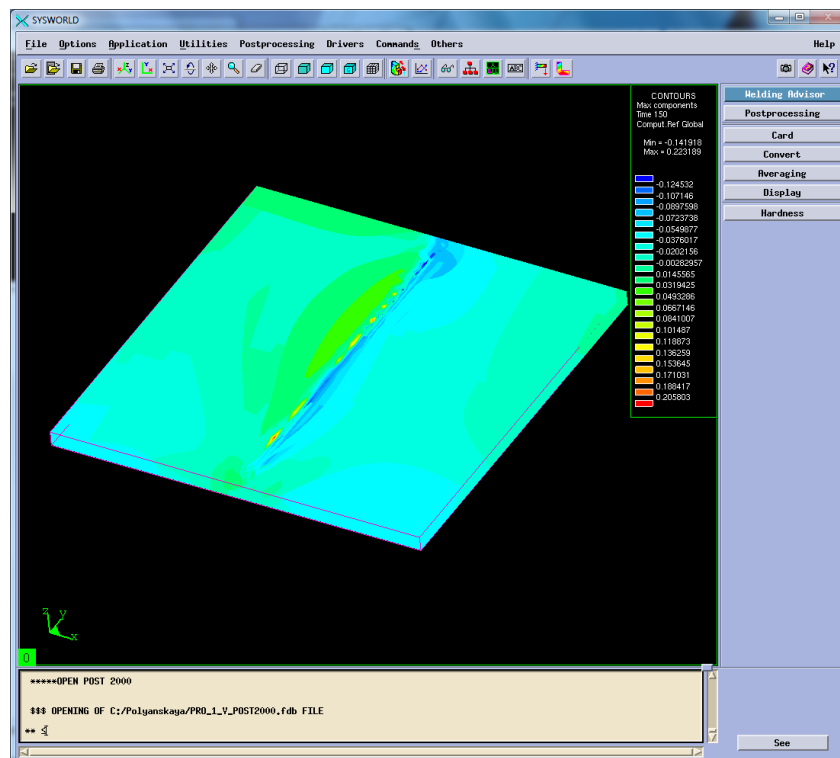


Рисунок 45. Максимальная результирующая деформация.



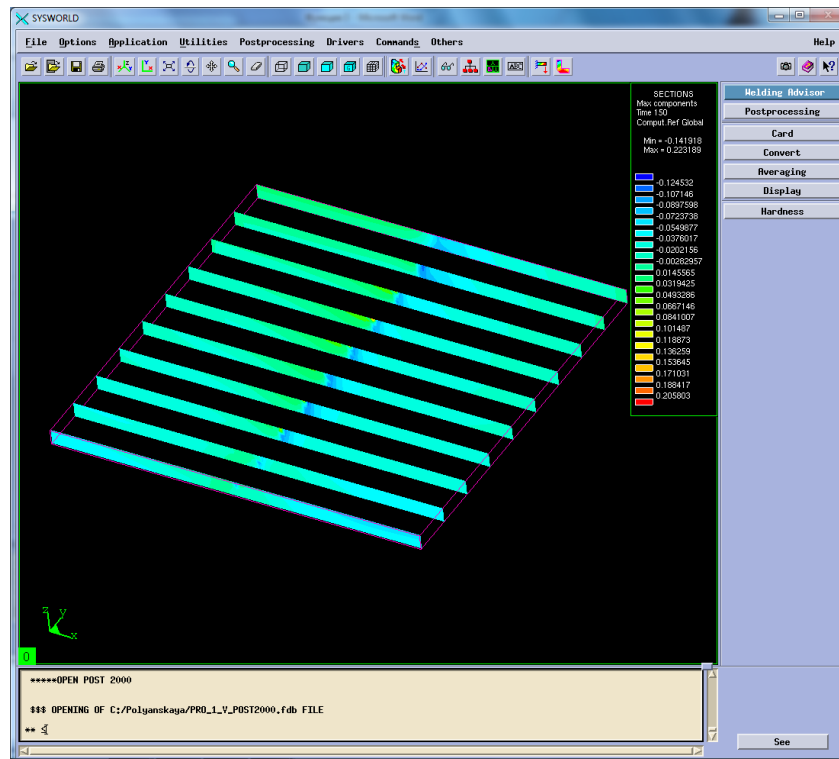


Рисунок 46. Разбиение на сечения.

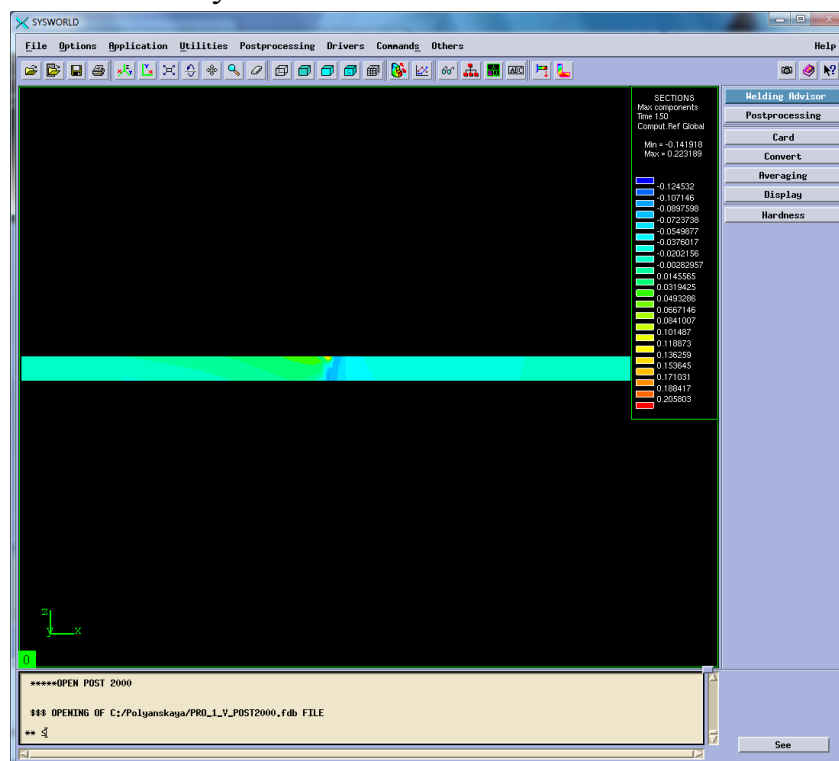


Рисунок 47. Сечение №6.

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)

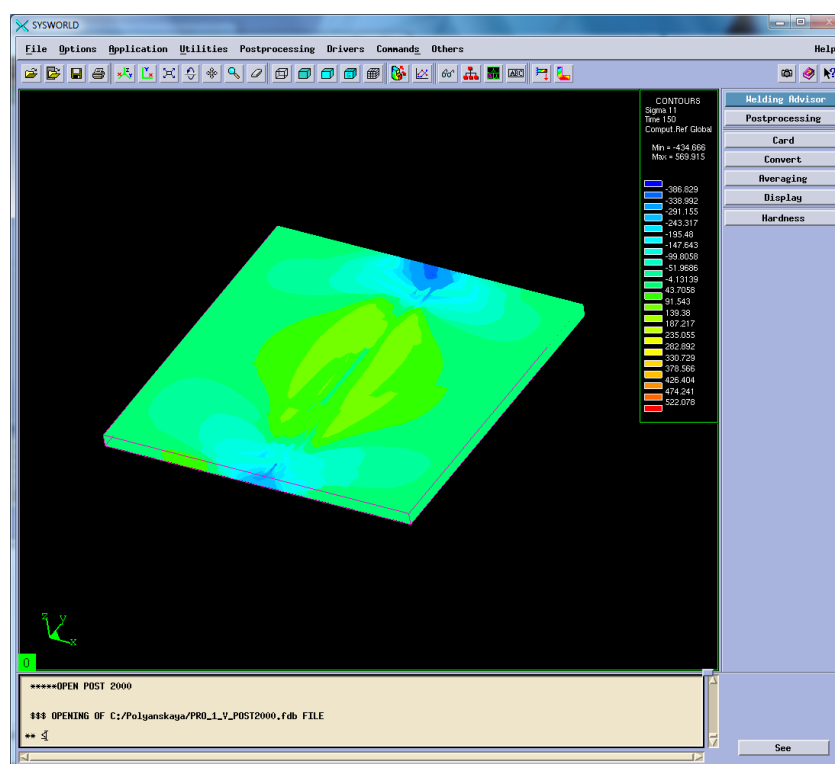


Рисунок 48. Распределение напряжений по оси OX.

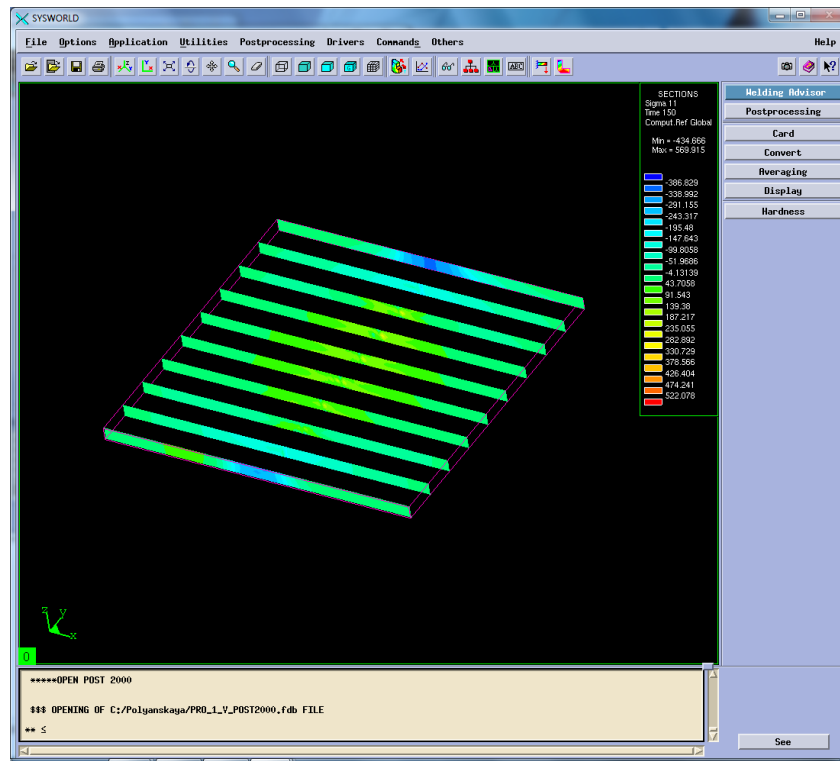


Рисунок 49. Разбиение на сечения.

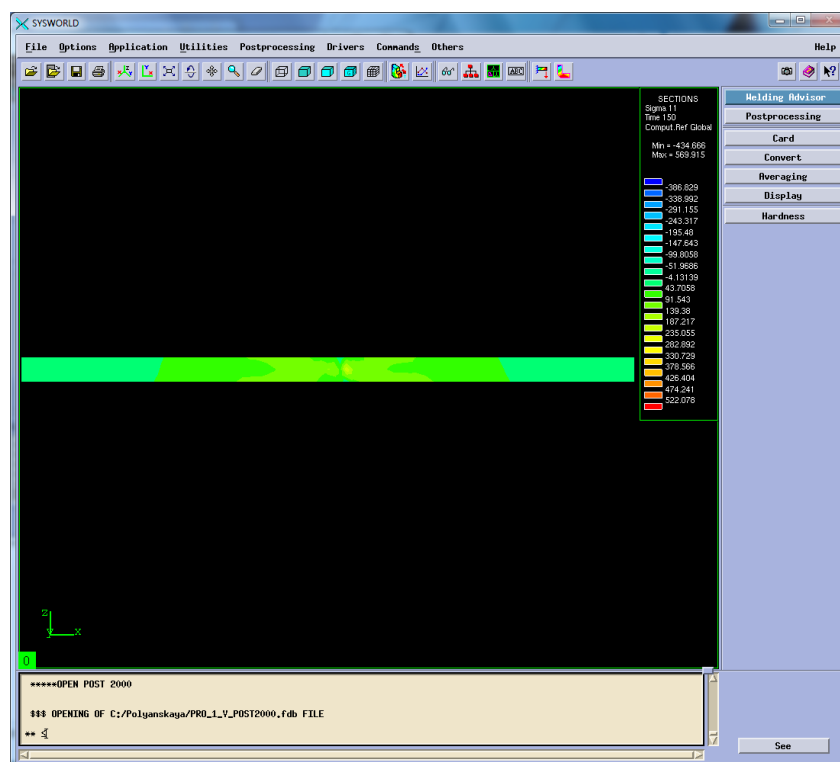


Рисунок 50. Сечение №4.

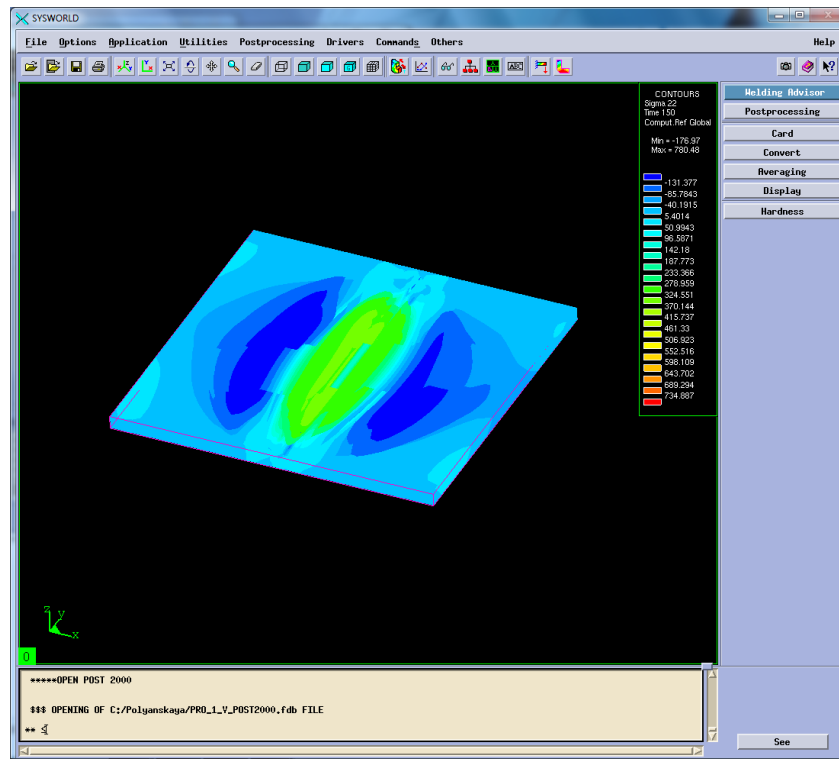


Рисунок 51. Распределение напряжений по ОУ.

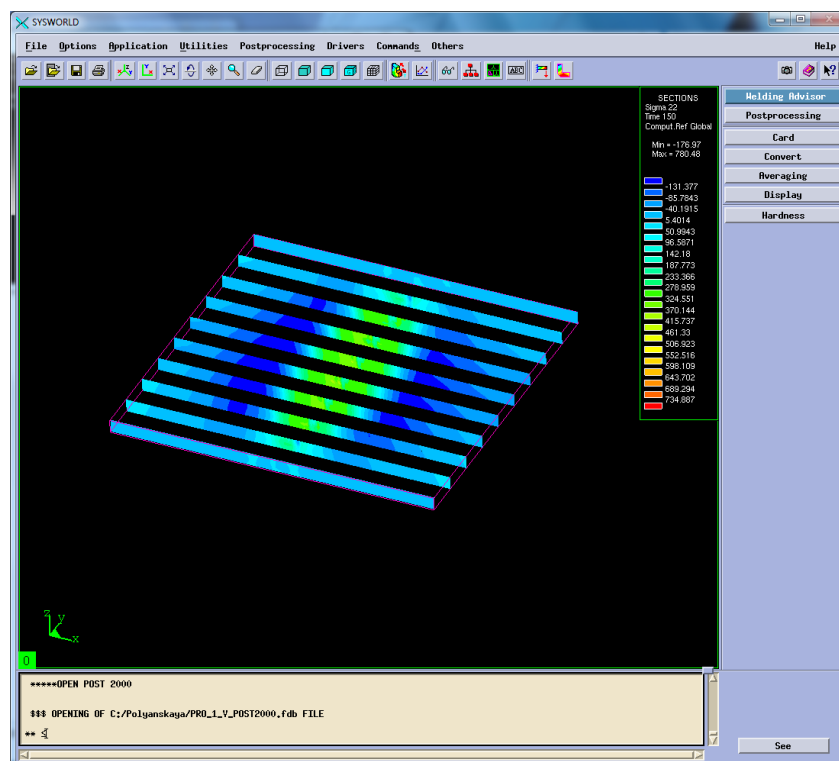


Рисунок 52. Разбиение на сечения.

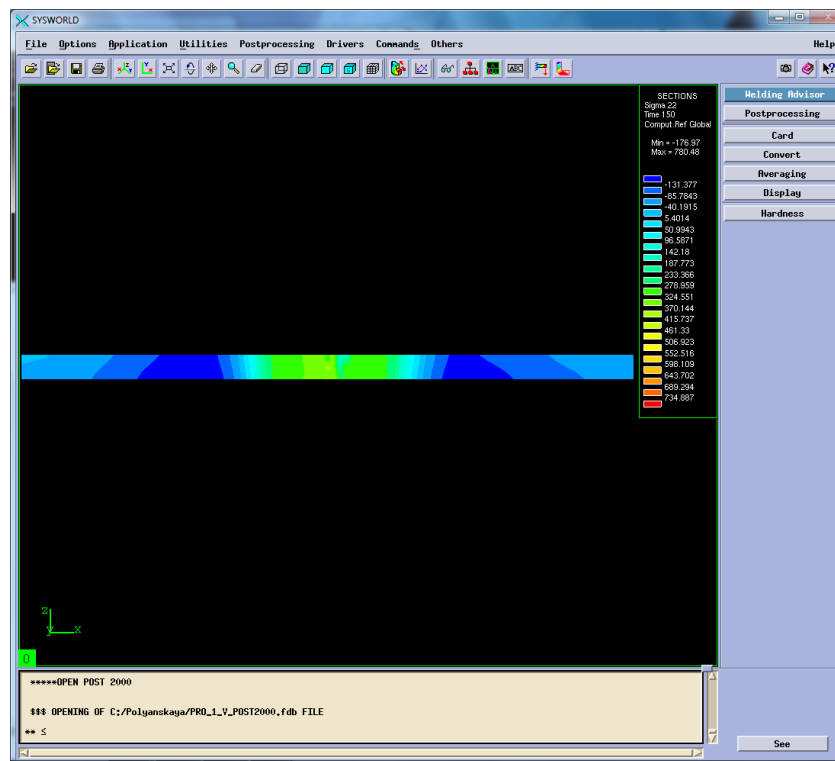


Рисунок 53. Сечение №4.

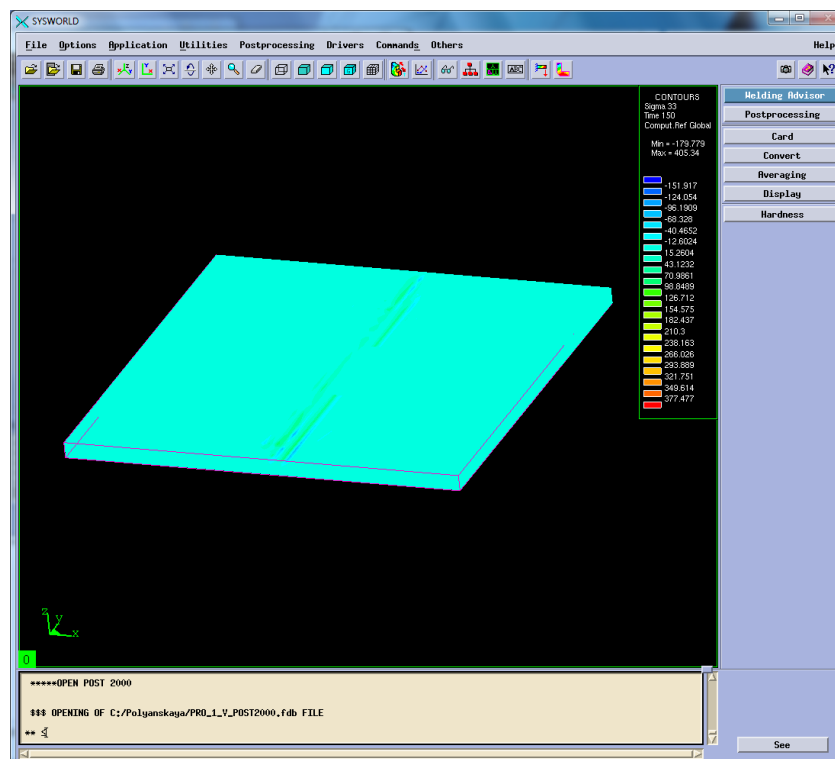


Рисунок 54. Распределение напряжений по OZ.

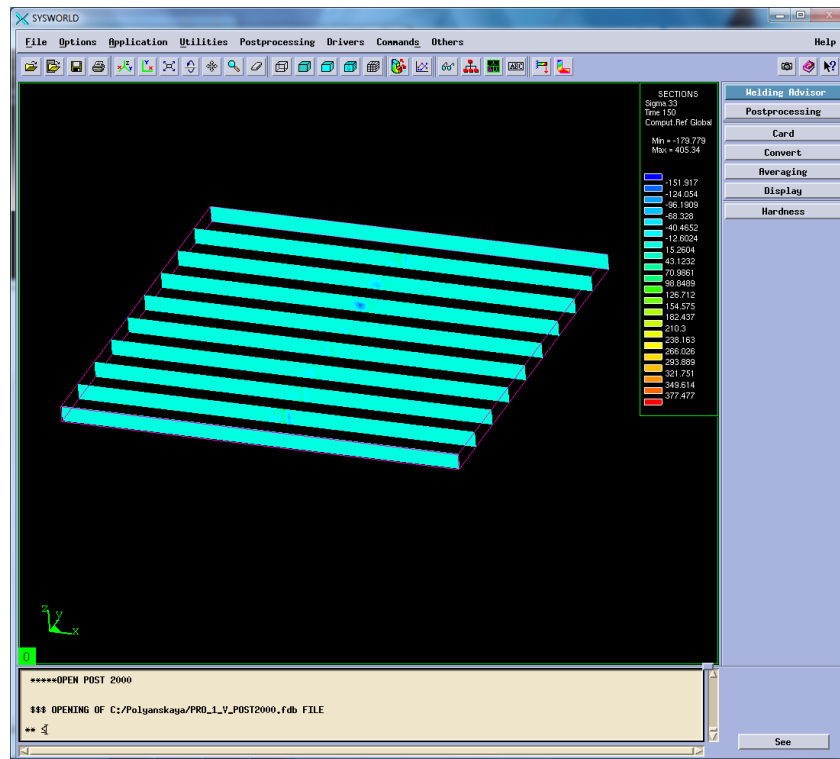


Рисунок 55. Разбиение на сечения.

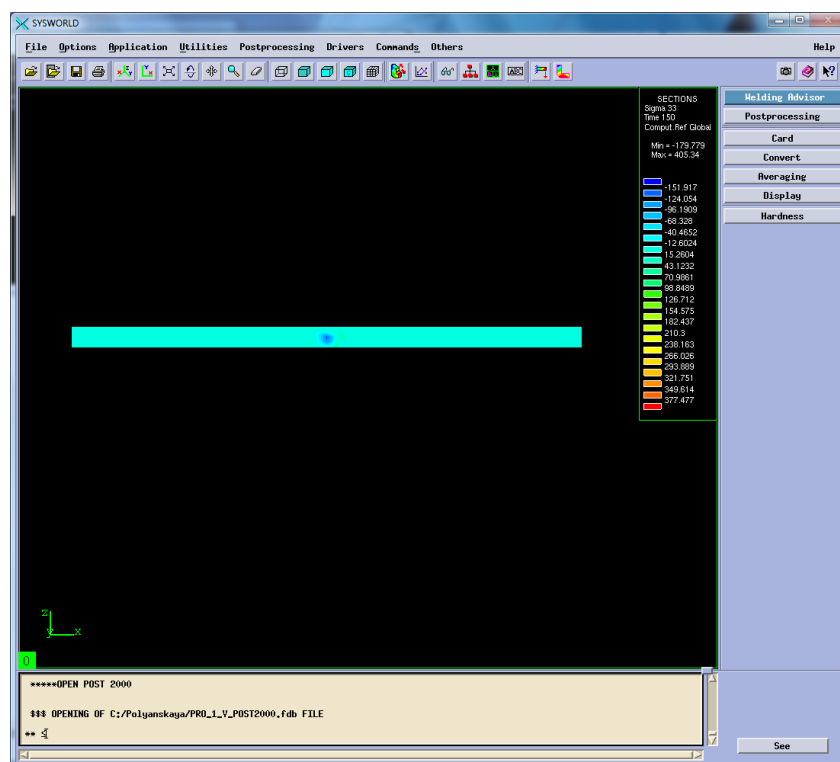


Рисунок 56. Сечение №3.

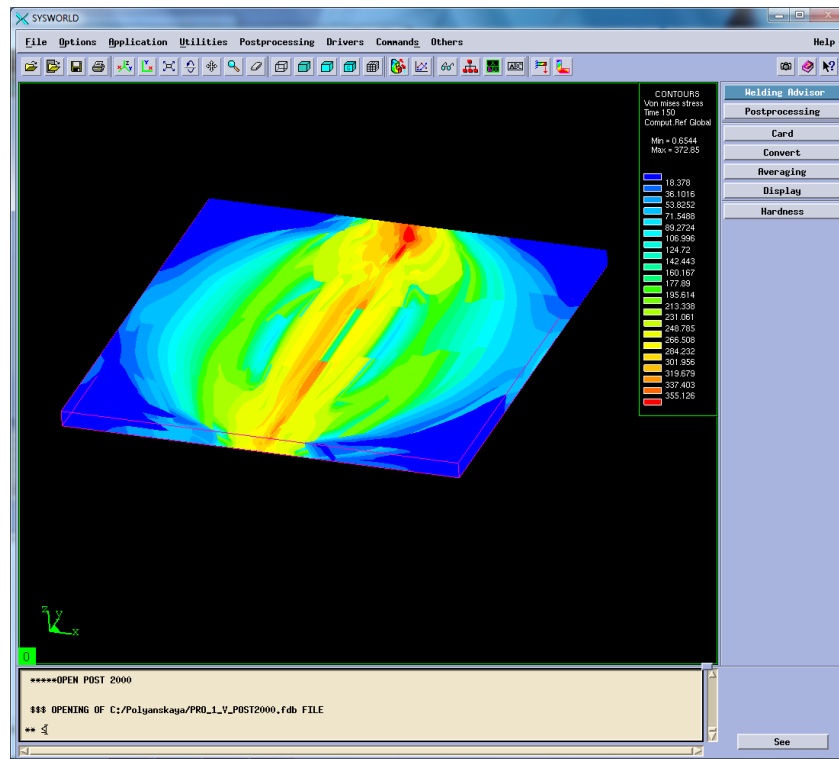


Рисунок 57. Распределение напряжений по Мизесу.

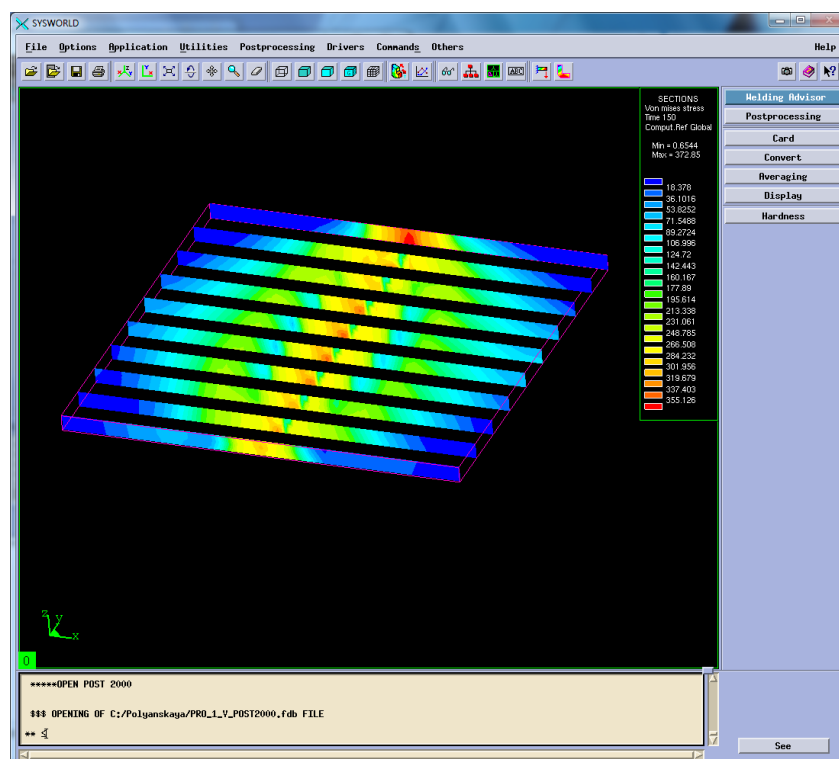


Рисунок 58. Разбиение на сечения.

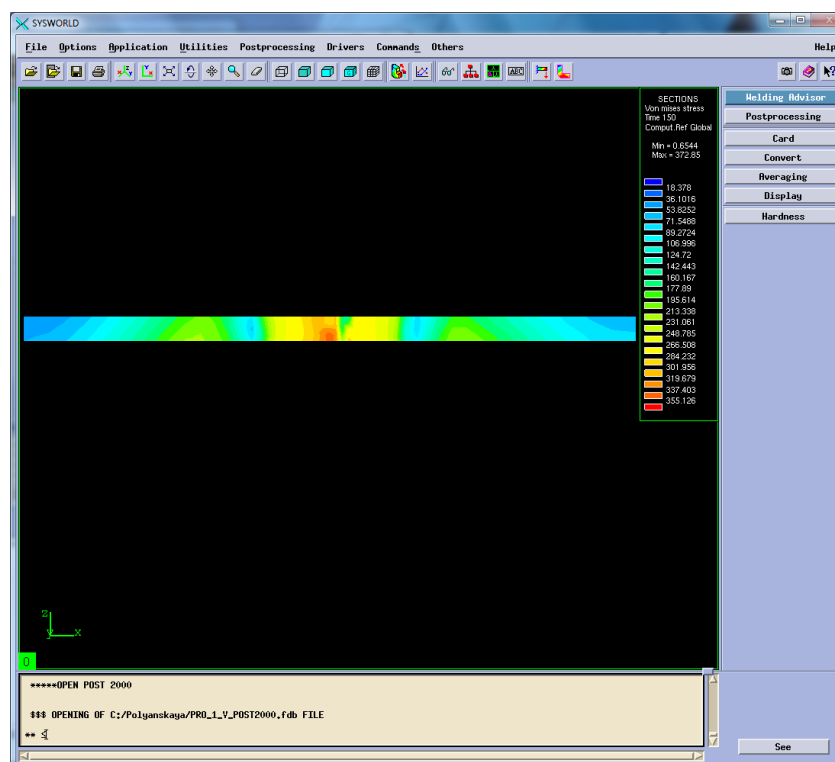


Рисунок 59. Сечение №4.

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 ОХ	max	0,078	0,066	0,032	0,037	5
	min	-0,292	-0,089	-0,476	-0,632	8
По оси ОУ	max	0,029	0,041	0	4,308	5
	min	-0,318	-0,157	-0,412	-0,492	8
По оси ОZ	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 ОХ	max	187,84	2043,55	166,27	185,527	5
	min	-310,454	-669.45	-353,47	-359,916	2
По оси ОУ	max	444,384	2387,03	328,89	312,605	8
	min	-188,57	-342.357	-177,43	-177,77	5
По оси ОZ	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

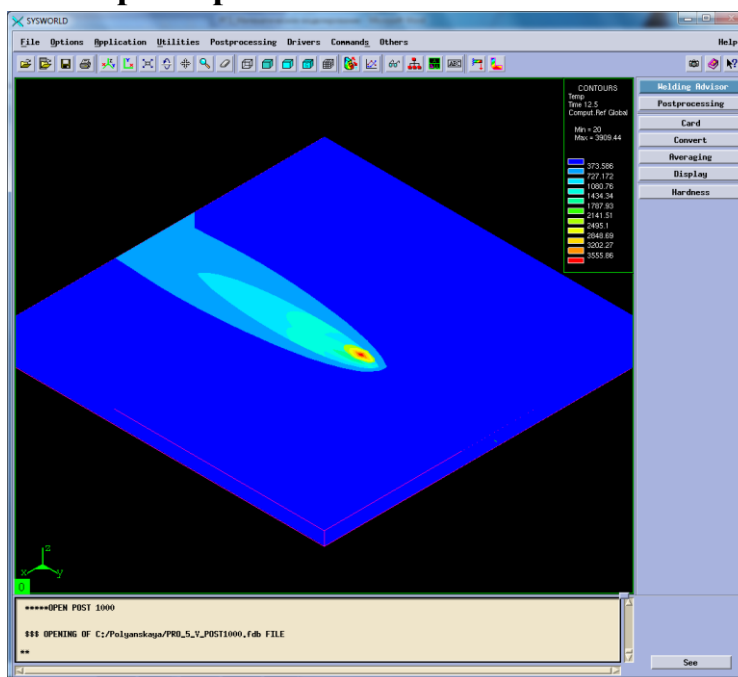


Рисунок 60. Отображение тепловых характеристик.

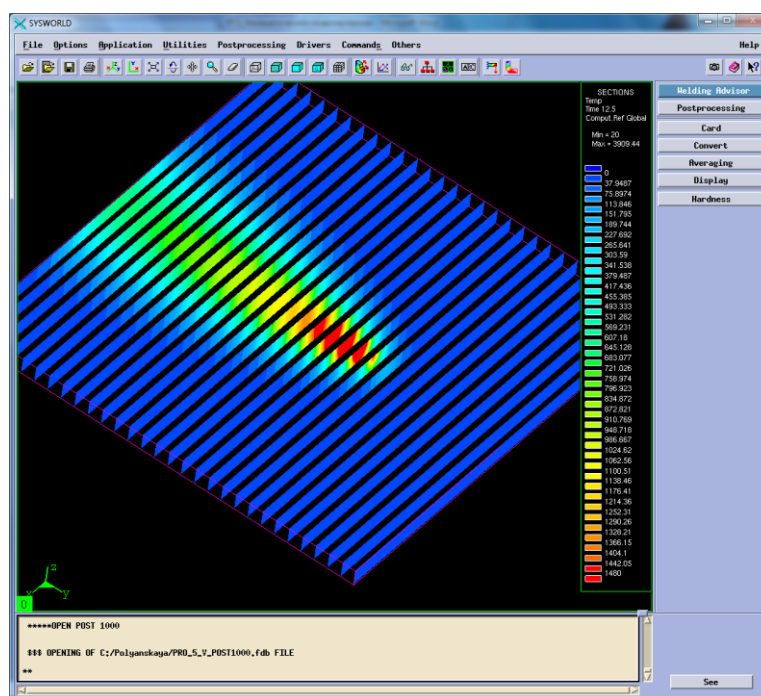


Рисунок 61. Разбиение на сечения.

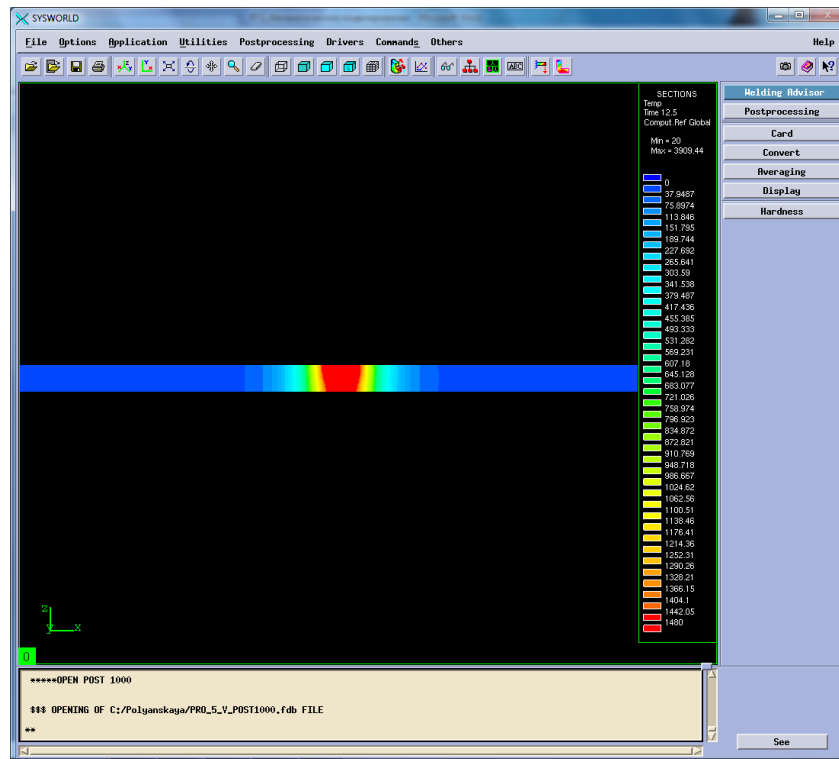


Рисунок 62. Сечение №16.

Следующим шагом необходимо подробно рассмотреть охлаждение (Рисунок 62).

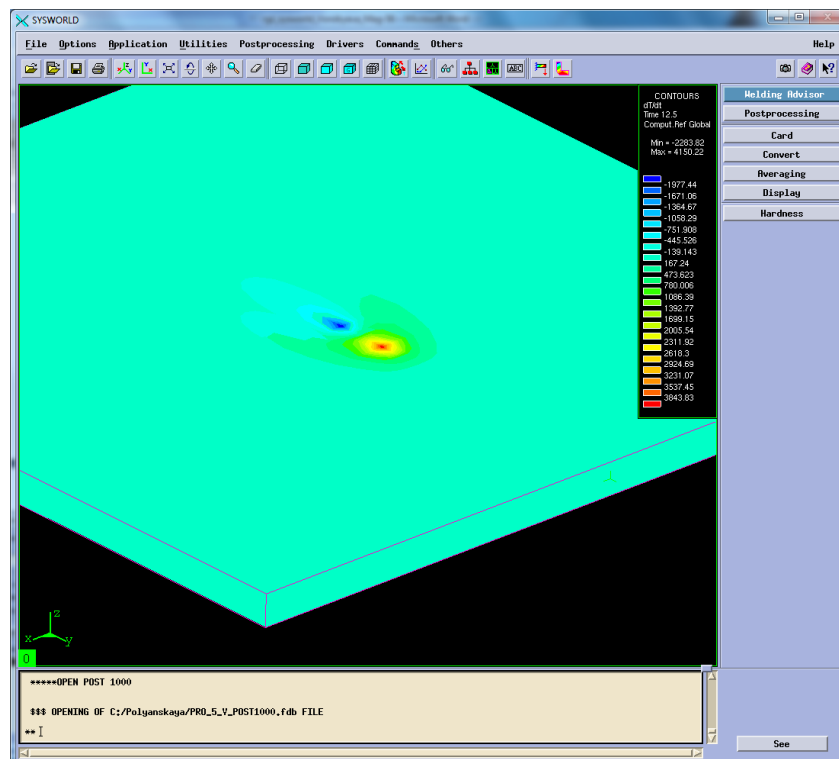


Рисунок 63. Отображение максимальных скоростей нагрева и охлаждения.

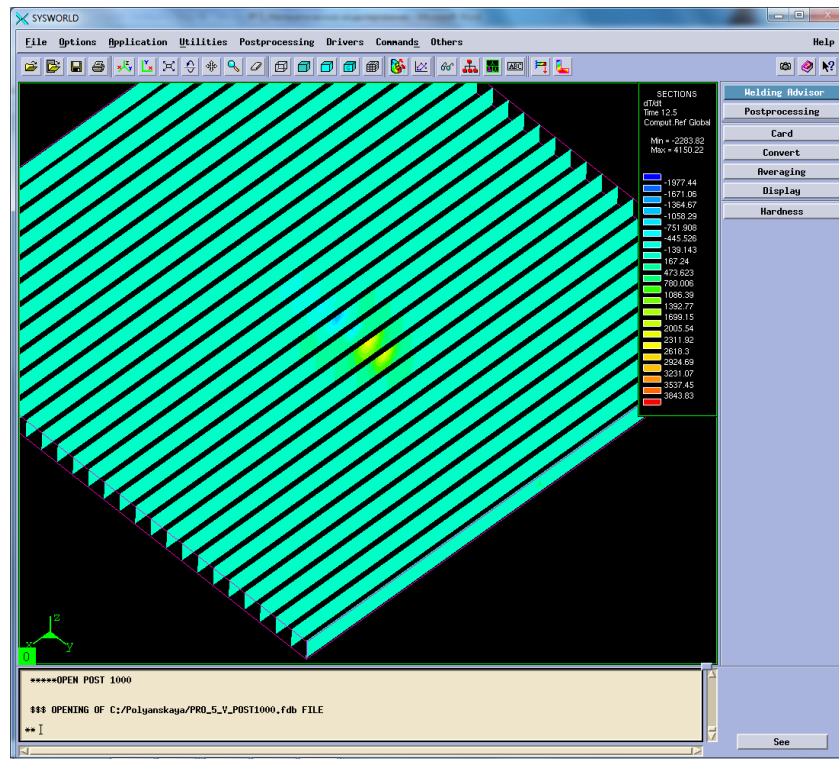


Рисунок 64. Разбиение на сечения.

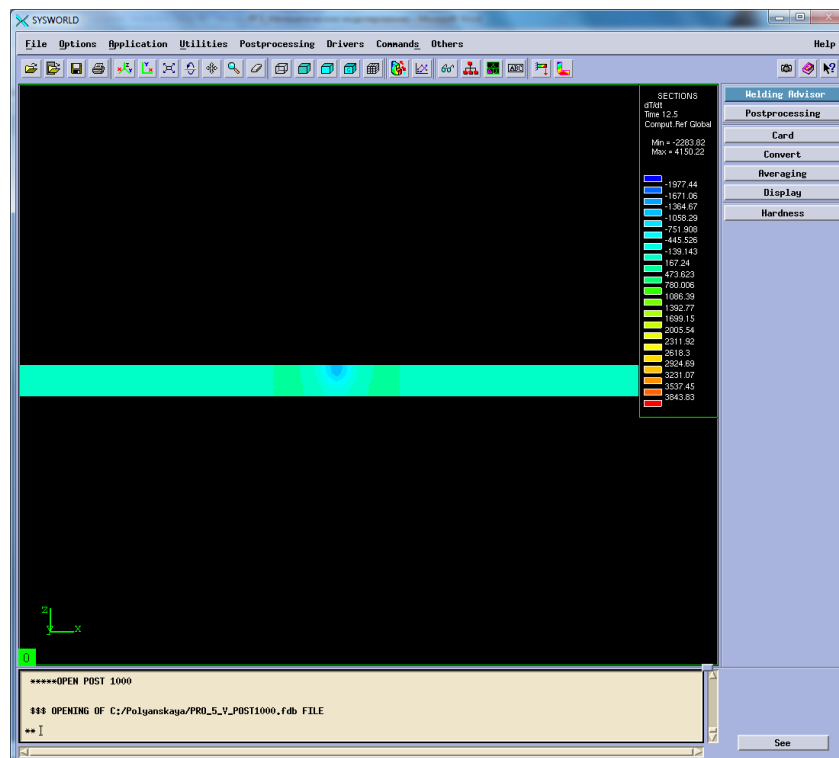


Рисунок 65. Сечение №6 Охлаждение.

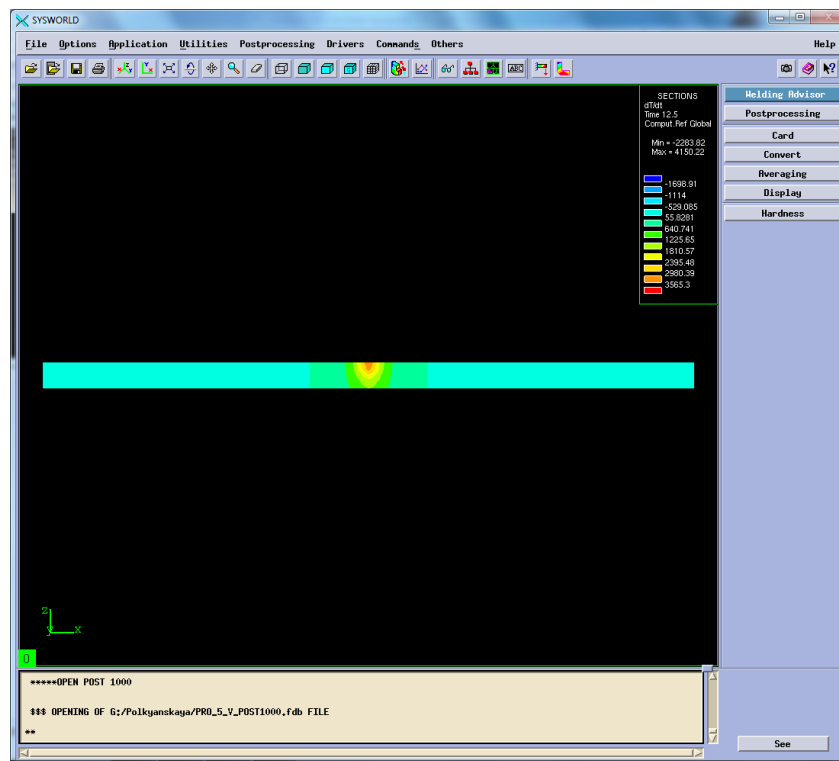


Рисунок 66. Сечение №10 Нагрев.  
*Максимальная скорость нагрева – 4150.22 °C/с.*  
*Максимальная скорость охлаждения – (-2283.82) °C/с.*

## 5.2. Фазовый состав

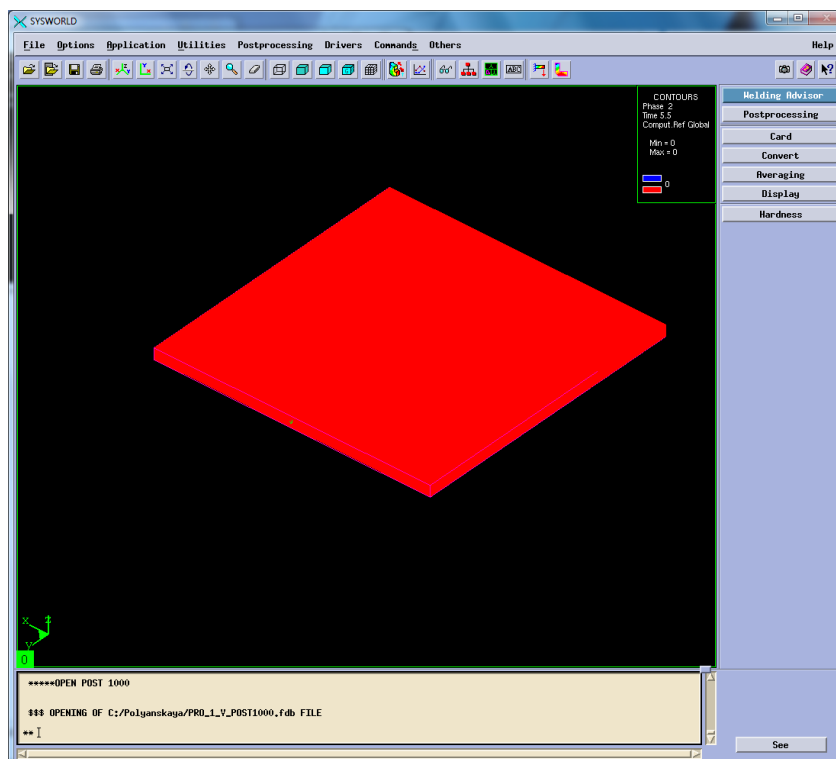


Рисунок 67. Структура сварного соединения.

### 5.3. Механические характеристики

Рассмотрим деформации сварного соединения относительно ОХ, ОУ, ОZ, а также нормальные деформации и максимальную результирующую (Рисунок 66-80).

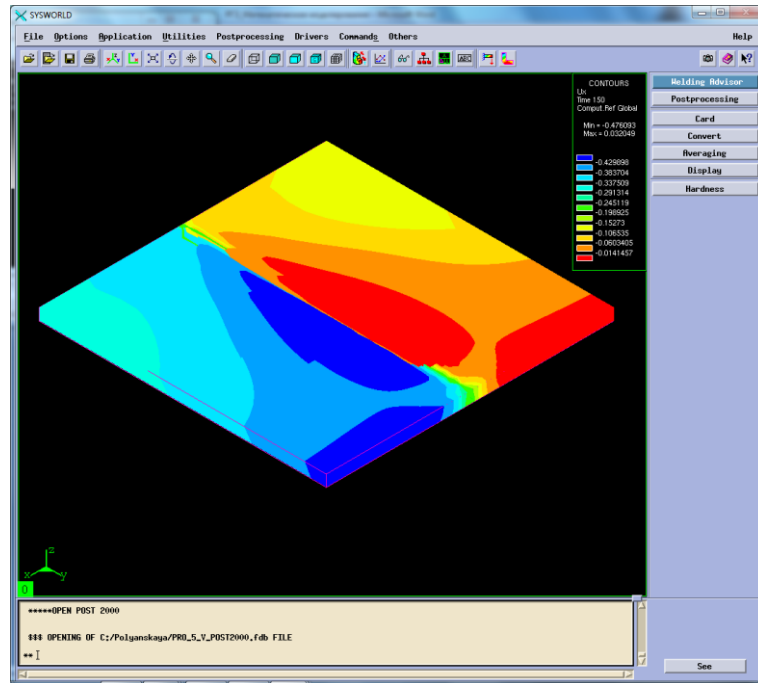


Рисунок 68. Деформация относительно ОХ.

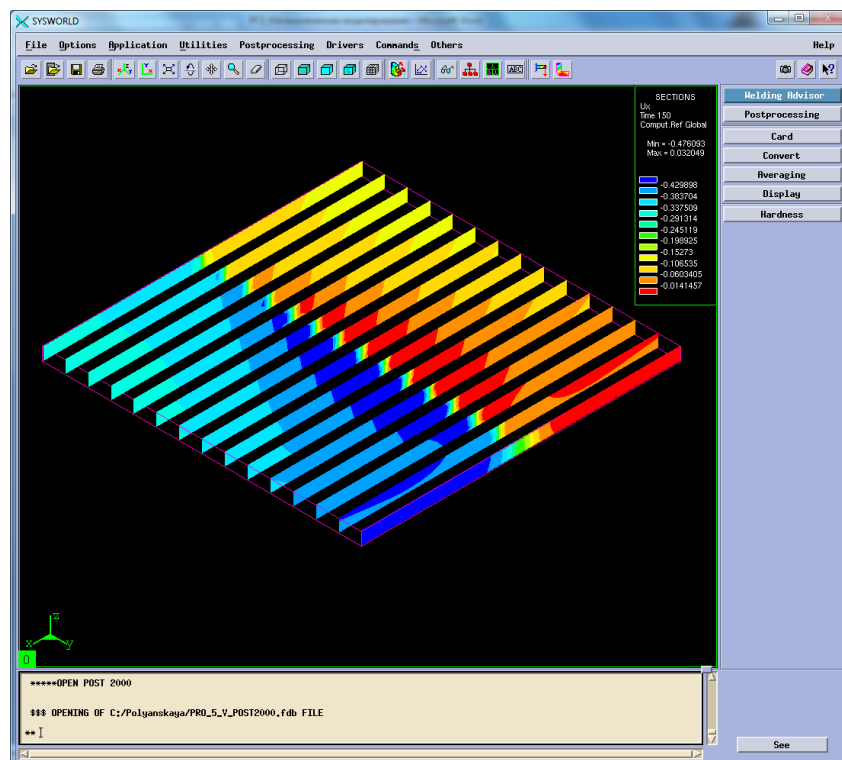


Рисунок 69. Разбиение на сечения.

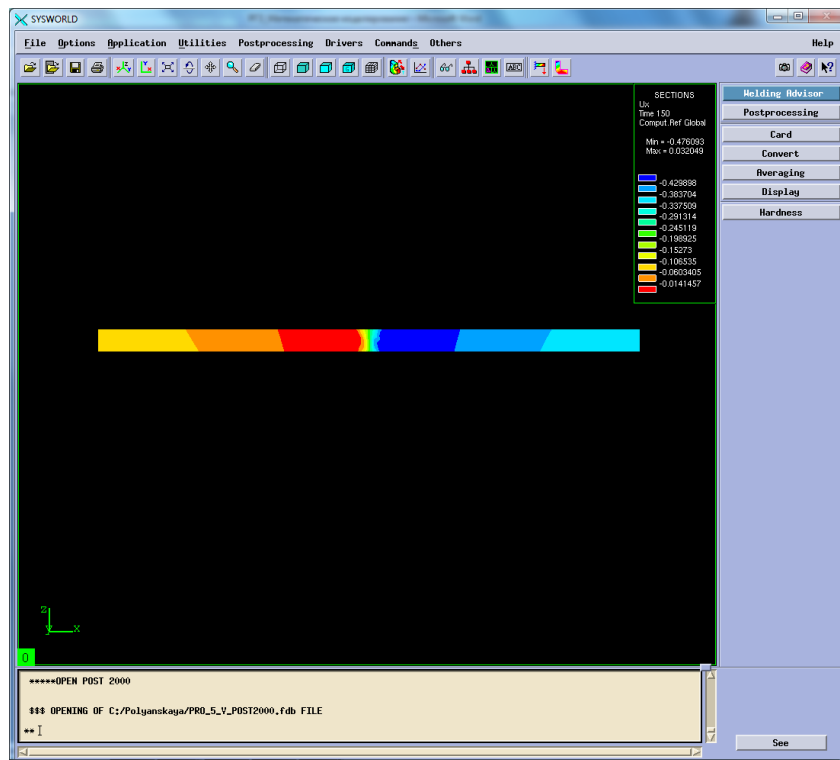


Рисунок 70. Сечение №7.

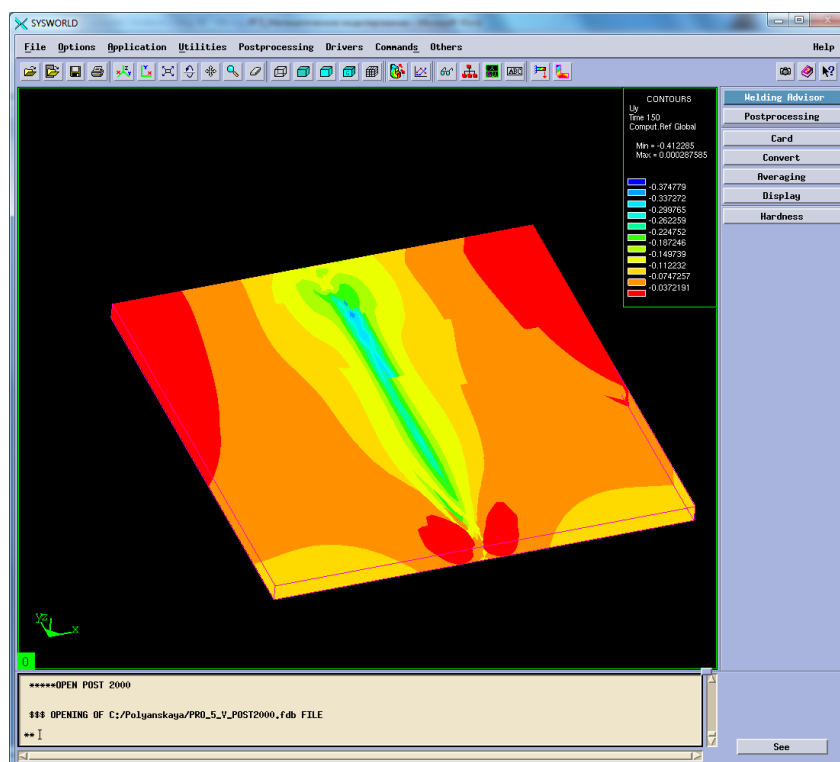


Рисунок 71. Деформация относительно ОУ.

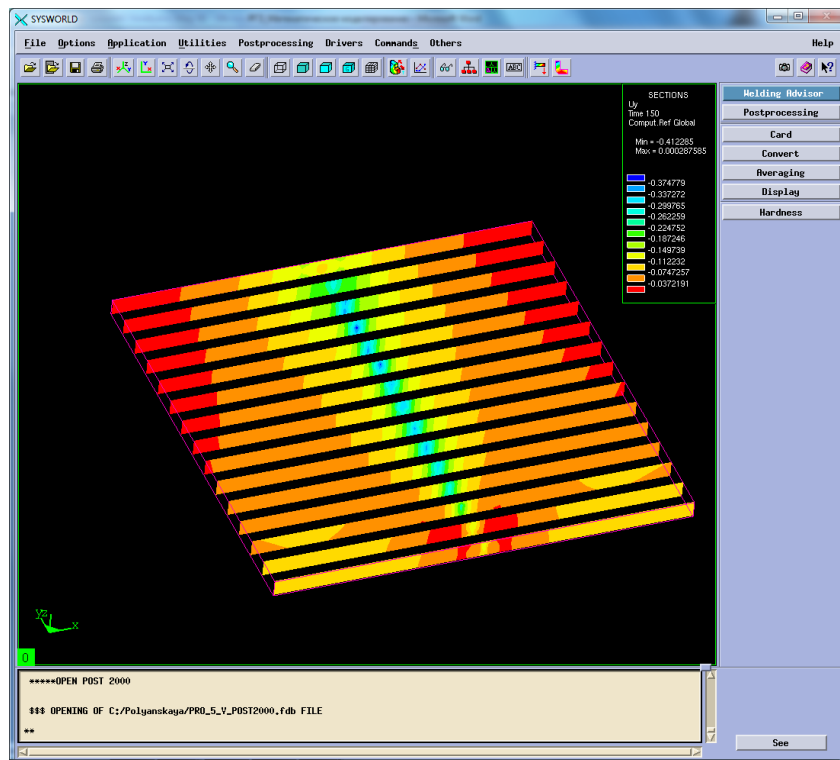


Рисунок 72. Разбиение на сечения.

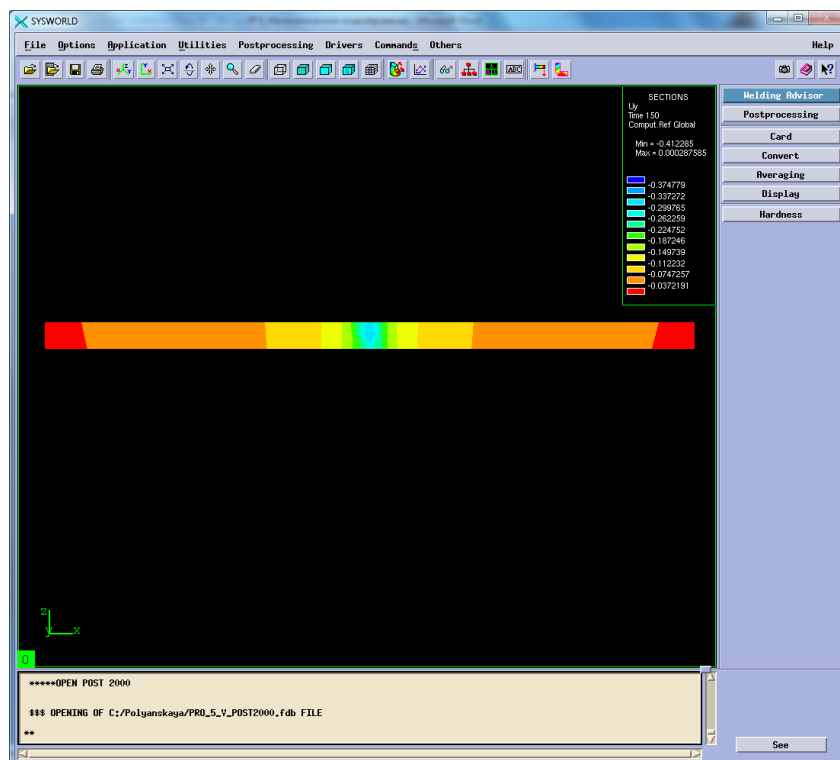


Рисунок 73. Сечение №7.



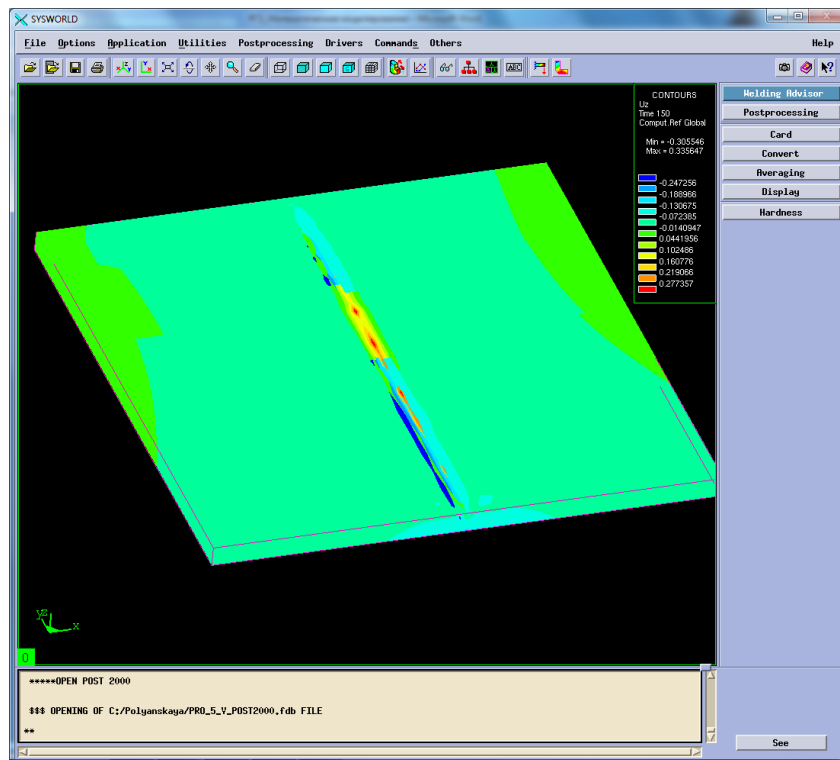


Рисунок 74. Деформация относительно OZ.

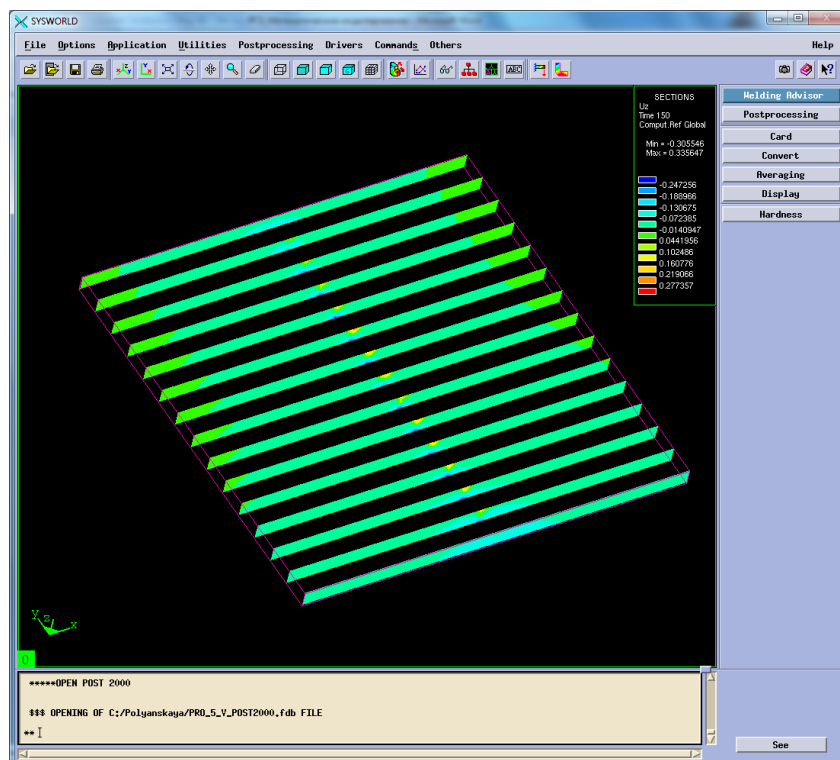


Рисунок 75. Разбиение на сечения.

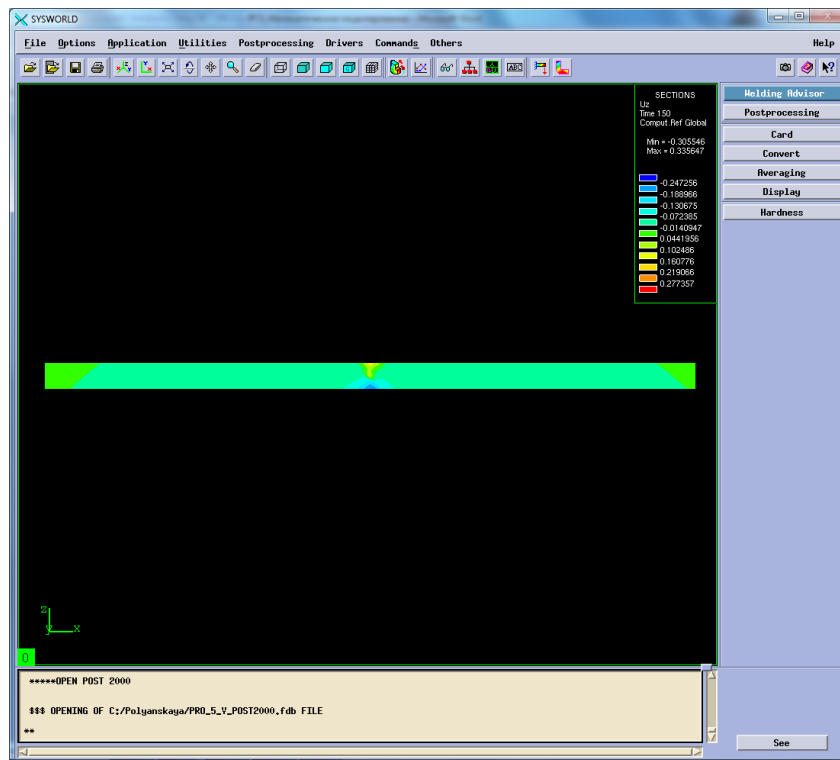


Рисунок 76. Сечение №6.

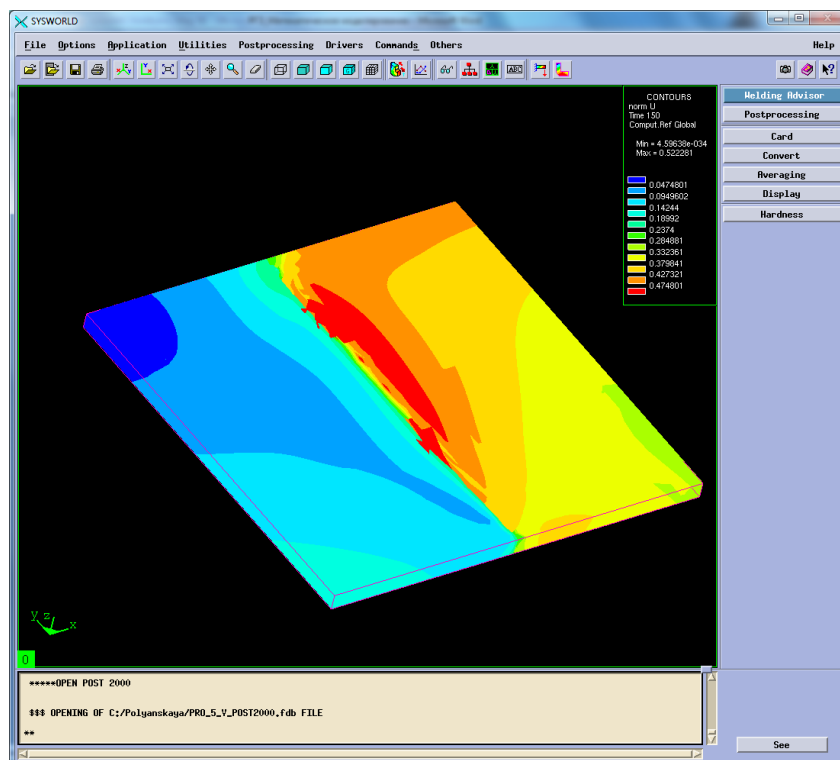


Рисунок 77. Нормальные деформации.

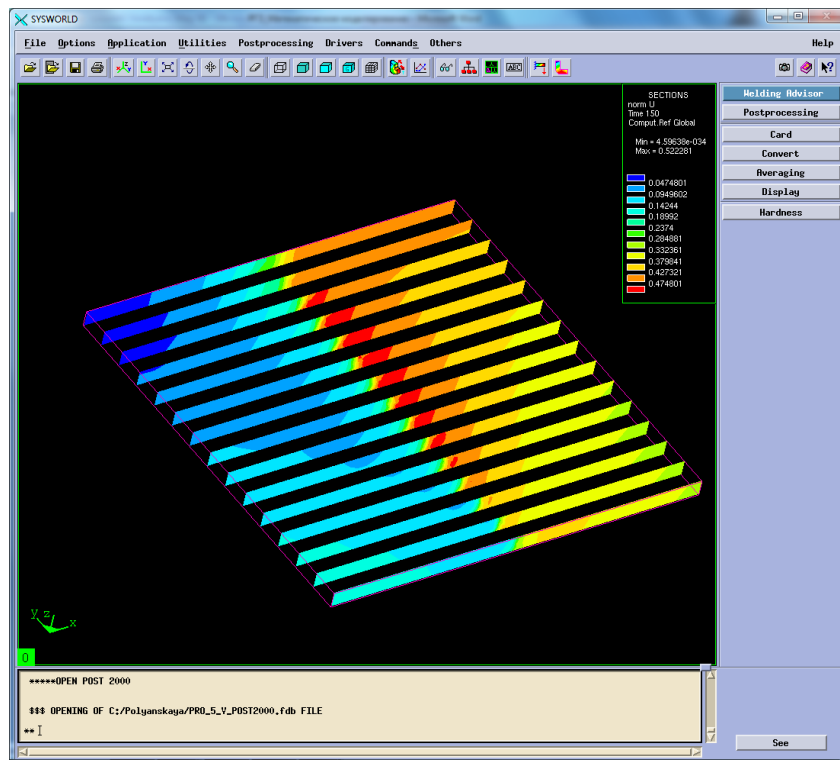


Рисунок 78. Разбиение на сечения.

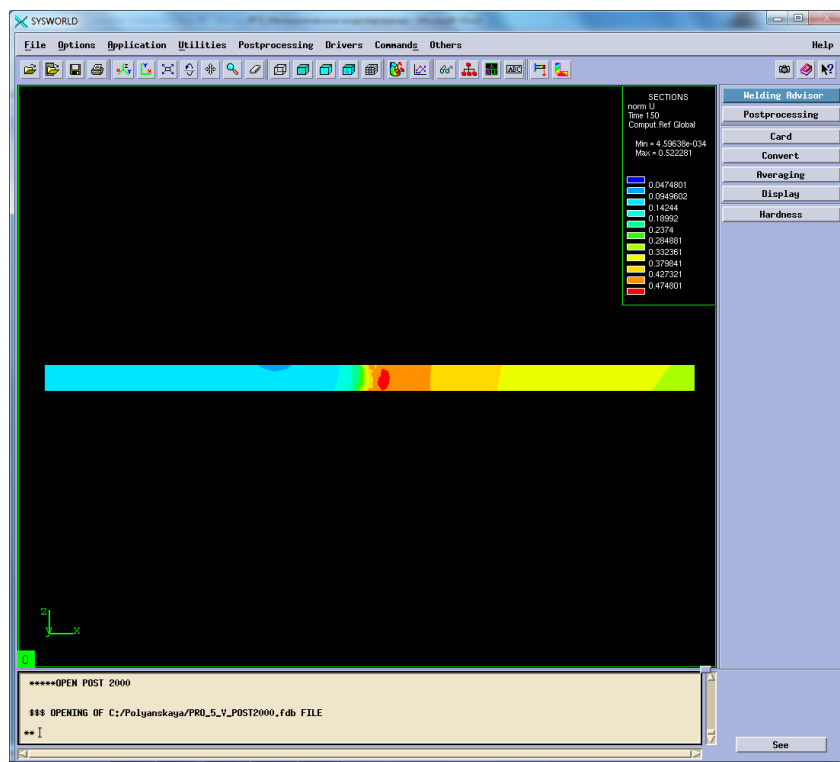


Рисунок 79. Сечение №7.

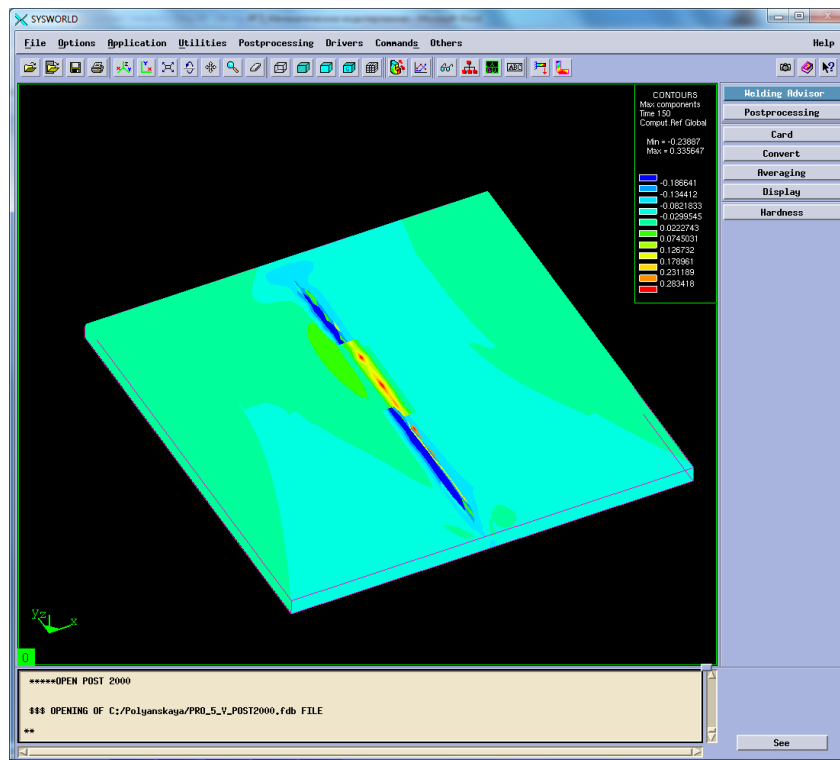


Рисунок 80. Максимальная результирующая деформация.

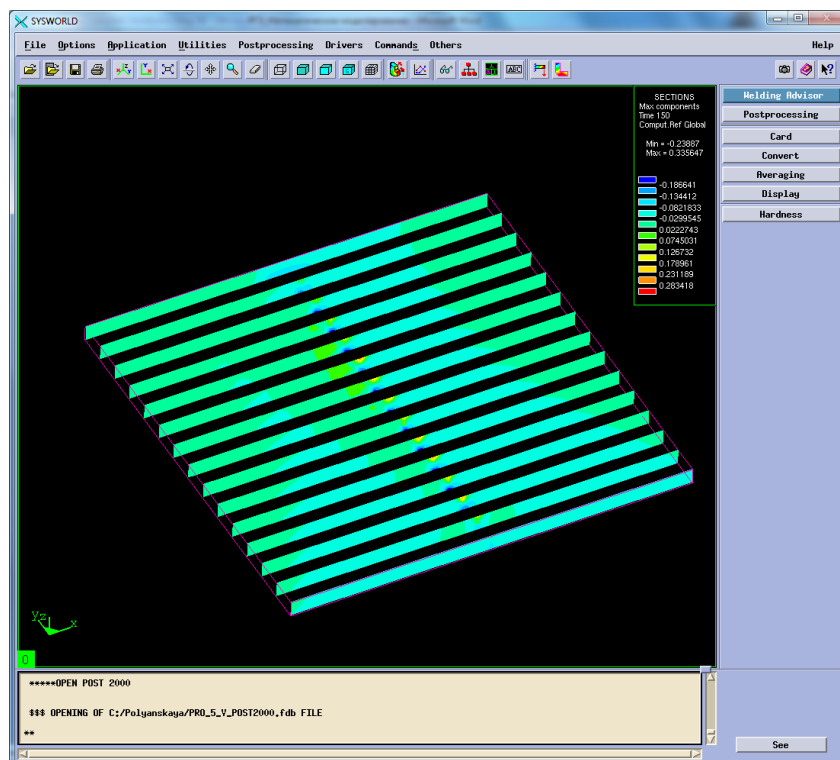


Рисунок 81. Разбиение на сечения.

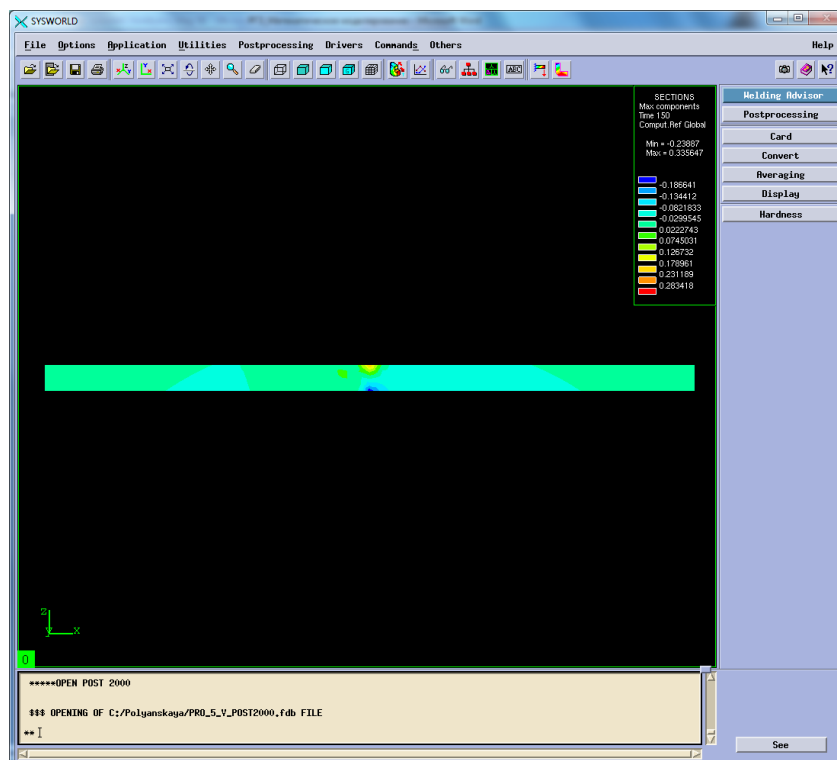


Рисунок 82. Сечение №7.

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).

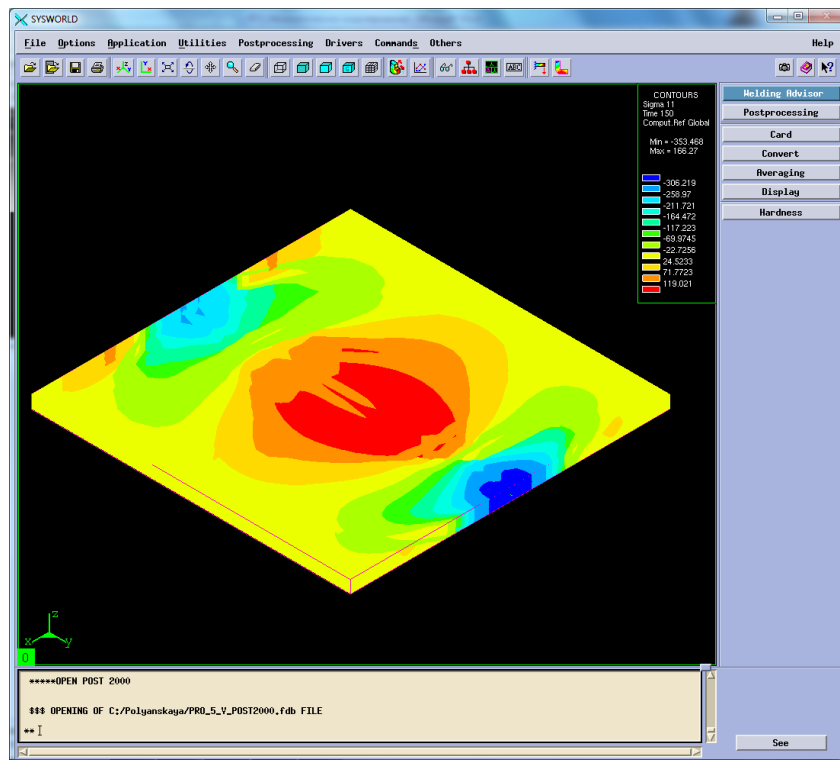


Рисунок 83. Напряжение относительно ОХ.

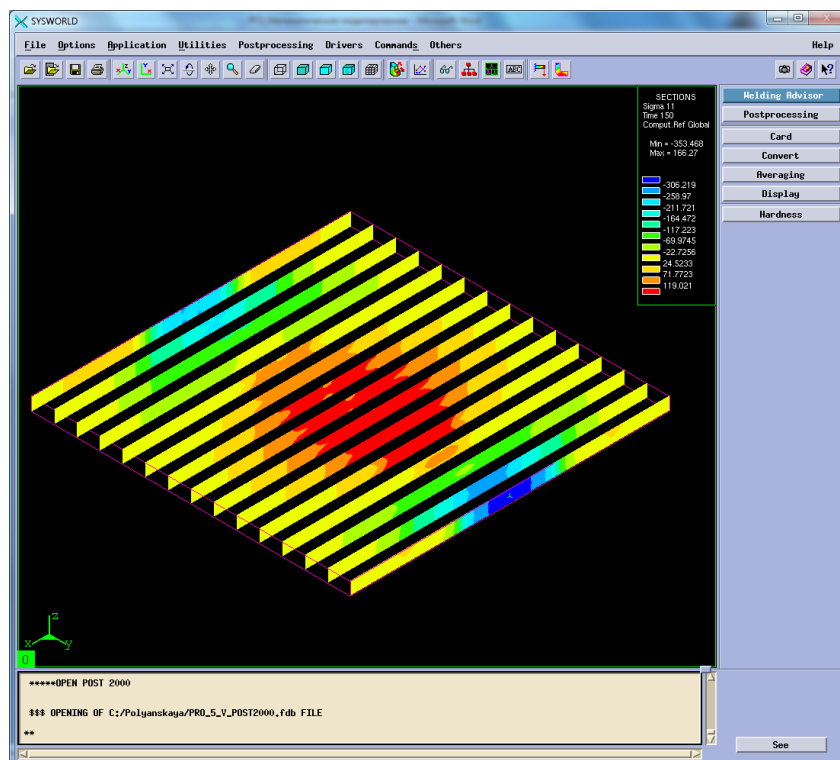


Рисунок 84.Разбиение на сечения.

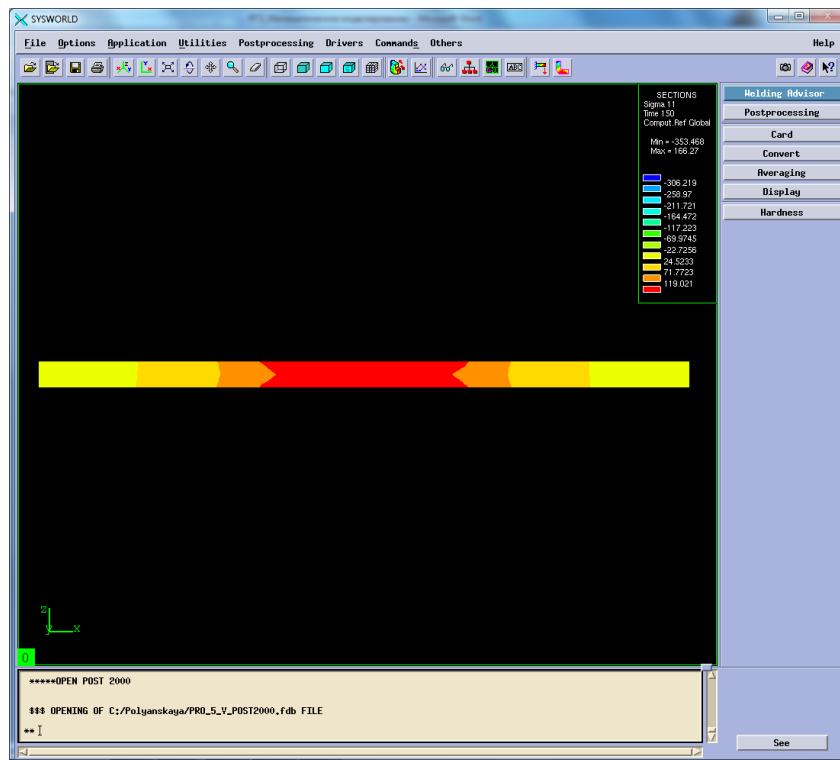


Рисунок 85. Сечение №7.

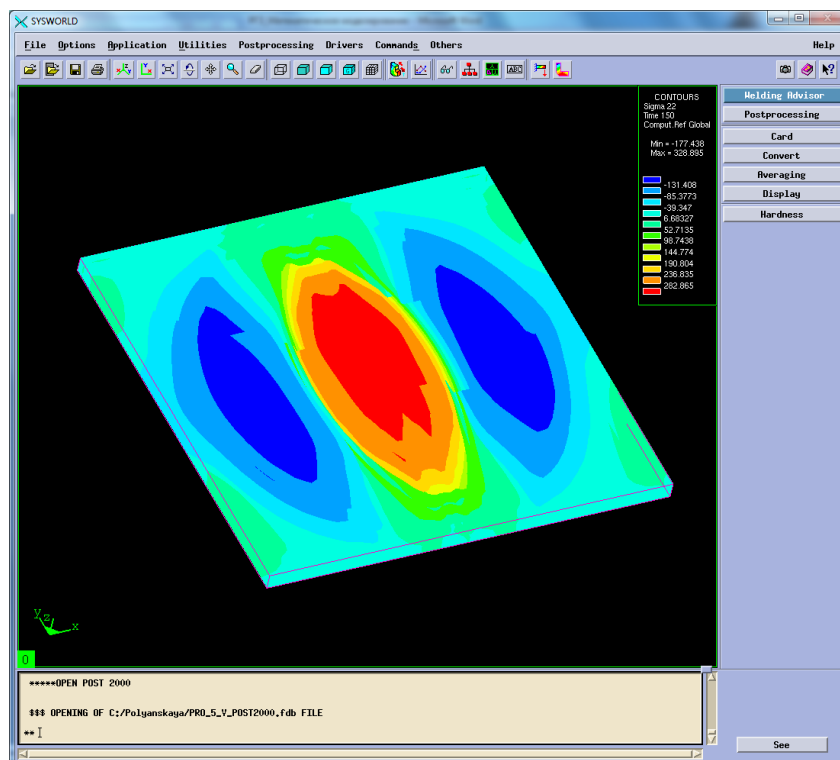


Рисунок 86. Напряжение относительно ОУ.

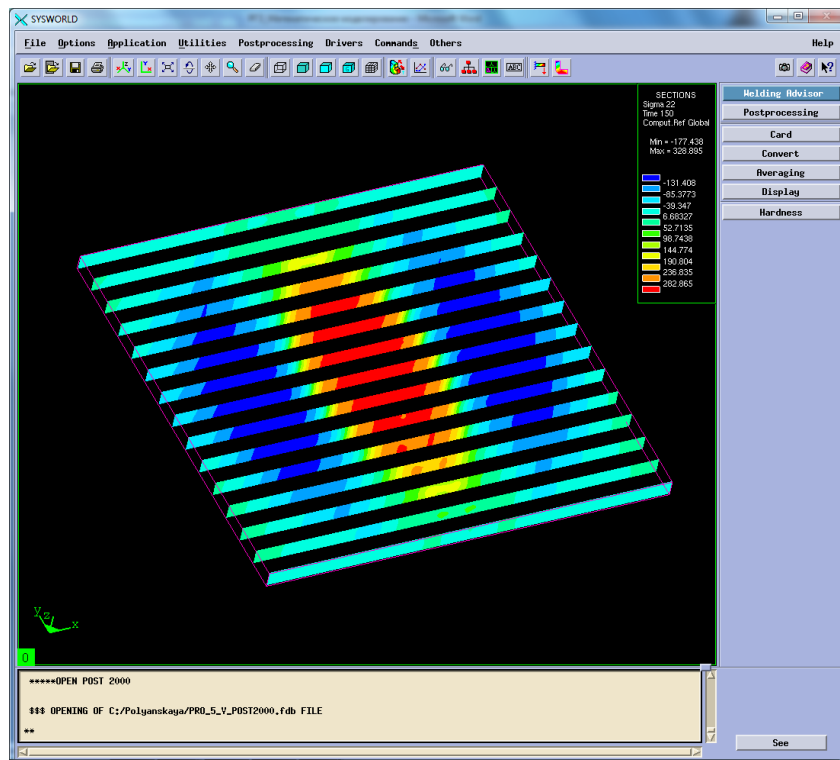


Рисунок 87. Разбиение на сечения.

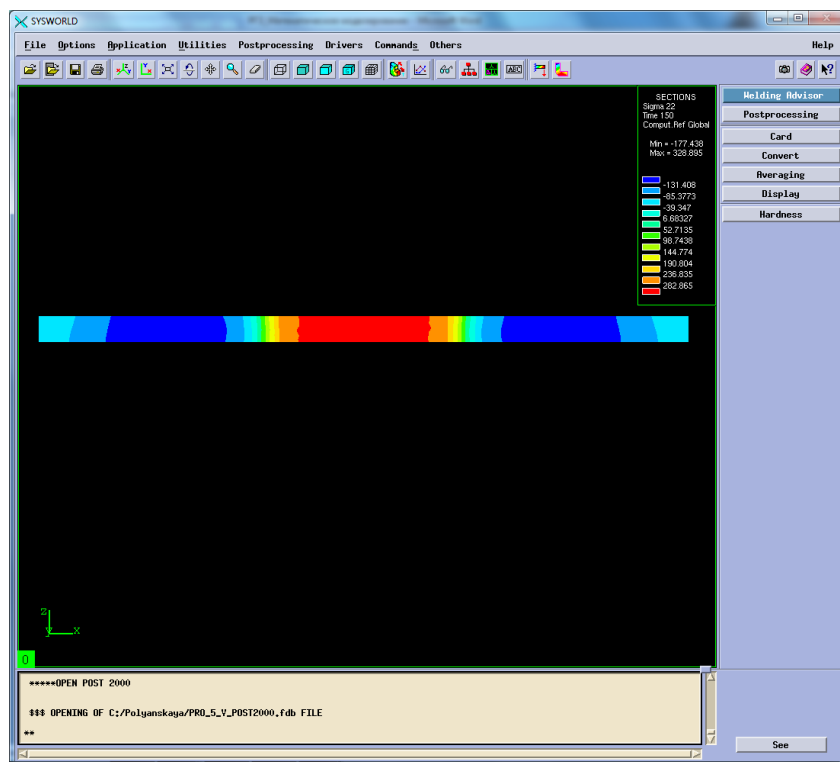


Рисунок 88. Сечение №7.



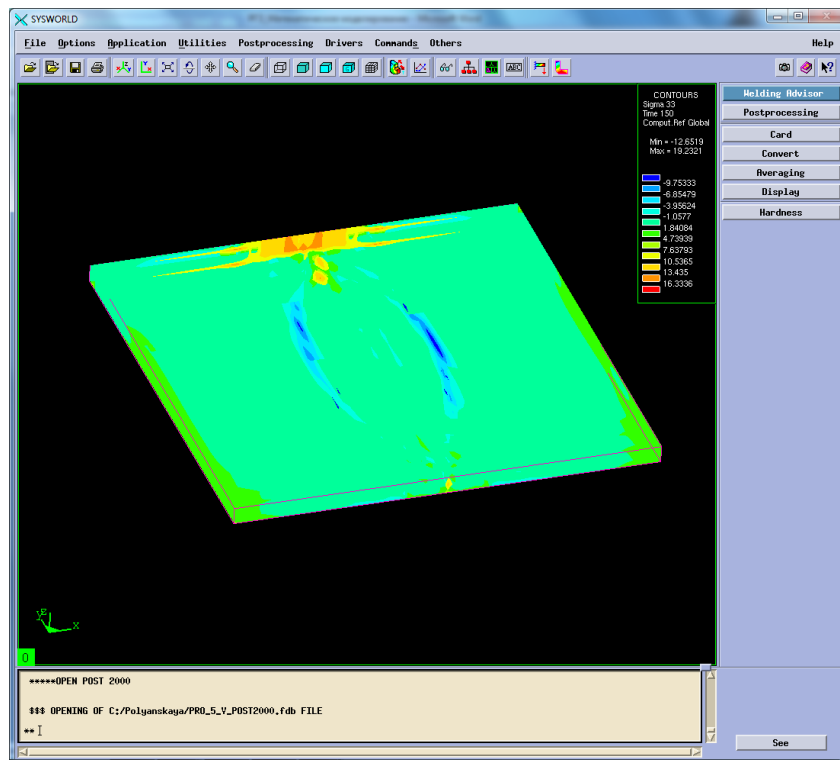


Рисунок 89. Напряжение относительно OZ.

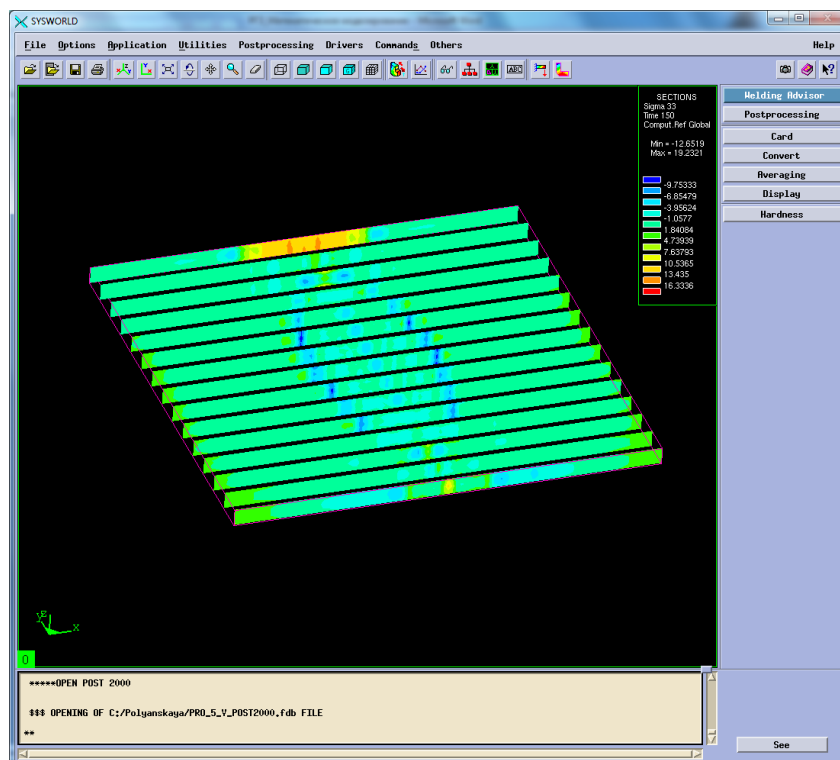


Рисунок 90. Разбиение на сечения.

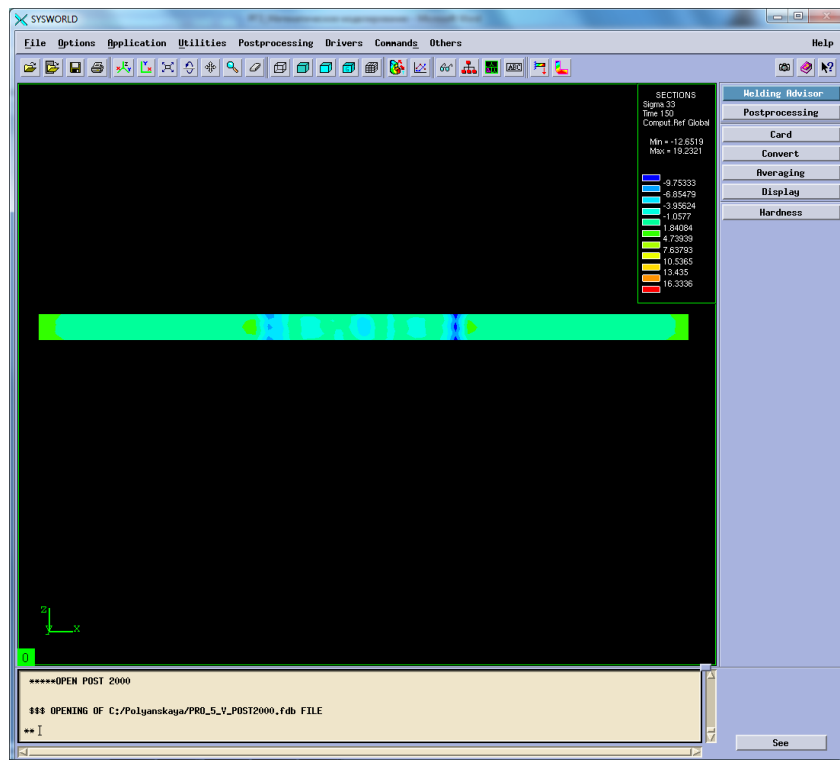


Рисунок 91. Сечение №7.

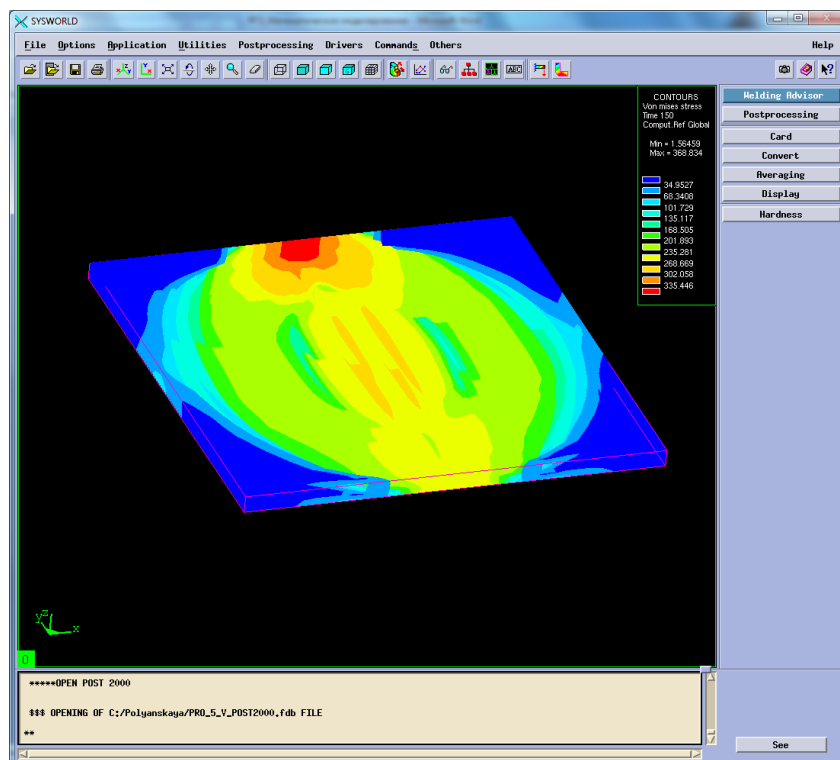


Рисунок 92. Напряжение по Мизесу.

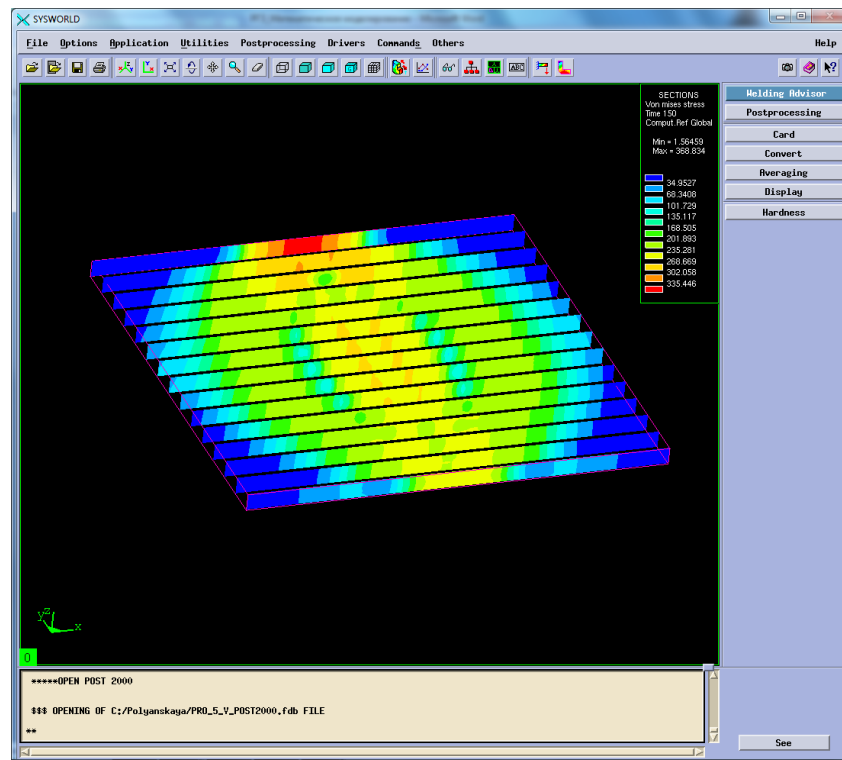


Рисунок 93. Разбиение на сечения.

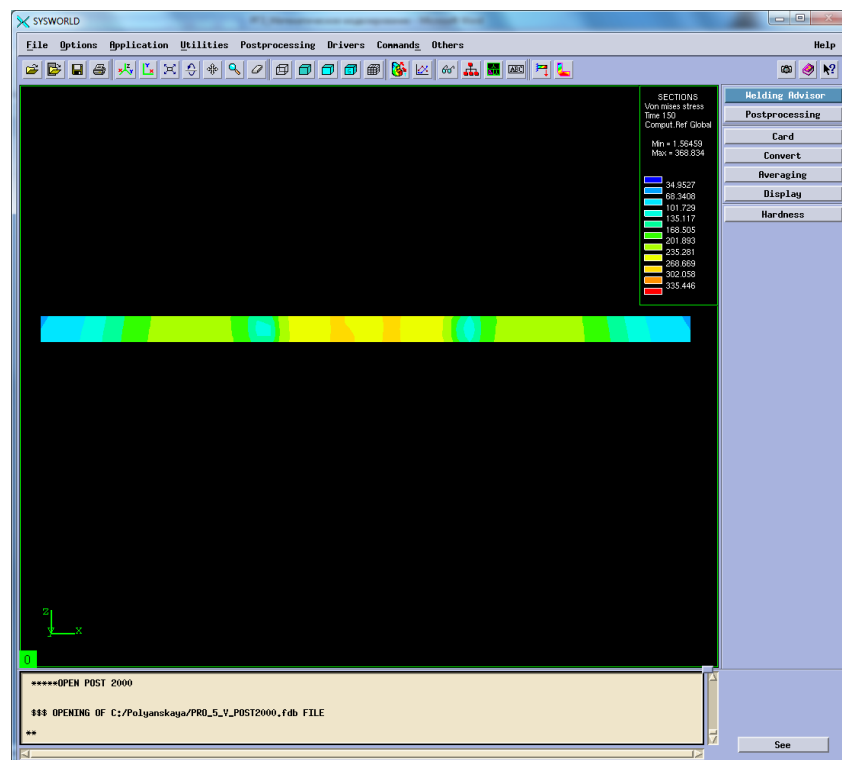


Рисунок 94. Сечение № 7.

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 12X18H10T.

Данный режим обеспечивает *минимальные деформации*:

По оси OX -0,476

По оси OY -0,412

По оси OZ -0,305

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

Максимальная результирующая деформация -0,236

*Минимальные напряжения:*

По оси OX -353,46

По оси OY -177,43

По оси OZ -12,65

Напряжения по Мизесу 1,565

**Паспорт заданий для выполнения практических работ**  
по дисциплине «Математическое моделирование и оптимизация технологических  
процессов», 3 семестр

**1. Методика оценки**

Для защиты практических работ студентам предлагается выполнить следующий типовой набор заданий. Распределение заданий практических занятий по проверяемым компетенциям указано в таблице «Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины».

Выставление оценок на практическом занятии осуществляется на основе выполнения и защиты одного типового задания (см. выше). Защита практической работы в соответствии с уровнем знаний: "удовлетворительно" – 1-2 балл; "хорошо" – 3-4 балла; "отлично" – 5-6 баллов.

**2. Критерии оценки**

*Работа считается не выполненной*, если студент не освоил практический и теоретический материалы; оценка составляет 0 баллов.

*Работа считается выполненной на **пороговом уровне***, если студент освоил практический материал, но не смог обобщить теоретический материал; оценка составляет 1-2 балл.

*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 своих действий и выводов, оценка составляет 3-4 балла.

*Работа считается выполненной на **продвинутом уровне***, если студент смог обобщить практический и теоретический материал, привёл достаточно чёткую аргументацию своих действий при построении математической модели, оценка составляет 5-6 баллов.

**3. Шкала оценки**

В общей оценке по дисциплине баллы за практические занятия 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 зачете + **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. Перечень практических работ

##### **Практические работы № 1, 2, 3 «Стратегия создания 3D модели объектов расчета средствами Sysweld и Ansys. Меширование 3D модели и создание регулярной конечно-элементной сетки. Подготовка компонентов КЭМ»**

*Задание:*

Студенты выполняют групповые задания по построению проектов в программных комплексах *Ansys, Sysweld* для расчета: соединения с натягом; конического соединения; соединения призматической шпонкой; соединения сегментной шпонкой; прямобочного шлицевого соединения; эвольвентного шлицевого соединения; треугольного шлицевого соединения; призматического профильного соединения; резьбовых соединений; сварных соединений.

##### **Практическая работа № 4 «Использование модуля Heat Input Fitting мастера сварки Welding Advisor»**

*Задание:*

Студенты выполняют групповые задания по построению проектов в модуле Heat Input Fitting мастера сварки Welding Advisor.

##### **Практическая работа № 5, 6 «Создание и расчет стандартного сварного соединения с использованием модуля Welding wizard»**

*Задание:*

Моделирование температурных полей, структурно-фазовых превращений и напряженно-деформированного состояния в сталях при нагреве с использованием концентрированных источников энергии. Стратегия создания 3D модели объектов расчета средствами Sysweld. Меширование 3D модели и создание регулярной конечно-элементной сетки. Подготовка компонентов КЭМ. Использование мастера сварки (Welding Wizard). Виды источников энергии и функциональные зависимости, описывающие интенсивность распределения тепла. Использование модуля Heat Input Fitting мастера сварки Welding Advisor: 1. Предварительное описание рассчитываемого сварного соединения; 2. Загрузка файла базы материалов в систему; 3. Выбор и описание геометрических параметров источника нагрева. Тарировка источника энергии. 4. Создание функции источника нагрева. Создание и расчет стандартного сварного соединения с использованием модуля Welding wizard: 1. Активация модуля мастера сварки Welding wizard; 2. Загрузка конечно-элементной модели, функции источника и материала компонентов; 3. Загрузка условий теплообмена между контактными поверхностями модели (Heat Exchange/ Imposed Temperature); 4. Обозначение вида закрепления модели (Clamping Conditions); 5. Указание рациональных условий протекания расчета (Solver parameters).