

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Факультет «Материаловедение и металлургические технологии»
Кафедра «Оборудование и технология сварочного производства»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Начальник ПКО

должность, место работы

_____ М.А. Иванов

ПАО ЧМК Ю.А. Усков

подпись

И.О. Фамилия

« 21 » июня 2019 г.

« 21 » 06 2019 г.

Совершенствование конструктивно- технологических решений
сварных соединений лонжеронов рамы полуприцепов лесовозов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
(МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ)
ЮУрГУ-15.04.01.2019.197.00 ПЗ ВКР

Руководитель ВКР

Автор
магистрант группы П-246

ВКР

Доцент

Должность

Чирков А.А.

А.К. Тиньгаев

Подпись

И.О., Фамилия

« 14 » 06 2019 г.

« 18 » 06 2019 г.

Нормоконтролёр
старший преподаватель

_____ Ю.В. Безганс

« 18 » 06 2019 г.

АННОТАЦИЯ

Чирков А.А. Совершенствование конструктивно-технологических решений сварных соединений лонжеронов рамы полуприцепов-лесовозов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2019. – 121 с., 18 табл., 54 ил., библиография литературы – 33 наименования.

В данной научно-исследовательской работе были представлены различные варианты производства сварных соединений лонжерона рамы полуприцепа лесовоза, с последующим анализом проведенных экспериментов в программе ANSYS, и предоставлением наиболее удовлетворительных вариантов.

Были произведены расчеты режимов сварки для таврового соединения ТЗ пояса и стенки балки, а также расчеты для стыкового соединения С25 для пояса балки толщиной 20 и 25 мм.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Чирков А.А.			Совершенствование конструктивно-технологических решений сварных соединений лонжеронов рамы полуприцепов лесовозов	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		Тиньгаев А.К.				5	121	
<i>Н. Контр.</i>		Безганс Ю.В.			ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»			
<i>Утверд.</i>		Иванов М.А.			Кафедра ОиТСП			

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ.....	10
1.1 Анализ конструкции полуприцепа ТСП 9417-0000056	10
1.2 Технические характеристики и оснащение полуприцепа	12
1.3 Материал изделия и его свариваемость.....	13
1.3.1 Базовая марка стали 09Г2С	14
1.3.2 Высокопрочная сталь S500МС	16
1.3.3 Высокопрочная сталь S700МС	18
1.4 Обоснование замены стали 09Г2С.....	19
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	28
2.1 Выбор сварочных материалов.....	28
2.2 Расчет режимов сварки.....	30
2.2.1 Тавровое соединение.....	30
2.2.2 Стыковое соединение толщиной 25 мм.....	34
2.2.3 Стыковое соединение толщиной 20 мм.....	37
2.3 Сварочное оборудование.....	39
2.4 Контроль качества сварных соединений	42
2.4.1 Методы контроля	42
2.4.2 Оборудование и средства измерения для контроля	42
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	50
3.1 Обеспечение равнопрочности сварного стыкового соединения.....	50
3.2 Цель и задачи исследования.....	54
3.3 План эксперимента	55
3.4 Методика обработки эксперимента	57
3.5 Результаты проведенных исследований.....	60

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

3.5.1	Эксперимент №1	60
3.5.2	Эксперимент №2	61
3.5.3	Эксперимент №3	65
3.5.4	Эксперимент №4	73
3.5.5	Обобщение результатов	78
3.6	Экспериментальная оценка свариваемости стали S500MC	78
3.7	Выводы по разделу	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		84
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК		85

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассматривается полуприцеп лесовоза компании ООО «ЮжУралТрейлер». Полуприцеп – это разновидность прицепа, который гусакom опирается на тягач, так как полуприцеп не рассчитан удерживать равновесие.

Конструкции полуприцепа с прицепом различаются. У прицепа, как и любого другого транспортного средства, две опорные оси, которые всю нагрузку при перевозке берут на себя. Полуприцеп имеет лишь одну ось, поэтому, во-первых, не в состоянии держать равновесие, во-вторых, распределяет нагрузку между собой и тянущим его автомобилем. Простыми словами, прицеп – это своего рода телега на четырех колесах, которая и от толчка сможет сдвинуться с места, а полуприцеп – это тачка на двух колесах, которую необходимо тянуть за собой.

Существует и еще одно немаловажное для водителей отличие двух транспортных средств, которое заключается в маневренности. В связи с тем, что прицеп – это самостоятельное средство, не имеющее двигателя, очень сложно управлять им в процессе движения. Водитель должен быть особенно осторожным на дороге, так как предугадать движение прицепа бывает непросто, на это влияет и степень загрузки, и скорость, и качество дорог. Полуприцеп, в свою очередь, является частью транспортного средства, поэтому водитель может быть уверен в том, что прикрепленное средство поведет себя так, как и управляемый автомобиль. Таким образом, маневренность на дороге у полуприцепа гораздо выше, нежели у обычного прицепа.

В наше время сложно обойтись без такой техники, как грузовые автомобили. Там, где ведётся строительство, добыча ресурсов, обычно находится различная техника, в том числе и для транспортировки грузов. Но для большей экономичности уже очень давно используются прицепы и полуприцепы. В былые времена прицепы едва могли увести пару сотен килограмм веса. Сегодня на прицепах без хлопот можно везти несколько десятков тон на огромные расстояния. Сейчас существует значительная номенклатура прицепов и полуприцепов, из которой можно выбрать изделие для любых видов задач.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Сегодняшний рынок грузовой автотехники наполнен многочисленными фирмами, стремящимися обойти конкурентов по ряду характеристик. Срок поставки товара, сохранность и т.д. - все это учитывают при планировании перевозки груза. А благодаря прицепам и полуприцепам есть шанс уменьшить и расходы средств и сэкономить время. За одну поездку есть возможность увезти значительно больше груза и не тратить время и топливо на вторую поездку. А определенные прицепы помогают решить проблему с местом хранения вашего груза. Хранить сырье в прицепе иногда намного удобнее, чем на складе или просто на строительной площадке. Прицеп можно попросту переместить в нужный момент, не затрачивая для этого огромных усилий. Все это говорит о том, что на сегодняшний день прицеп остается незаменимым элементом сегодняшних грузоперевозок.

Так как лесовозы зачастую используются на пересеченной местности в различных климатических условиях на них воздействуют разнообразные нагрузки. Например, при езде по пересеченной местности, когда полуприцеп нагружен лесом, на него воздействуют большие нагрузки, которые, в свою очередь, приводят к разрушению конструкции и дальнейшей невозможности эксплуатации полуприцепа с его последующей заменой на новый.

Поэтому необходимо рассмотреть возможность замены некоторых конструктивных элементов, в частности нижний пояс балки лонжерона, на высокопрочную сталь, что приведет к увеличению срока эксплуатации, уменьшению высоты полуприцепа и его массы, что повлияет на увеличение максимальной грузоподъемности.

Также эти изменения благоприятно скажутся на окружающей экологии, так как уменьшение высоты и массы повлияет на расход топлива, что, в свой черед, повлияет на уменьшение выброса продуктов сгорания в окружающую среду.

										Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

15.04.01.2019.197.00 ПЗ

1 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

Лесовоз – специально оборудованное транспортное средство, предназначенное для перевозки леса и других древесных материалов. Основное отличие лесовоза – специально оборудованный тип кузова, конструкция которого специально разрабатывалась для данных грузов.

1.1 Анализ конструкции полуприцепа ТСП 9417-0000056

Существует несколько моделей полуприцепов лесовоза. В данной работе все расчёты и эксперименты будут рассмотрены для улучшения одной модели, а именно ТСП 9417-0000056, общий вид которой приведен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Полуприцеп лесовоза ТСП 9417-0000056

Геометрические характеристики поперечного сечения лонжеронов рамы полуприцепов-лесовозов представлены в таблице 1.1.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

Таблица 1.1. Геометрические характеристики поперечного сечения лонжеронов рамы полуприцепов-лесовозов

Наименование параметра	Модель полуприцепа лесовоза		
	ТСП 9417-0000056	ТСП 9417-0000036	ТСП 9417-0000026
Максимальная высота сечения лонжерона рамы, мм	280-480-344	222-500-310	222-650
Толщина и ширина верхней (сжатой) полки, мм	20x150	20x170	20x250
Толщина нижней (растянутой) полки, мм	Гусак – 30 Середина – 30 Подвеска – 30	Гусак – 30 Середина – 20 Подвеска – 30	Гусак – 30 Середина – 20 Подвеска – 20
Толщина стенки, мм	8	8	12
Грузоподъемность, т	44,3	33	30
Катет поясного шва, мм	10	8	10

Рама полуприцепа-лесовоза имеет "ломаную" форму. Таким образом, полуприцеп имеет низкий центр тяжести, что повышает его устойчивость при движении по пересеченной местности. В качестве подвески используется рессорно-балансирный мост - надежный и неприхотливый к обслуживанию при работе в экстремальных условиях.

Рама полуприцепа лесовоза представлена на рисунке 1.2.

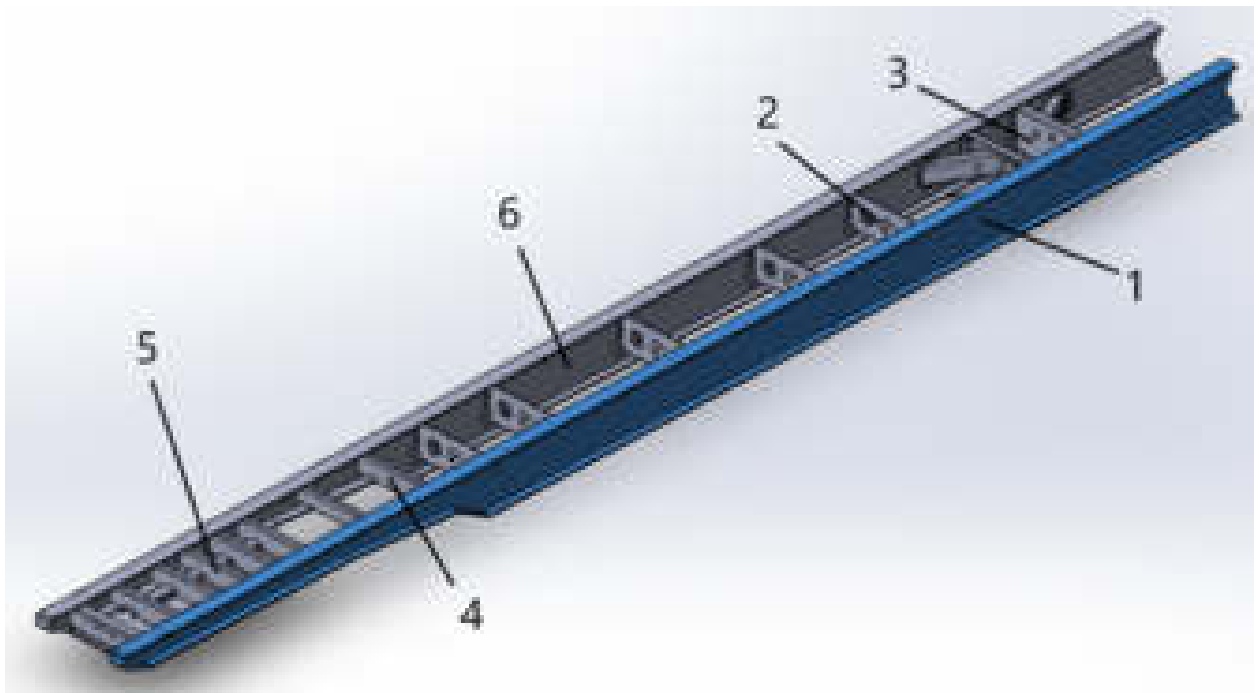


Рисунок 1.2 – Рама полуприцепа лесовоза

1 – лонжерон левый, 2 – ребро, 3 – крепление подвески, 4 – швеллер поперечный,
5 – кусак, 6 – лонжерон правый

В данной работе будет рассматриваться лонжерон рамы полуприцепа лесовоза, а именно: тавровое соединение стенки и пояса двутавровой балки лонжерона.

Чертеж лонжерона рамы представлен на рисунке 1.3.

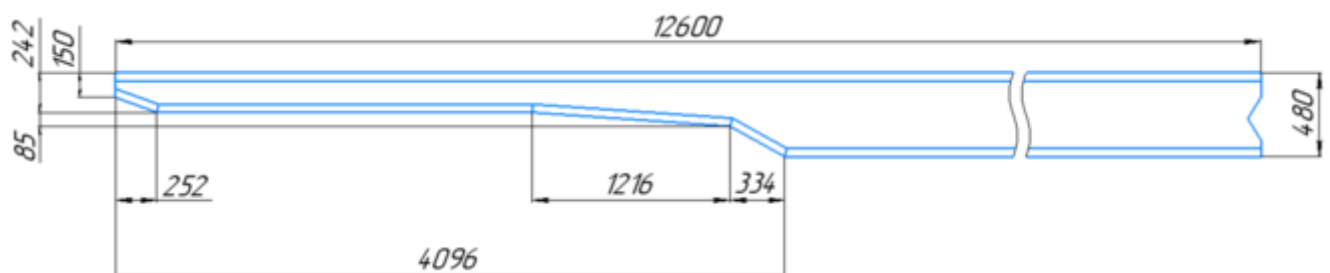


Рисунок 1.3 – Лонжерон рамы

1.2 Технические характеристики и оснащение полуприцепа

Технические характеристики полуприцепа ТСП 9417-0000056 представлены в таблице 1.2.

										Лист
										12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2019.197.00 ПЗ					

Таблица 1.2. Технические характеристики полуприцепа ТСП 9417-0000056

Грузоподъемность, кг	44300
Подвеска	Рессорно-балансирный мост
Шины/количество	12,00К20 / 8+1
Сцепной шкворень*	3,5 дюйма JOST (Германия)
Объем кузова, м ³	56,7 (при К=0,8)
Полная масса, кг	55000
Снаряженная масса, кг	10700
Нагрузка на шины, кг	33000
Нагрузка на седельно-сцепное устройство, кг	22000

*Шкворень – стальная деталь, устанавливаемая на нижнюю часть гусака полуприцепа для соединения его с тягачом.

Стандартное оснащение полуприцепа ТСП 9417-0000056:

- пневмопривод тормозов WABCO с АБС (Германия);
- опорное устройство JOST (Германия);
- противооткатные упоры, боковая защита;
- подъемники для 2-х запасных колес;
- металлический инструментальный ящик;
- коники передвижные;
- щит передний съёмный;
- задний подъёмный буфер.

1.3 Материал изделия и его свариваемость

Базовым материалом, из которого изготавливают раму лесовоза используют конструкционную сталь 09Г2С. На сегодняшний день на предприятии ООО «ЮжУралТрейлер», с целью снижения массы полуприцепа, предложены конструктивные решения, в которых нижние пояса лонжеронов предлагается заменить на высокопрочную сталь. В качестве замены предлагаются стали S500MC и S700MC.

1.3.1 Базовая марка стали 09Г2С

Химический состав и механические свойства стали 09Г2С представлен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Химический состав и механические свойства стали 09Г2С

С, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	S, %	P, %
<0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	<0,3	<0,035	<0,03
Cr, %	V, %	N, %	Cu, %	As, %	
<0,3	<0,12	<0,008	<0,3	<0,08	
Минимальный предел текучести, МПа		265	Предел прочности, МПа		430
Относительное удлинение при разрыве, %		21	Ударная вязкость, кДж/м ²		590...640

Эквивалентное содержание углерода в стали 09Г2С рассчитаем по формуле (согласно ГОСТ 27772-88) [28] (1):

$$C_{\text{э}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2} \quad (1)$$

где $C_{\text{э}}$ – эквивалентное содержание углерода в стали, %;

С, Mn, Si, Cr, V, Mo, Ni, Cu, P – массовые доли углерода, марганца, кремния, хрома, никеля, меди, ванадия и фосфора, %.

Получим:

$$C_{\text{э}} = 0,12 + \frac{1,5}{6} + \frac{0,65}{24} + \frac{0,3}{5} + \frac{0,3}{40} + \frac{0,3}{13} + \frac{0,12}{14} + \frac{0,03}{2} = 0,51\%$$

Из результатов расчета следует, что сталь 09Г2С является трудносвариваемой, так как $C_{\text{э}}$ больше 0,45 %. Из этого следует, что для стали 09Г2С требуется предварительный подогрев.

В действительности это результат не в полной мере соответствует действительности, т.к. в ГОСТе на сталь приведены максимально допустимые

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2019.197.00 ПЗ					

значения химического состава стали. Вероятность того, что все элементы химического состава будут принимать максимальные значения мала. Поэтому на практике для оценки свариваемости стали следует использовать данные химического состава из сертификата на металлопрокат.

Так, например, согласно сертификату качества предприятия ПАО «Северсталь» №4080110483 от 08.02.2017 сталь 09Г2С относится к группе хорошо свариваемых сталей, так как эквивалентное содержание углерода равно 0,38%. В таблице 1.4 представлен химический состав стали 09Г2С из данного сертификата.

Таблица 1.4 – Химический состав стали 09Г2С по сертификату

C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	S, %	P, %	Ti, %
0,11	0,7	1,32	0,03	0,004	0,016	0,005
Cr, %	V, %	N, %	Cu, %	As, %	Al, %	Nb, %
0,04	0,004	0,005	0,06	0,002	0,03	0,002

Рассчитаем эквивалент содержания углерода по формуле (1):

$$C_3 = 0,11 + \frac{1,32}{6} + \frac{0,7}{24} + \frac{0,04}{5} + \frac{0,03}{40} + \frac{0,06}{13} + \frac{0,004}{14} + \frac{0,016}{2} = 0,38, \%$$

Это утверждение можно подтвердить статистическим исследованием. Для этого рассмотрим выборку из 303 плавки стали 09Г2С, для которых расчётное C_3 варьируется от 0,3279% до 0,4322%.

Этот диапазон разделили на 10 равных интервалов и нашли количество образцов, входящих в каждый интервал.

На рисунке 1.5 представлен результат сортировки образцов по содержанию эквивалентного углерода.

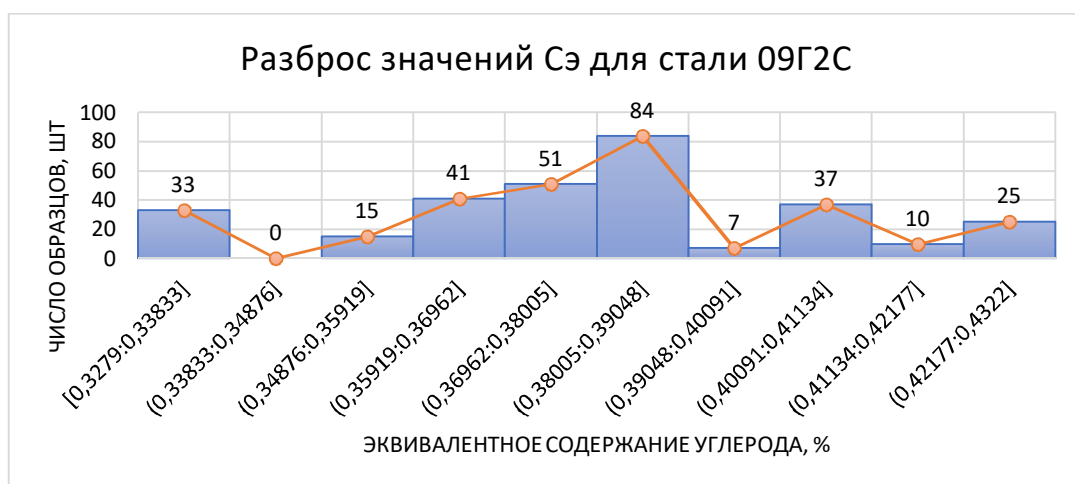


Рисунок 1.5 – Разброс значений Сэ для стали 09Г2С

По результатам этой сортировки можно сказать, что чаще всего сталь марки 09Г2С встречается в интервале 0,37...39%. Это значит, что сталь действительно удовлетворительно свариваемая и в предварительном подогреве не нуждается. Далее при оценке свариваемости стали будет использоваться данные сертификата на металлопрокат.

1.3.2 Высокопрочная сталь S500MC

В качестве одного из вариантов высокопрочной стали для полки лонжерона рассматривается сталь S500MC, у которой имеется аналог в виде стали 10Г2ФБЮ, на которую существует сертификат качества № 89434 от 23.12.2017 «Серверсталь». Химический состав стали S500MC представлен в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Химический состав и механические свойства стали S500MC по сертификату качества.

С, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	V, %	Cu, %	Cr, %
0,063	0,34	1,5	0,08	0,01	0,0003	0,04	0,02
Mo, %	Nb, %	Ti, %	V, %	Al, %	Ni, %	N, %	
0,173	0,53	0,15	0,003	0,03	0,23	0,005	
Минимальный предел текучести, МПа			550	Предел прочности, МПа			600...760
Относительное удлинение при разрыве, %			14	Ударная вязкость, кДж/м ²			—

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

15.04.01.2019.197.00 ПЗ

Лист

16

Эквивалентное содержание углерода в стали S500MC рассчитаем по формуле (1):

$$C_{\text{э}} = 0,063 + \frac{1,5}{6} + \frac{0,34}{24} + \frac{0,02}{5} + \frac{0,23}{40} + \frac{0,04}{13} + \frac{0,003}{14} + \frac{0,08}{2} = 0,38 \%$$

Из полученных расчетов следует, что сталь S500MC является удовлетворительно свариваемой, так как $C_{\text{э}}$ больше 0,38 %. Из этого следует, что для стали S500MC не требуется предварительный подогрев.

Известно, что с увеличением класса прочности стали повышается ее чувствительность к образованию холодных трещин [5]. Рассчитаем сопротивляемость стали образованию холодных трещин по уравнению Ито-Бессю [5] (2):

$$P_w = P_{\text{ст}} + \frac{H_{\text{гл}}}{60} + \frac{K}{40 \cdot 10^4}, \% \quad (2)$$

$$P_w \leq [P_w]$$

где $P_{\text{ст}}, \%$ – коэффициент, характеризующий охрупчивание вследствие структурных превращений стали;

$H_{\text{гл}}$ – количество диффузионного водорода в наплавленном металле или стали, мл/100г ($H = 3$ мл/100г при наплавке низколегированного высокопрочного металла);

$K = 69\delta$ – коэффициент интенсивности жесткости, где δ , мм – толщина металла;

$[P_w]$ – нормативное значение параметра, равное 0,286.

Рассчитаем $P_{\text{ст}}$ по формуле (3):

$$P_{\text{ст}} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo + V}{15} + 5 \cdot B, \% \quad (3)$$

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

$$P_{ст} = 0,063 + \frac{0,37}{30} + \frac{1,5}{20} + \frac{0,4}{20} + \frac{0,23}{60} + \frac{0,02}{20} + \frac{0,173 + 0,003}{15} + 5 \cdot 0,0003$$

$$= 0,188 \%$$

Для стали толщиной 20 мм:

$$P_w = 0,188 + \frac{3}{60} + \frac{69 \cdot 20}{40 \cdot 10^4} = 0,241 \%$$

Для стали толщиной 25 мм:

$$P_w = 0,188 + \frac{3}{60} + \frac{69 \cdot 25}{40 \cdot 10^4} = 0,242 \%$$

Так как $P_w < 0,286$, то сталь не склонна к образованию холодных трещин.

1.3.3 Высокопрочная сталь S700MC

Другим вариантом высокопрочной стали для полки лонжерона является сталь S700MC, для которой существует сертификат качества А 77038-005 от 05.06.2014 ООО «RUUKKI RUS» Химический состав и механические свойства стали S700MC представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Химический состав и механические свойства стали S700MC по сертификату качества

С, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Nb, %
0,056	0,18	1,79	0,009	0,004	0,062
Mo, %	N, %	Ti, %	V, %	Al, %	
0,07	0,009	0,119	0,013	0,038	

Окончание таблицы

Минимальный предел текучести, МПа	700	Предел прочности, МПа	750...950
Относительное удлинение при разрыве, %	12	Ударная вязкость, кДж/м ²	–

Эквивалентное содержание углерода в стали S700MC рассчитаем по формуле (1):

$$C_s = 0,056 + \frac{1,79}{6} + \frac{0,18}{24} + \frac{0,013}{14} + \frac{0,009}{2} = 0,37 \%$$

Сталь S700MC является удовлетворительно свариваемой, так как C_s меньше 0,45 %. Из этого следует, что для стали S700MC не требуется предварительный подогрев.

Рассчитаем P_{cm} по формуле (3):

$$P_{cm} = 0,056 + \frac{0,18}{30} + \frac{1,79}{20} + \frac{0,07 + 0,013}{15} = 0,52 \%$$

Посчитаем чувствительность стали к образованию холодных трещин по уравнению Ито-Бессю (2) для стали толщиной 20 мм:

$$P_w = 0,52 + \frac{3}{60} + \frac{69 \cdot 20}{40 \cdot 10^4} = 0,57 \%$$

Так как $P_w > 0,286$, то сталь чувствительна к образованию холодных трещин.

1.4 Обоснование замены стали 09Г2С

Для того, чтобы определить возможность замены стали 09Г2С на стали S500MC и S700MC, необходимо определить максимальные изгибающие моменты, которые сможет воспринять лонжерон, при реализации предлагаемых

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

вариантов. Будем считать, что конструктивная прочность лонжерона обеспечена при соблюдении условия:

$$M_{max}^{09Г2С} \leq M_{max}^{S500MC(S700MC)}$$

На рисунке 1.6 изображено сечение балки лонжерона рамы лесовоза с геометрическими величинами.

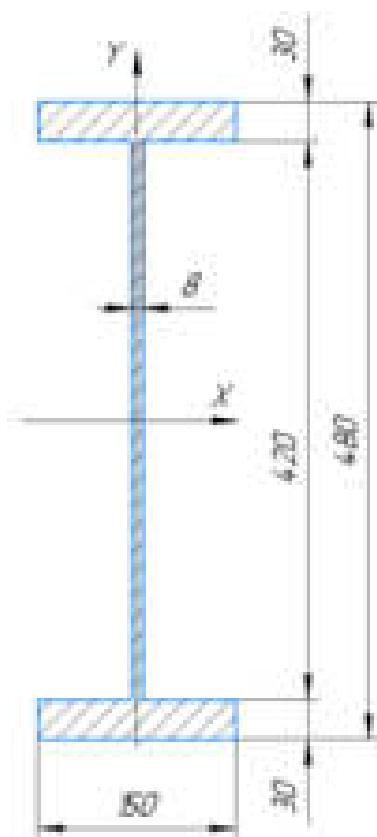


Рисунок 1.6 – Сечение балки лонжерона рамы лесовоза

Максимальный изгибающий момент, определяемый из условия обеспечения прочности балки [25], рассчитывается по формуле (4):

$$M_{max} = W_x \cdot \sigma_T \cdot \gamma_c, \quad (4)$$

где W_x – момент сопротивления поперечного сечения балки относительно оси x-x;

σ_T – предел текучести стали;

$\gamma_c = 1$ – коэффициент условия работы;

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Момент сопротивления поперечного сечения балки рассчитывается по формуле (5) [23]:

$$W_x = \frac{h_w^2 \cdot t_w}{6} + \frac{b_1 \cdot t_1^2}{6} + b_1 \cdot t_1 \cdot \frac{h - t_1}{2}, \quad (5)$$

где h_w – высота стенки балки;

$t_w = 8$ мм – толщина стенки балки;

$b_1 = 150$ мм – ширина пояса балки;

t_1 – толщина нижнего пояса балки;

$h = 480$ мм – высота балки.

1. Сталь 09Г2С. $h_w = 420$ мм, $t_1 = 30$ мм, $\sigma_T = 300$ МПа.

$$\begin{aligned} W_x(30) &= \frac{420^2 \cdot 8}{6} + \frac{150 \cdot 30^2}{6} + 150 \cdot 30 \cdot \frac{480 - 30}{2} = \\ &= 235200 + 22500 + 1012500 = 1270200 \text{ мм}^3 \end{aligned}$$

$$M_{max} = 1270200 \cdot 300 \cdot 1 = 381060000 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^3 = 0,38 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3$$

2. Сталь S500МС. $h_w = 425$ мм, $t_1 = 25$ мм, $\sigma_T = 500$ МПа.

$$\begin{aligned} W_x(25) &= \frac{425^2 \cdot 8}{6} + \frac{150 \cdot 25^2}{6} + 150 \cdot 25 \cdot \frac{480 - 25}{2} = \\ &= 240833 + 15625 + 853125 = 240833 \text{ мм}^3 + 868750 \text{ мм}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= (240833 \cdot 300 + 868750 \cdot 500) \cdot 1 = 72249900 + 434375000 \\ &= 506624900 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^3 = 0,51 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3 \end{aligned}$$

Так как $M_{max}^{09Г2С} < M_{max}^{S500МС}$, то можно использовать лист из стали S500МС толщиной 25 мм.

3. Сталь S500МС. $h_w = 430$ мм, $t_1 = 20$ мм, $\sigma_T = 500$ МПа.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

$$W_x(20) = \frac{430^2 \cdot 8}{6} + \frac{150 \cdot 20^2}{6} + 150 \cdot 20 \cdot \frac{480 - 20}{2} =$$

$$= 246533 + 10000 + 690000 = 246533 \text{ мм}^3 + 700000 \text{ мм}^3$$

$$M_{max} = (246533 \cdot 300 + 700000 \cdot 500) \cdot 1 = 73959900 + 350000000$$

$$= 423959900 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^3 = 0,42 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3$$

Так как $M_{max}^{09Г2С} < M_{max}^{S500МС}$, то можно использовать лист из стали S500МС толщиной 20 мм.

4. Сталь S700МС. $h_w = 430$ мм, $t_1 = 20$ мм, $\sigma_T = 700$ МПа.

$$W_x(20) = 246533 \text{ мм}^3 + 700000 \text{ мм}^3$$

$$M_{max} = (246533 \cdot 300 + 700000 \cdot 700) \cdot 1 = 73959900 + 490000000$$

$$= 563959900 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^3 = 0,56 \text{ МПа} \cdot \text{м}^3$$

Так как $M_{max}^{09Г2С} < M_{max}^{S700МС}$, то можно использовать лист из стали S700МС толщиной 20 мм.

Наряду с обеспечением прочности балки необходимо обеспечить ее жесткость по величине прогиба (перемещения) по вертикальной оси. Рассчитаем максимальное перемещение для каждого из сечений с помощью программы MechSoft:

1. Нижний пояс балки 30 мм

При расчете на балку будет прилагаться половина всей массы полуприцепа с грузом, которая составляет 27500 кг. Длина балки 12600 мм.

Длина, сечение и механические характеристики балки представлены на рисунке 1.7.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

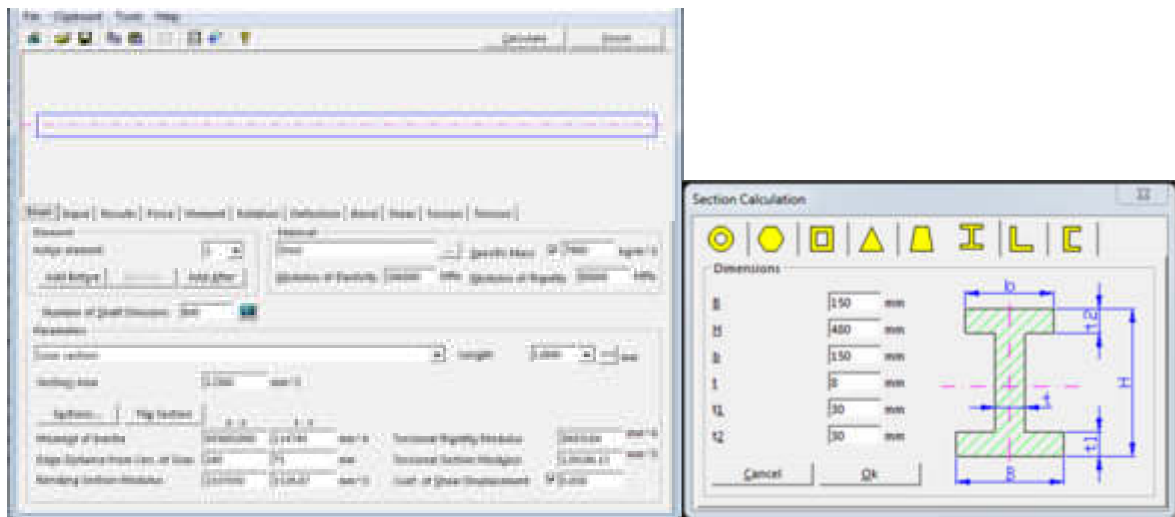


Рисунок 1.7 – Длина, сечение и механические характеристики балки
 Нагрузку рассчитаем по формуле (6):

$$P = \frac{m}{L} \cdot g, \quad (6)$$

где m – масса балки,

L – пролет балки,

g – ускорение свободного падения.

$$P = \frac{27500}{12600} \cdot 9,81 = 21,41 \text{ Н/мм}$$

Закрепление 1 и начало приложения равномерной нагрузки представлены на рисунке 1.8. Закрепление 2 и конец приложения равномерной нагрузки представлены на рисунке 1.9. Результаты расчета представлены на рисунке 1.10.

Две большие стрелки указываются начало и конец приложенной равномерной нагрузки.

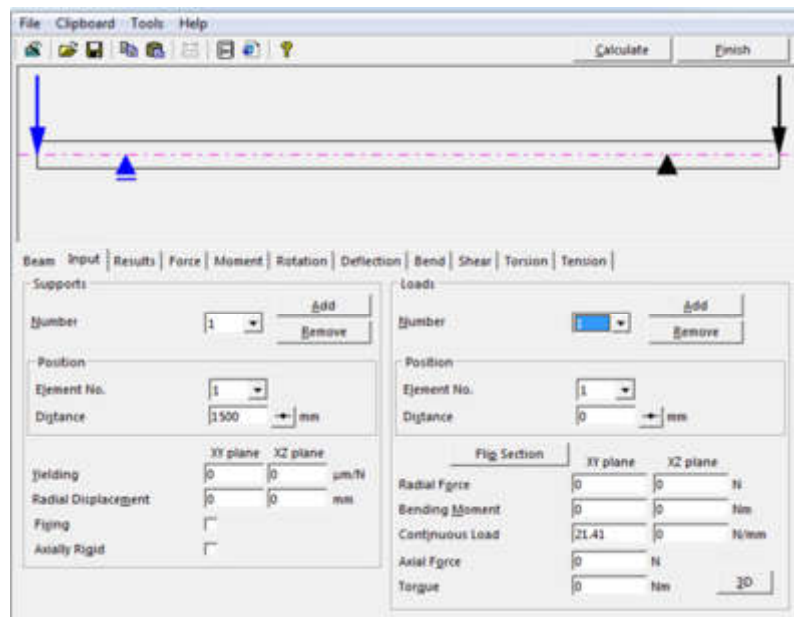


Рисунок 1.8 – Закрепление 1 и начало приложения равномерной нагрузки

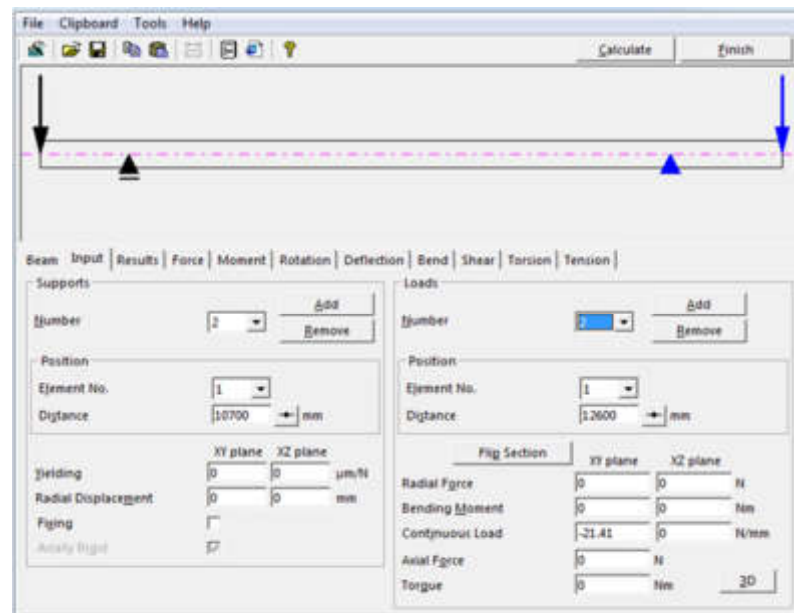


Рисунок 1.9 – Закрепление 2 и конец приложения равномерной нагрузки
 Результаты расчета представлены на рисунке 1.10.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

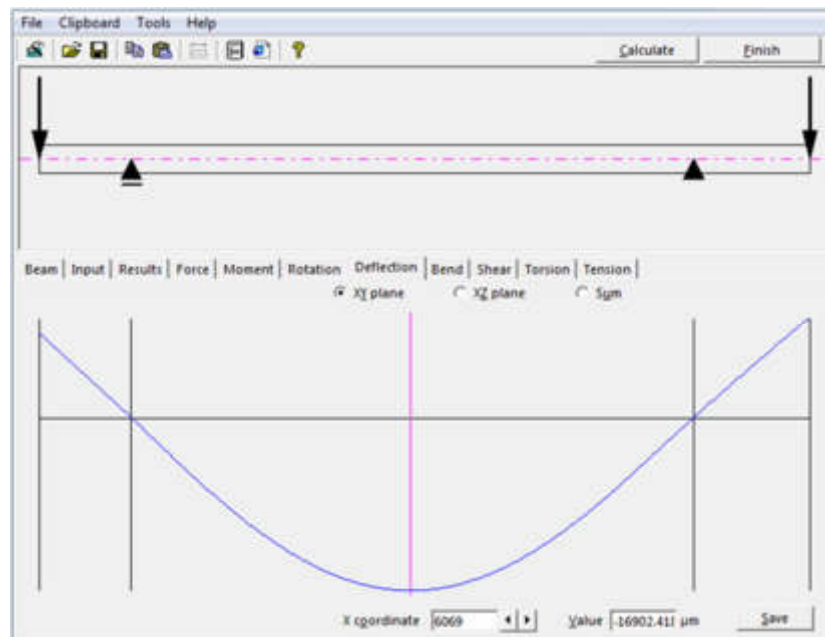


Рисунок 1.10 – Результаты расчета 1

Как видно из эпюры: максимальное перемещение с таким сечением составляет 16,902 мм, что меньше максимально допустимой величины принятой равной 36 мм по [27].

2. Нижний пояс балки 25 мм

Масса 27425 кг, так как масса самой балки изменилась. Длина балки 12600 мм.

Сечение балки представлено на рисунке 1.11.

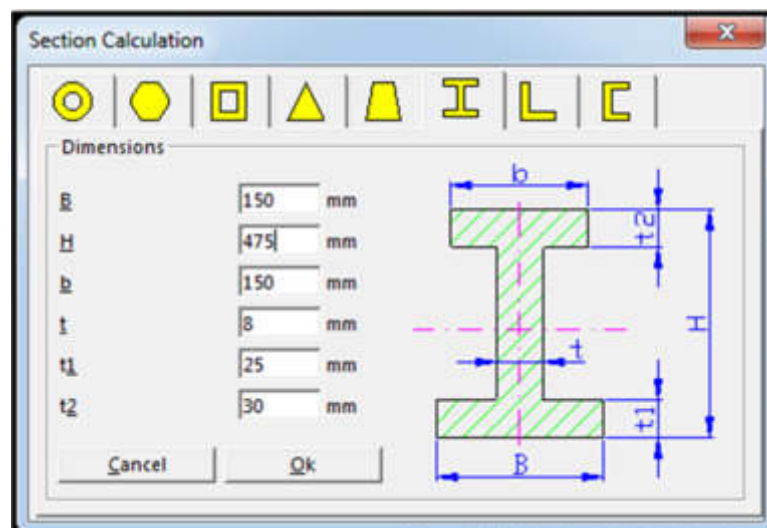


Рисунок 1.11 – Сечение балки 2

Закрепления и приложение нагрузки остается прежним, меняется только значение нагрузки:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2019.197.00 ПЗ

Лист

25

$$P = \frac{27425}{12600} \cdot 9,81 = 21,35 \text{ Н/мм}$$

Результаты расчета представлены на рисунке 1.12.

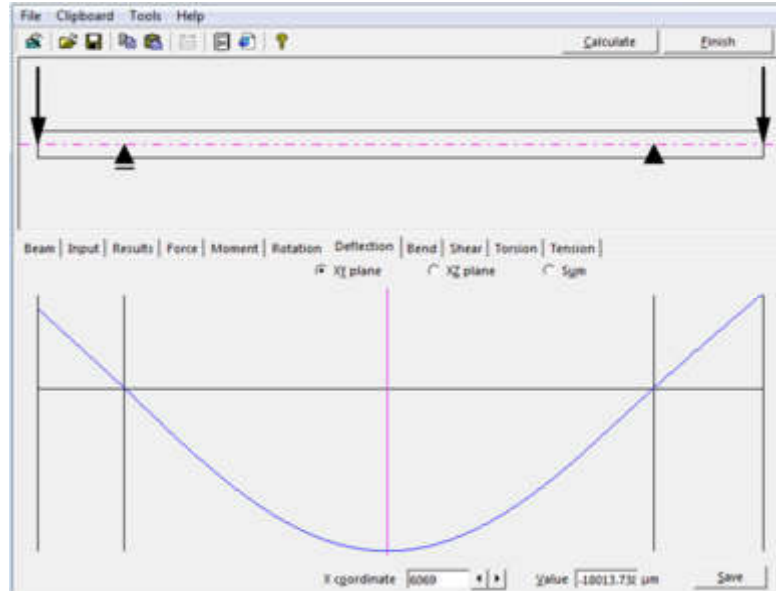


Рисунок 1.12 – Результаты расчета 2

Как видно из эпюры: максимальное перемещение с таким сечением составляет 18,013 мм, что меньше максимально допустимой величины принятой равной 36 мм по [27].

3. Нижний пояс балки 20 мм

Масса 27350 кг, так как масса балки изменилась. Длина балки 12600 мм.

Сечение балки представлено на рисунке 1.13.

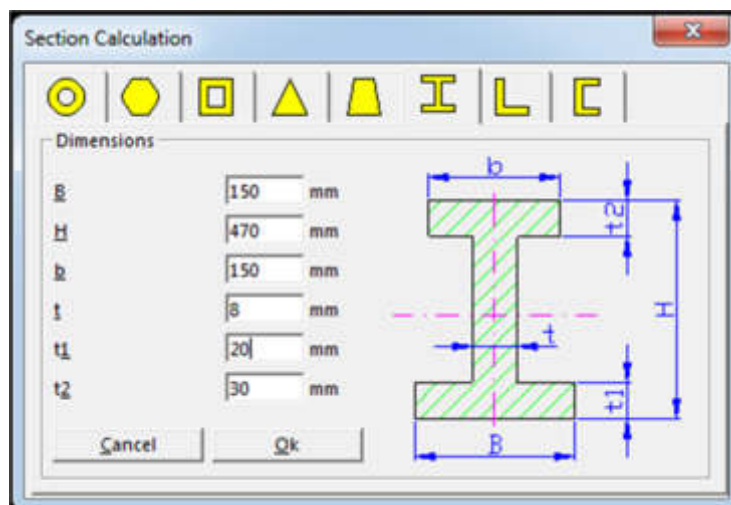


Рисунок 1.13 – Сечение балки 3

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2019.197.00 ПЗ

Лист

26

Закрепления и приложение нагрузки остается прежним, меняется только значение нагрузки:

$$P = \frac{27350}{12600} \cdot 9,81 = 21,29 \text{ Н/мм}$$

Результаты расчета представлены на рисунке 1.14.

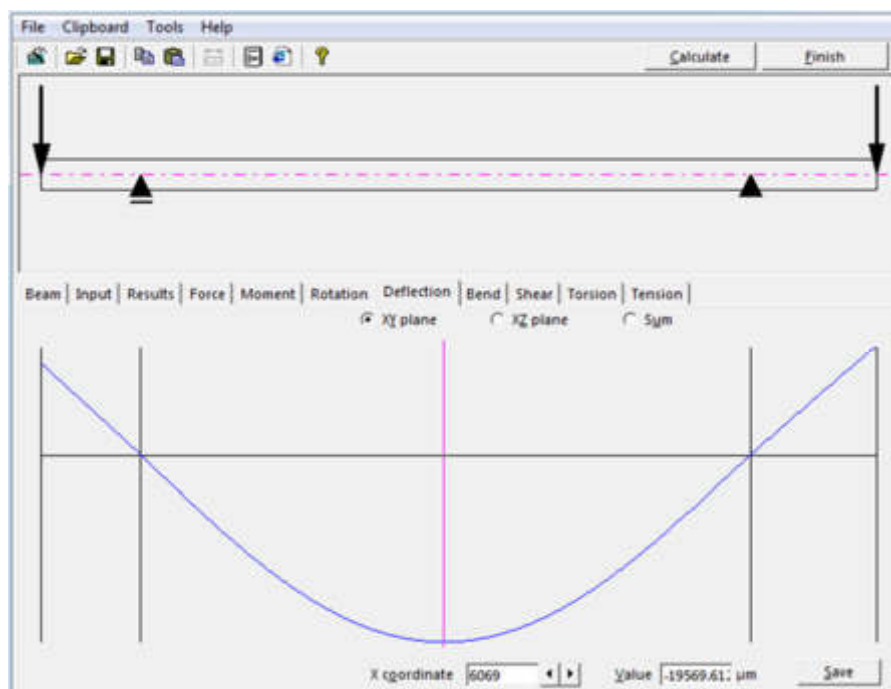


Рисунок 1.14 – Результаты расчета 2

Как видно из эпюры: максимальное перемещение с таким сечением составляет 19,569 мм, что меньше максимально допустимой величины принятой равной 36 мм по [27].

Исходя из расчётов, можно сделать вывод, что возможно заменить сталь 09Г2С на S500MC и S700MC и уменьшить толщину нижнего пояса балки на толщину 25 и 20 мм.

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

В этом разделе рассмотрены сварочные материалы и оборудование для сварки, а также приведены расчеты режимов сварки.

Режимы сварки рассчитывались для двух сварных соединений:

1. тавровое соединение ТЗ,
2. стыковое соединение С25.

Для стыкового соединения рассчитывались режимы для двух толщин: 25 мм, 20 мм.

2.1 Выбор сварочных материалов

Тавровое соединение ТЗ выполняется мягкой проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм.

Корневой проход сварного стыкового соединения С25 предлагается выполнять мягким швом проволокой 08Г2С, а для последующих проходов (валиков) будут использоваться проволоки ESAB ОК AristoRod 12,5 и ESAB ОК AristoRod 55 для сталей S700MC и S500MC соответственно.

Химический состав и механические свойства проволоки Св-08Г2С представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Химический состав и механические свойства стали Св-08Г2С

С, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cu, %	Ni, %	Cr, %
0,08	0,8	2	0,03	0,025	0,25	0,25	0,2
Минимальный предел текучести, МПа			390	Предел прочности, МПа			490
Относительное удлинение при разрыве, %			18	Ударная вязкость при t=20 °С, кДж/м ²			500

Склонность к образованию горячих трещин определим по формуле (7):

$$HCS = \frac{C(S + P + Si/25 + Ni/100) \cdot 10^3}{3Mn + Cr + Mo + V} \quad (7)$$

									Лист
									28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2019.197.00 ПЗ				

$$HCS = \frac{0,08(0,025 + 0,03 + 0,8/25 + 0,25/100) \cdot 10^3}{3 \cdot 2 + 0,2} = 1,15$$

Так как $HCS < 4$, то Св-08Г2С является несклонной к образованию горячих трещин.

Химический состав и механические свойства проволоки ESAB ОК AristoRod 12,5 представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.2. – Химический состав и механические стали ESAB ОК AristoRod 12,5

С, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cu, %
0,10	0,9	1,5	0,025	0,025	0,15
Минимальный предел текучести, МПа		490	Предел прочности, МПа		540
Относительное удлинение при разрыве, %		25	Ударная вязкость при $t=20\text{ }^\circ\text{C}$, Дж/см ²		138

Склонность к образованию горячих трещин определим по формуле (7):

$$HCS = \frac{0,1(0,025 + 0,025 + 0,9/25) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,5} = 1,5$$

Так как $HCS < 4$, то ESAB ОК AristoRod 12,5 является несклонной к образованию горячих трещин.

Химический состав и механические свойства проволоки ESAB ОК AristoRod 55 представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3. – Химический состав и механические свойства стали ESAB ОК AristoRod 55

С, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Mo, %	Ni, %	Cr, %
0,08	0,7	1,6	0,015	0,015	0,25	0,60	0,60
Минимальный предел текучести, МПа			690	Предел прочности, МПа			750
Относительное удлинение при разрыве, %			20	Ударная вязкость при $t=20\text{ }^\circ\text{C}$, Дж/см ²			94

Склонность к образованию горячих трещин определим по формуле (7):

$$HCS = \frac{0,08(0,015 + 0,015 + 0,7/25 + 0,6/100) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,6 + 0,6 + 0,25} = 0,9$$

Так как $HCS < 4$, то ESAB ОК AristoRod 55 является несклонной к образованию горячих трещин.

В качестве защитного газа будет использоваться газовая смесь К-18

Газовая смесь «К-18» – это смесь 82 % аргона и 18 % диоксида углерода. Газовая смесь, К-18 (18% CO₂+Ar), ТУ 2114-004-00204760-99. Наиболее универсальная двухкомпонентная смесь для сварки углеродистых конструкционных и некоторых легированных сталей. Универсальна.

2.2 Расчет режимов сварки

2.2.1 Тавровое соединение

Тавровое соединение ТЗ изображено на рисунке 2.1.

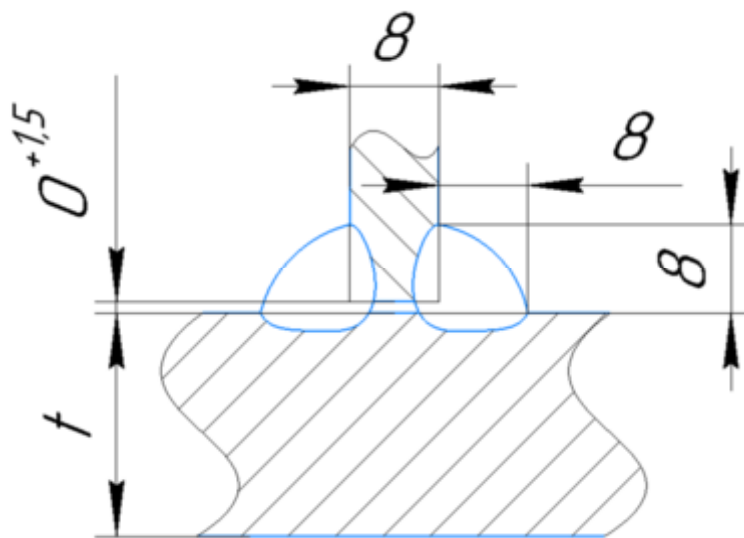


Рисунок 2.1 – Тавровое соединение ТЗ

В этом разделе приведены результаты расчета режим полув автоматической сварки таврового соединения [2].

Силу сварочного тока посчитаем по формуле (8) [2]:

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

$$I_{\text{св}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{эл}}^2 \cdot j}{4}, \quad (8)$$

где $d_{\text{эл}} = 1,2$ мм – диаметр проволоки,

$j = 120$ А/мм² – плотность тока ($j = 110 \dots 130$ А/мм²)

$$I_{\text{св}} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 120}{4} = 140 \text{ А}$$

Вылет электродной проволоки выбираем по таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Вылет электродной проволоки

Сила сварочного тока, А	90–150	150–220	220–280	280–360	360–430	430–450
Вылет электрода, мм	14	13	12	11	10	9

$L = 14$ мм

Напряжение посчитаем по формуле (9) [2]:

$$U_d = 17 + \frac{0,05}{d_{\text{эл}}^{0,5}} \cdot I_{\text{св}} \quad (9)$$

$$U_d = 17 + \frac{0,05}{1,2^{0,5}} \cdot 140 = 24 \text{ В}$$

Площадь наплавленного металла высчитывается по формуле (10) [2]:

$$F_{\text{н}} = 0,5 \cdot K^2 \cdot K_y, \quad (10)$$

где $K = 8$ мм – катет шва,

$K_y = 1,25$ – коэффициент, учитывающий выпуклость шва (1,25 при $K = 8$ мм).

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

$$F_H = 0,5 \cdot 8^2 \cdot 1,25 = 40 \text{ мм}^2 = 0,4 \text{ см}^2$$

Посчитаем количество проходов по формуле (11) [2]:

$$n = \frac{F_H}{(30 \dots 40)} \quad (11)$$

$$n = 40 / (30 \dots 40) = 1,3 \dots 1 = 1 \text{ проход}$$

Скорость подачи проволоки рассчитаем по формуле (12) [2]:

$$v_{\text{ПП}} = 4\alpha_p \cdot \frac{I_{\text{СВ}}}{\pi \cdot \rho \cdot d_{\text{ЭЛ}}^2}, \quad (12)$$

где α_p г/Ач – коэффициент расплавления проволоки,

$\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$ – плотность стали.

Коэффициент расплавления проволоки считается по формуле (13) [2]:

$$\alpha_p = 3 + 0,08 \cdot \frac{I_{\text{СВ}}}{d_{\text{ЭЛ}}} \quad (13)$$

$$\alpha_p = 3 + 0,08 \cdot \frac{140}{1,2} = 12,3 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

$$v_{\text{ПП}} = 4 \cdot 12,3 \cdot \frac{140}{3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,12^2} = 19406 \text{ см/час} = 54 \text{ мм/сек}$$

Скорость сварки посчитаем по формуле (14) [2]:

$$v_{\text{СВ}} = \alpha_H \cdot \frac{I_{\text{СВ}}}{\rho \cdot F_H}, \quad (14)$$

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

где $\alpha_n = 15$ г/Ачас – коэффициент наплавки в защитных газах

$$v_{св} = 15 \cdot \frac{140}{7,85 \cdot 0,4} = 669 \text{ см/час} = 2 \text{ мм/сек}$$

Погонная энергия рассчитывается по формуле (15) [2]:

$$q_n = \frac{0,24 \cdot I_{св} \cdot U_d \cdot \eta}{v_{св}}, \quad (15)$$

где $\eta = 0,8$ – КПД.

$$q_n = \frac{0,24 \cdot 140 \cdot 24 \cdot 0,8}{2} = 322,6 \text{ кал/мм} = 3226 \text{ кал/см} = 13,5 \text{ кДж/см}$$

Посчитаем скорость охлаждения (16) [2]:

$$W_{охл} = \frac{(T_{п} - T_o)^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot 0,24}{q_n}, \quad (16)$$

где $T_{п} = 500$ °С – температура наименьшей устойчивости аустенита,

$T_o = 100$ °С – температура начала сварки,

$\lambda = 0,42$ – коэффициент теплопроводности.

$$W_{охл} = \frac{(500 - 100)^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,42 \cdot 0,24}{3226} = \frac{101283}{3226} = 30, \text{ °С/сек}$$

Расход К-18 рассчитаем по формуле (17) [2]:

$$q_r = 10 + \frac{I_{св} - 30}{51,3} \quad (17)$$

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

$$q_r = 10 + \frac{140 - 30}{51,3} = 12,1 \text{ л/мин}$$

2.2.2 Стыковое соединение толщиной 25 мм.

Стыковое соединение С25 (t=25 мм) изображено на рисунке 2.2.

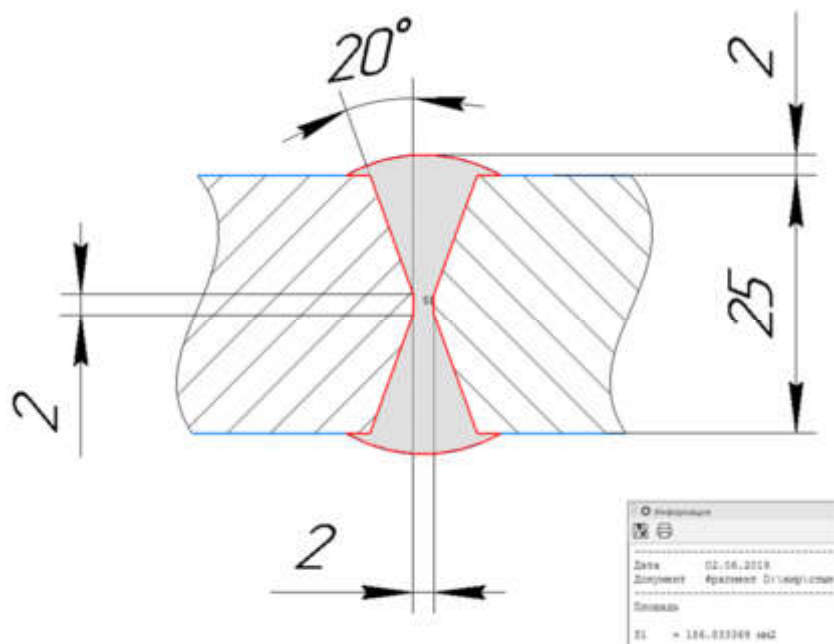


Рисунок 2.2 – Стыковое соединение С25 (t=25 мм)

Силу сварочного тока посчитаем по формуле (8):

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 130}{4} = 150 \text{ А}$$

Вылет электродной проволоки выбираем по таблице 2.4.

$$L = 14 \text{ мм}$$

Напряжение посчитаем по формуле (9):

$$U_d = 17 + \frac{0,05}{1,2^{0,5}} \cdot 150 = 24 \text{ В}$$

Площадь наплавленного металла равна 187 мм².

Площадь поперечного сечения первого прохода посчитаем по формуле (18) [2]. Площадь поперечного сечения первого валика следует принимать ближе к верхнему пределу, так как в этом случае валик будет выполняться на максимальной погонной энергии q_n , что позволит получить минимальную для данных условий скорость охлаждения.:

$$F_1 = (20 \dots 25) \cdot d_{эл}, \quad (18)$$

$$F_1 = (20 \dots 25) \cdot 1,2 \approx 25 \dots 30 \text{ мм}^2 = 27 \text{ мм}^2$$

Площадь последующих проходов посчитаем по формуле (19) [2]:

$$F_n = (25 \dots 33) \cdot d_{эл}, \quad (19)$$

$$F_n = (28 \dots 33) \cdot 1,2 \approx 30 \dots 40 \text{ мм}^2 = 33 \text{ мм}^2$$

Количество проходов определим по формуле (20) [2] и округлим до ближайшего числа:

$$n = \frac{F_H - F_1}{F_n} \quad (20)$$

$$n = \frac{187 - 27}{33} + 1 = 6$$

По формуле (21) проверим, попала ли площадь F_n в полученный ранее интервал 34...40 мм²:

$$F_n = \frac{F_H - F_1}{n - 1} \quad (21)$$

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$F_n = \frac{187 - 27}{6 - 1} = 32 \text{ мм}^2$$

Скорость подачи проволоки рассчитаем по формуле (12):

$$v_{\text{пп}} = 4\alpha_p \cdot \frac{I_{\text{св}}}{\pi \cdot \rho \cdot d_{\text{эл}}^2}$$

Коэффициент расплавления проволоки считается по формуле (13)

$$\alpha_p = 3 + 0,08 \cdot \frac{150}{1,2} = 13 \text{ г/Ач}$$

$$v_{\text{пп}} = 4 \cdot 13 \cdot \frac{150}{3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,12^2} = 21975 \text{ см/час} = 61 \text{ мм/сек}$$

Скорость сварки одного прохода посчитаем по формуле (14):

$$v_{\text{св}} = 15 \cdot \frac{150}{7,85 \cdot 0,31} = 925 \text{ см/час} = 2,6 \text{ мм/сек}$$

Погонная энергия рассчитывается по формуле (15):

$$q_n = \frac{0,24 \cdot 150 \cdot 24 \cdot 0,8}{2,6} = 265,8 \text{ кал/мм} = 2658 \text{ кал/см} = 11 \text{ кДж/см}$$

Посчитаем скорость охлаждения по формуле (16):

$T_0 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура начала сварки,

$$W_{\text{охл}} = \frac{(500 - 120)^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,42 \cdot 0,24}{2658} = \frac{91408}{2658} = 35 \text{ }^\circ\text{C/сек}$$

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Расход К-18 рассчитаем по формуле (17):

$$q_r = 10 + \frac{I_{св} - 30}{51,3} = 10 + \frac{150 - 30}{51,3} = 12,3 \text{ л/мин}$$

2.2.3 Стыковое соединение толщиной 20 мм

Стыковое соединение С25 (t=20 мм) изображено на рисунке 2.3.

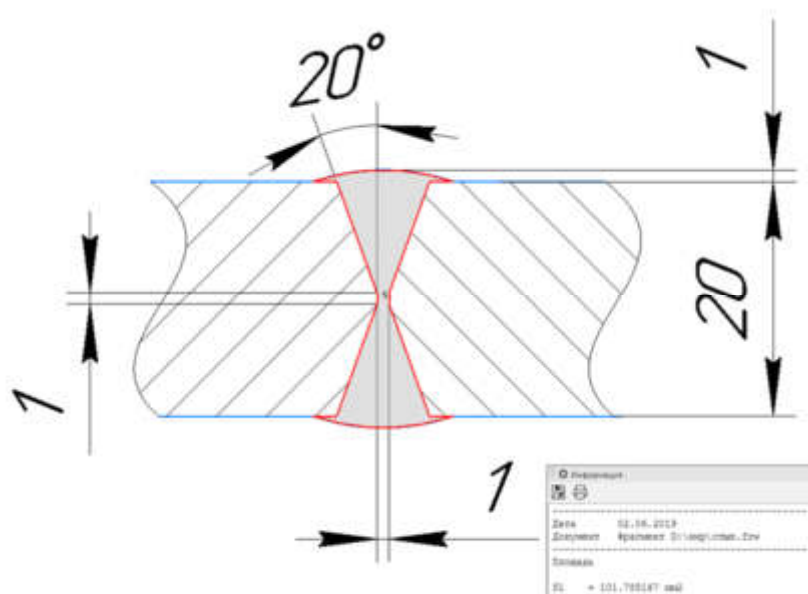


Рисунок 2.3 – Стыковое соединение С25 (t=20 мм)

Силу сварочного тока посчитаем по формуле (18). Диаметр электрода равен 1,2 мм²:

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2 \cdot 130}{4} = 150 \text{ А}$$

Вылет электродной проволоки выбираем по таблице 2.4.

$$L = 14 \text{ мм}$$

Напряжение посчитаем по формуле (9):

$$U_d = 17 + \frac{0,05}{1,2^{0,5}} \cdot 150 = 24 \text{ В}$$

Площадь наплавленного металла равна 102 мм^2 .

Площадь поперечного сечения первого прохода посчитаем по формуле (18).

$$F_1 = (20 \dots 25) \cdot 1,2 \approx 25 \dots 30 \text{ мм}^2 = 30 \text{ мм}^2$$

Площадь последующих проходов посчитаем по формуле (19):

$$F_n = (25 \dots 33) \cdot 1,2 \approx 30 \dots 40 \text{ мм}^2 = 36 \text{ мм}^2$$

Количество проходов определим по формуле (20) и округлим до ближайшего числа:

$$n = \frac{102 - 30}{36} + 1 = 3$$

По формуле (21) проверим, попала ли площадь F_n в полученный ранее интервал $34 \dots 40 \text{ мм}^2$:

$$F_n = \frac{102 - 30}{3 - 1} = 36 \text{ мм}^2$$

Скорость подачи проволоки рассчитаем по формуле (12):

$$v_{\text{пп}} = 4\alpha_p \cdot \frac{I_{\text{св}}}{\pi \cdot \rho \cdot d_{\text{эл}}^2},$$

Коэффициент расплавления проволоки считается по формуле (13):

$$\alpha_p = 3 + 0,08 \cdot \frac{150}{1,2} = 13 \text{ г/Ач}$$

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$v_{\text{III}} = 4 \cdot 13 \cdot \frac{150}{3,14 \cdot 7,85 \cdot 0,12^2} = 21975 \text{ см/час} = 61 \text{ мм/сек}$$

Скорость сварки одного прохода посчитаем по формуле (14):

$$v_{\text{св}} = 15 \cdot \frac{150}{7,85 \cdot 0,225} = 1274 \text{ см/час} = 3,5 \text{ мм/сек}$$

Погонная энергия рассчитывается по формуле (15):

$$q_n = \frac{0,24 \cdot 150 \cdot 24 \cdot 0,8}{3,5} = 197,5 \text{ кал/мм} = 1975 \text{ кал/см} = 8,3 \text{ кДж/см}$$

Посчитаем скорость охлаждения (16):

$T_0 = 170 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура начала сварки,

$$W_{\text{охл}} = \frac{(500 - 170)^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,42 \cdot 0,24}{1975} = \frac{68936}{1975} = 35 \text{ }^\circ\text{C/сек}$$

Расход К-18 рассчитаем по формуле (17):

$$q_r = 10 + \frac{I_{\text{св}} - 30}{51,3} = 10 + \frac{150 - 30}{51,3} = 12,3 \text{ л/мин}$$

2.3 Сварочное оборудование

Для сварки лонжерона предлагается использовать сварочный полуавтомат TransPuls Synergic 5000 (MIG/MAG) с полностью цифровым и микропроцессорным управлением. Он позволяет производить качественную сварку в диапазоне сварочных токов разных типов переноса металла (качественная сварка от токов сварки короткими замыканиями до токов струйной дуги). Синергетическая система управления позволяет выбрать оптимальные

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

режимы для качественной сварки различных материалов. Дополнительные регулировки позволяют управлять процессом сварки от начала поджига дуги и до окончания сварки, обеспечивая высочайшее качество. Встроенное устройство подачи проволоки с 4-х роликовым механизмом, гарантирует удобное использование на строительных площадках, в цехах и в сервисной деятельности. Многофункциональный источник подходит для MIG/MAG, TIG сварки и сварки штучными электродами. TransPuls Synergic 5000 изображен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – TransPuls Synergic 5000

Характеристики сварочного полуавтомата TransPuls Synergic 5000 приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5. Характеристики TransPuls Synergic 5000

Вес, кг	35,6
Габаритные размеры, мм	475x290x625
Напряжение холостого хода, В	70
Максимальны сварочный ток, А	500
Минимальный сварочный ток, А	3
Диапазон рабочего напряжения, В	14,2x39
Класс защиты	IP23
Сетевой предохранитель, А	35
Частота сети, Гц	50–60
Сетевое напряжение, В	3x400
Сварочный ток/продолжительность включения (10 мин/40С)	320А/100%
Сварочный ток/ПВ (10 мин/40С)	450А/60%
Сварочный ток/ПВ (10 мин/40С)	500А/40%

Малогабаритный механизм подачи проволоки ФОРСАЖ-МП5 предназначен для работы в составе сварочных полуавтоматов при сварке деталей, узлов и сборок, изготовленных из углеродистых и легированных сталей.

Сварка осуществляется в полуавтоматическом режиме с применением сплошной или порошковой проволоки с диаметром 0,6 – 2,2мм в среде активных или инертных газов.

Конструкция "Форсаж-МП5" выполнена на основе 4-х роликового привода подачи "Соортим", который обеспечивает высокий момент и плавность подачи, снижает обжатие проволоки при протяжке, значительно упрощая работу с мягкими проволоками. Сменные направляющие втулки и приводные ролики позволяют легко перенастраивать механизм под различные диаметры проволоки.

Механизм подачи проволоки ФОРСАЖ-МП5 представлен на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Малогабаритный механизм подачи проволоки ФОРСАЖ-МП5
Технические характеристики малогабаритного механизма подачи проволоки ФОРСАЖ-МП5 представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6. Технические характеристики малогабаритного механизма подачи проволоки ФОРСАЖ-МП5.

Напряжение на входе, В	22–30
Габаритные размеры, мм	460x180x260
Диаметр проволоки, мм	0,8–2
Масса, кг	9
Скорость подачи, м/мин	0,4–13,3

2.4 Контроль качества сварных соединений

2.4.1 Методы контроля

Существует большое количество различных методов неразрушающего контроля качества сварных соединений. В данной работе предлагается проводить ВИК, капиллярный контроль, а также заменить рентгеновский контроль ультразвуковым контролем фазированными решетками, так как для проведения рентгеновского контроля затрачивается большое количество времени, а также он является опасным для здоровья человека.

Визуально-измерительный метод контроля используется не только непосредственно в процессе сварки, но и при контроле качества заготовительных операций, комплектования заказа и сборки лонжерона. С помощью ВИК контролируется правильность сборки (перпендикулярность, параллельность, размеры разделанных кромок, выставленные зазоры). В процессе изготовления изделия ВИК используется стопроцентно.

Использование цветового капиллярного метода контроля заключается в обнаружении подповерхностных дефектов, которые невозможно обнаружить с помощью ВИК и методом фазированных решеток, так как дефекты находятся близко к поверхности. А именно позволяет выявлять несплошности 0,2-0,5 мкм.

Метод фазированных решеток позволяет контролировать большую область объекта контроля, получать реальные изображения, положения и размеры дефектов. Этот метод является быстрым и простым в обращении, также он безопасен для здоровья человека.

2.4.2 Оборудование и средства измерения для контроля

Для проведения ВИК будем применять универсальный шаблон сварщика УШС-3, который показан на рисунке 2.6.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

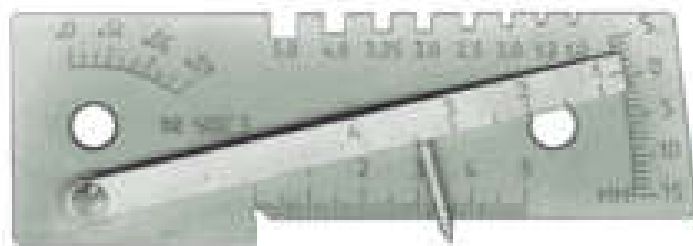


Рисунок 2.6 – Универсальный шаблон сварщика УШС-3

Шаблон предназначен для контроля элементов разделки под сварной шов, электродов и элементов сварного шва на предприятиях и в организациях, производящих сварочные работы.

Технические характеристики УШС-3 приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Технические характеристики УШС-3

Характеристика	Значение
Диапазон измерения глубины дефектов (вмятин, забоин), глубины разделки шва до корневого слоя, превышения кромок, мм	0...15
Диапазон измерения высоты усиления шва, мм	0...5
Диапазон измерения величин притупления и ширины шва, мм	0...50
Диапазон измерения величины зазора, мм	0,5...4
Диапазон измерения углов скоса кромок, град.	0...45
Номинальные значения диаметров электродов, измеряемых шаблоном, мм	1; 1,2; 2; 2,5; 3; 3,25; 4; 5
Габаритные размеры, мм	130×50×16
Масса, кг	0,18

Для проведения капиллярного контроля будем использовать пенетрант Sherwin DP-51 – универсальный красный пенетрант для капиллярной дефектоскопии в среднем температурном диапазоне. Пенетрант DP-51 соответствует 2 классу чувствительности по ГОСТ 18442-80. Пенетрант не вызывает коррозии, легко смывается водой и совместим с металлическими и полимерными материалами. Пенетрант Sherwin DP-51 показан на рисунке 2.7.

Универсальный очиститель DR 60 используется для очистки контролируемой поверхности и удаления избытков пенетранта после его нанесения. DR 60

						15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			43

используется с любыми металлами и большинством полимерных изделий. Очиститель DR-60 Sherwin показан на рисунке 2.7.

D-100 – универсальный, спиртовой проявитель белого цвета, использующийся для выявления следов пенетранта при средних температурах. Обязательным условием применения, является распыление проявителя только при помощи аэрозольного баллона или специального пульверизатора. При использовании проявителя D-100 при низкой температуре, длительность высыхания увеличивается. Проявитель D-100 Sherwin показан на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 – Пенетрант DP-51, очиститель DR-60, проявитель D-100

Для проведения НК фазированными решетками будет применяться ультразвуковой дефектоскоп ЕРОСН 1000i, который показан на рисунке 2.8.

Этот дефектоскоп отличается повышенной способностью обнаружения дефектов типа нарушения сплошности и однородности материалов, полуфабрикатов, готовых изделий и сварных соединений, для измерения глубины и координат их залегания, измерения отношений амплитуд сигналов от дефектов, лучшей визуализацией представляющих особый интерес участков, а также повышает эффективность контроля путем разовой настройки для просмотра А-сканов под разными углами, таким образом устраняя необходимость использования нескольких датчиков и призм.

										Лист
										44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2019.197.00 ПЗ					



Рисунок 2.8 – Ультразвуковой дефектоскоп EPOCH 1000i

Технические характеристики ультразвукового дефектоскопа EPOCH 1000i приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Технические характеристики ультразвукового дефектоскопа EPOCH 1000i

Характеристика	Значение
Генератор	
ЧЗИ	Ручная настройка. Максимум 1,520 Гц
Напряжение генератора	40 В или 80 В
Длительность импульса	Настраивается от от 40 до 1,000 нс с технологией PerfectSquare
Демпфирование	Неприменимо
Задержка генератора	от 0 до 10 с разрешением 2,5 нс
Приёмник	
Коэффициент усиления	от 0 до 80 дБ
Максимальный входной сигнал	250 мВр-р на канал

Окончание таблицы

Входное полное сопротивление приёмника	50 Ом ± 10%
Полоса пропускания приёмника	0,5 от 0,2 МГц до 12,5 МГц по уровню -3 дБ
Задержка приёмника	от 0 до 10 мкс с разрешением 2,5 нс
Настройки цифрового фильтра	6 фильтров
Детектирование	Полная волна, положительная и отрицательная полуволна, радиочастота
Отсечка	0 от 0 % до 80 % высоты экрана с визуальным оповещением
Измерение амплитуды	0% от 0 % до 110 % высоты экрана с разрешением 0,25 %
Частота измерений	Равна ЧЗИ во всех режимах
Калибровка	
Автокалибровка	Скорость, смещение нуля, чувствительность Путь ультразвука или глубина (смещение нуля)
Режимы контроля	Импульс-эхо
Единицы измерения	миллиметры, дюймы или микросекунды
Диапазон	31 закон фокусировки, 2,58 мм до 37,5 мм Скорость продольной волны
Скорость звука	635 - 15, 240 м/сек
Смещение нуля	Неприменимо
Задержка отображения	от 0 до макс. диапазона

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

При недопустимых дефектах, требуется произвести их устранение. Если устранение дефекта невозможно, то сварное соединение вырезается, производится зачистка торцов и сварочная операция повторяется.

В таблице 2.9 показаны нормы допустимой дефектности согласно ГОСТ 23118-2012.

Таблица 2.9. Нормы допустимой дефектности

Наименование дефектов	Характеристика дефектов по расположению, форме и размерам	Допустимые дефекты по уровням качества
		Средний
Трещины	Трещины всех видов, размеров и ориентации	Не допускаются
Поры и пористость	Максимальная суммарная площадь пор от площади проекции шва на оценочном участке*	2%
	Максимальный размер одиночной поры: - стыковой шов, - угловой шов, - но не более	$d \leq 0,25S$ $d \leq 0,25K$ 4мм
Скопление пор	Максимальная суммарная площадь пор от площади дефектного участка шва**	8%
	Максимальный размер одиночной поры:	
Газовые полости и свищи	- стыковой шов, - угловой шов, - но не более	$d \leq 0,25S$ $d \leq 0,25K$ 3мм
	Расстояние между скоплениями	$L \geq 12t$
Газовые полости и свищи	Длинные дефекты	Не допускаются
	Короткие дефекты: - стыковой шов, - угловой шов Максимальный размер газовой полости или свища, мм	$d \leq 0,25S$ $d \leq 0,25K$ 3

Продолжение таблицы

Шлаковые включения	Длинные дефекты	Не допускаются
	Короткие дефекты: - стыковой шов, - угловой шов Максимальный размер включения, мм	$h \leq 0,25S$ $h \leq 0,25K$ 3
Включения меди, вольфрама и другого металла	Инородные металлические включения	Не допускаются
Непровары и несплавления	Длинные дефекты	Не допускаются
	Короткие непровары: - стыковой шов, - угловой шов	Не допускаются
	Несплавления	Не допускаются
Непровар (неполное проплавление)		Длинные дефекты не допускаются
		Короткие дефекты:
		$h \leq 0,1S$ Макс. 1,5 мм
Неудовлетворительный зазор в тавровом соединении	<p>Чрезмерный или недостаточный зазор между деталями.</p>  <p>Превышение зазора в некоторых случаях может быть компенсировано увеличением катета шва</p>	$h \leq 0,5\text{мм} + 0,15K$ Макс. 3 мм

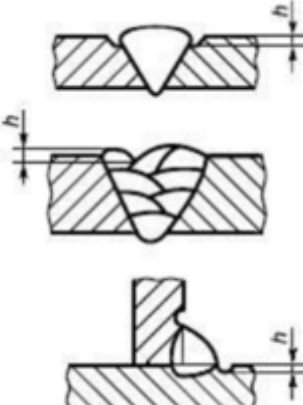
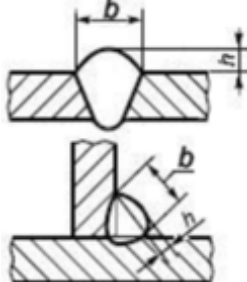
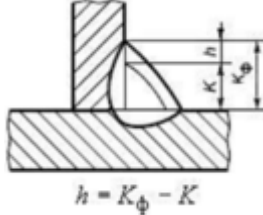
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

15.04.01.2019.197.00 ПЗ

Лист

48

Окончание таблицы

<p>Подрезы</p>	<p>Переход от шва к основному металлу должен быть плавный. Очертания подрезов должны быть плавные</p> 	<p>1,0 мм</p>
<p>Превышение выпуклости: - стыкового шва - углового шва</p>	<p>Переход от шва к основному металлу должен быть плавный</p> 	<p>$h \leq 1 \text{ мм} + 0,15b$ Макс. 7 мм Макс. 4 мм</p>
<p>Увеличение катета углового шва</p>	<p>Превышение катета для большинства угловых швов не является причиной браковки</p>  <p>$h = K_{\phi} - K$</p>	<p>$h \leq 1 \text{ мм} + 0,15K$ Макс. 3 мм</p>

* Площадь проекции шва на плоскость, параллельную поверхности соединения, равна произведению ширины на длину шва на оценочном дефектном участке.

** Суммарную площадь скопления пор вычисляют в процентах от большей из двух площадей: поверхности, окружающей все поры, или круга с диаметром, равным ширине шва.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

3.1 Обеспечение равнопрочности сварного стыкового соединения

Применение современных малоуглеродистых экономно-легированных высокопрочных сталей с пределом текучести 500 – 690 МПа увеличивает технико-экономическую эффективность и надежность специальных транспортных средств, эксплуатируемых в экстремальных природно-климатических условиях Российской Федерации. Успех применения этих материалов для несущих конструкций лесовозов в значительной мере зависит от их свариваемости.

Одной из главных проблем при сварке высокопрочных сталей является их склонность к образованию холодных трещин (ХТ), что обязывает производителя металлоконструкций учитывать это обстоятельство при разработке конструктивно-технологических решений сварных соединений.

Одним из способов предотвращения образования ХТ является использование сварочных материалов, предел текучести которых ниже, чем у металла соединяемых деталей. Это позволяет решить задачу по обеспечению технологической прочности сварного соединения на стадии изготовления металлоконструкций, но создает неопределенность в отношении обеспеченности его конструктивной прочности, которая является определяющей при применении изделия по назначению. Цель проводимых исследований является поиск наиболее приемлемых конструктивно-технологических решений сварных соединений лонжерона рамы лесовоза ТСП 9417-0000056.

Вопросы обеспечения равнопрочности сварных соединений с мягкой прослойкой освещены в работах [Бакши, Шахматова, Зайцева, Айметова и др.], в которых отмечается, что повышение прочности мягкой прослойки достигается за счет эффекта контактного упрочнения. В упругой стадии нагружения материала мягкая прослойка и соседние участки деформируются одинаково. При достижении предела текучести материала мягкой прослойки в ней возникает пластическая деформация, в то время как соседние участки остаются в упругом

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

состоянии, В результате этого коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) будет приближаться к значению 0,5, в то время как в упругих частях ($\mu=0,3$) из-за неодинаковой поперечной пластической деформации возникают касательные напряжения, максимальные на плоскостях раздела. Они будут препятствовать поперечному сужению прослойки в направлении толщины листа, т.е. напряженное состояние в прослойке по мере нагружения будет приближаться к объемному. В результате возникает препятствие поперечному сужению прослойки в направлении толщины листа, что приведет к ее упрочнению.

В нашем случае сварное стыковое соединение листов толщиной 25 мм сваривается за 6 проходов. Для корневого валика используется проволока Св-08Г2С, а для стальных 5 – проволоками ESAB ОК AristoRod 12,5 для стали S500МС.

1. Предел текучести шва при основном металле из марки стали S500МС (500 МПа) будет вычисляться по формуле (22):

$$\sigma_T = \frac{F_1 \cdot \sigma_T^{08Г2С} + F_n \cdot \sigma_T^{AR12.5} \cdot 5}{F_H}, \quad (22)$$

где $F_1 = 27 \text{ мм}^2$,

$F_n = 33 \text{ мм}^2$,

$\sigma_T^{08Г2С} = 390 \text{ МПа}$,

$\sigma_T^{AR12.5} = 490 \text{ МПа}$,

$F_H = 187 \text{ мм}^2$

$$\sigma_T = \frac{27 \cdot 390 + 33 \cdot 490 \cdot 5}{187} = 490 \text{ МПа}$$

Так как стыковое соединение из листов толщиной 20 мм варится 3 проходами, корневой шов укладывается из проволоки Св-08Г2С, а остальные 2 валиков из

										Лист
										51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	15.04.01.2019.197.00 ПЗ					

проволок ESAB OK AristoRod 12,5 и ESAB OK AristoRod 55 для сталей S500MC и S700MC соответственно.

1. Предел текучести шва при основном металле из марки стали S500MC (500 МПа) будет вычисляться по формуле (23):

$$\sigma_T = \frac{F_1 \cdot \sigma_T^{08Г2С} + F_n \cdot \sigma_T^{AR12.5} \cdot 2}{F_H}, \quad (23)$$

где $F_1 = 30 \text{ мм}^2$,

$F_n = 36 \text{ мм}^2$,

$F_H = 102 \text{ мм}^2$

$$\sigma_B = \frac{30 \cdot 390 + 36 \cdot 490 \cdot 2}{102} = 460 \text{ МПа}$$

2. Предел текучести шва при основном металле из марки стали S700MC (700 МПа) будет вычисляться по формуле (24):

$$\sigma_T = \frac{F_1 \cdot \sigma_T^{08Г2С} + F_n \cdot \sigma_T^{AR55} \cdot 2}{F_H} \quad (24)$$

$$\sigma_T = \frac{30 \cdot 390 + 36 \cdot 690 \cdot 2}{102} = 600 \text{ МПа}$$

Были проведены расчеты влияния скорости охлаждения для таврового сварного соединения на показатели его прочностных свойств по формуле (25) [13], который варят Св-08Г2С:

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

$$\begin{aligned} \sigma_T = & 290 + 1660 \cdot C + 164 \cdot Mn + 17,4 \cdot Si + 103 \cdot Cr + 190 \cdot Mo + 92 \cdot Ni + 324 \\ & \cdot V - 120 \cdot Ti - 90 \cdot Al - 32 \cdot Nb + 13 \cdot W + 40 \cdot Cu + 960 \cdot Zr - 1200 \\ & \cdot P + 1740 \cdot N - 110 \cdot O - 32,3 \cdot C \cdot Mn + 712 \cdot C \cdot Si + 291 \cdot C \cdot Ni \\ & + 470 \cdot C \cdot V - 24,1 \cdot Mn \cdot Ni + 65,1 \cdot Si \cdot Cr - 64,2 \cdot Si \cdot Ni + 201 \cdot Si \\ & \cdot V - 24 \cdot Mo \cdot Ni - 59,2 \cdot Mo \cdot V + 15,3 \cdot Ni \cdot V - 161 \cdot C^2 - 31,3 \cdot Mn^2 \\ & - 15 \cdot Mo^2 - 4,5 \cdot Ni^2 - 275 \cdot V^2 - (27,5 + 350 \cdot C + 4,1 \cdot Mn + 4,3 \\ & \cdot Cr + 3,4 \cdot Mo + 2,2 \cdot Ni + 6,6 \cdot V) \cdot \ln(300/W_{охл}) \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \sigma_T = & 290 + 1660 \cdot 0,08 + 164 \cdot 2 + 17,4 \cdot 0,8 + 103 \cdot 0,2 + 92 \cdot 0,25 + 40 \cdot 0,25 \\ & - 1200 \cdot 0,03 - 32,3 \cdot 0,08 \cdot 2 + 712 \cdot 0,08 \cdot 0,8 + 291 \cdot 0,08 \cdot 0,25 \\ & - 24,1 \cdot 2 \cdot 0,25 + 65,1 \cdot 0,8 \cdot 0,2 - 64,2 \cdot 0,8 \cdot 0,25 - 161 \cdot 0,08^2 - 31,3 \\ & \cdot 2^2 - 4,5 \cdot 0,25^2 - (27,5 + 350 \cdot 0,08 + 4,1 \cdot 2 + 4,3 \cdot 0,2 + 2,2 \cdot 0,25) \\ & \cdot \ln(300/30) = 602,3 - 67,1 \cdot 2,4 = 440 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Зависимость предела прочности от скорости охлаждения представлена на рисунке 3.1.

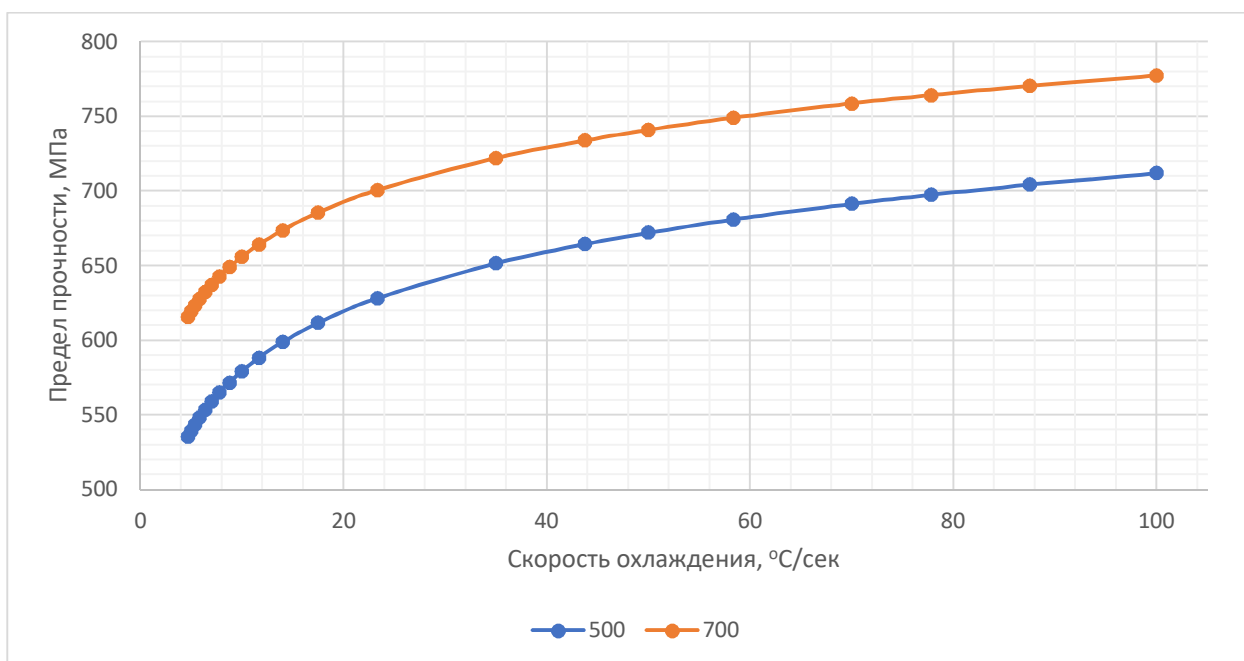


Рисунок 3.1 – Зависимость предела прочности от скорости охлаждения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Синяя линия показывает зависимость для сталей с пределом текучести 500 МПа, оранжевая линия показывает зависимость для сталей с пределом текучести 700 МПа.

Так как расчетная скорость охлаждения сварного соединения составляет ~ 55°C/сек для толщины 25 мм и 65°C/сек для толщины 20 мм, то можно сказать, что для стали S500МС толщиной 25 мм сварной шов упрочнится до 660...680 МПа, для стали S500МС толщиной 20 мм сварной шов упрочнится до 680...700МПа, для стали S700МС толщиной 20 мм сварной шов упрочнится до 750...770 МПа.

По проведенным выше расчетам можно сделать вывод, что при наложении мягкого валика сварные соединения останутся равнопрочными из-за высоких скоростей охлаждения, которые влияют на прочностные характеристики шва.

3.2 Цель и задачи исследования

Цель: оптимизация конструктивно-технологических решений сварных соединений лонжерона рамы полуприцепа лесовоза из высокопрочной стали.

Задачи:

1. Выбор и обоснование вариантов конструктивно-технологических решений сварных соединений нижнего пояса лонжерона.
2. Исследовать напряженное базового варианта конструктивного решения сварного соединения ТЗ с поясом 30 мм из стали 09Г2С.
3. Исследовать напряженное состояние предлагаемых вариантов конструктивного решения сварного соединения ТЗ с поясом 25 мм из стали S500МС.
4. Исследовать напряженное состояние предлагаемых вариантов конструктивного решения сварного соединения ТЗ с поясом 20 мм из стали S500МС.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

5. Исследовать напряженное состояние предлагаемых вариантов конструктивного решения сварного соединения ТЗ с поясом 20 мм из стали S700MC.

3.3 План эксперимента

В ходе эксперимента применяется программа SYSWELD для определения предела текучести сварного шва, а также ANSYS WORKBENCH для определения напряжений, возникающих в балке лонжерона лесовоза.

ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного (МКЭ) анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет, является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов (САПР, или CAE) и КЭ решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

На рисунке 3.2 представлена схема таврового соединения, которая используется для проведения эксперимента. На рисунке 3.3 представлены схемы сварных швов с различной геометрией шва.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

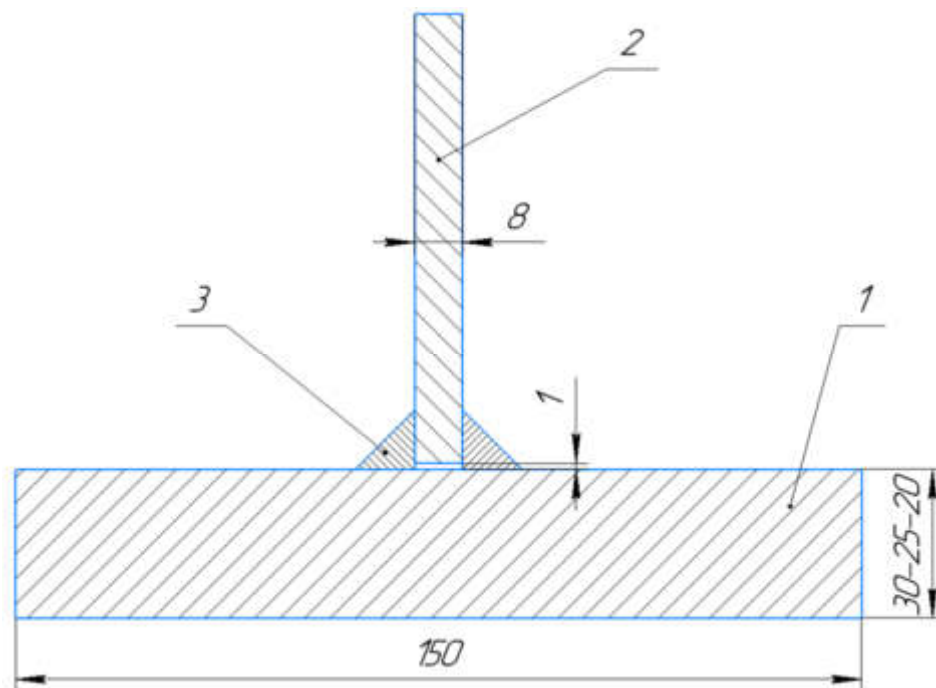
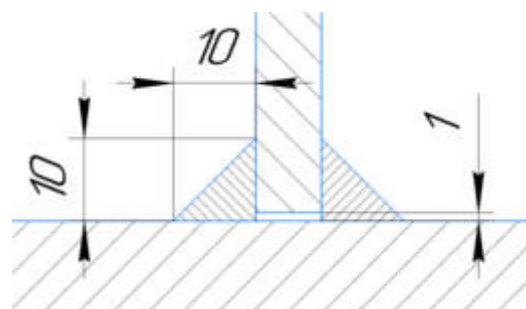
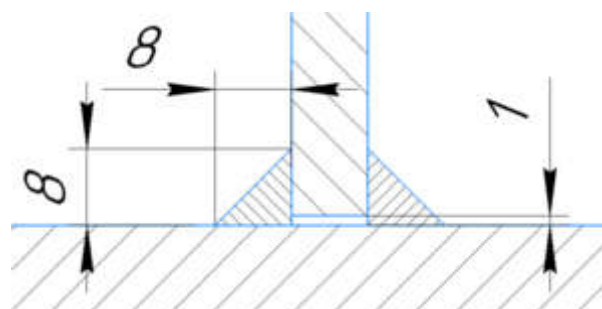


Рисунок 3.2 – Схема таврового соединения

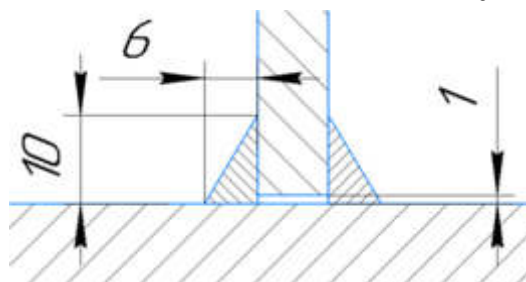
1. Пояс балки с различными толщинами (30, 25, 20 мм);
2. Стенка балки (8 мм.);
3. Сварные швы;



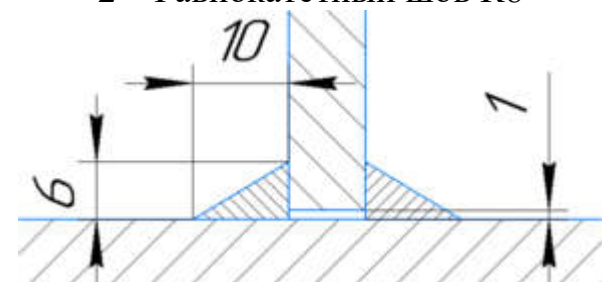
1 – Равнокатетный шов К10



2 – Равнокатетный шов К8



3 – Неравнокатетный шов К10х6



4 – Неравнокатетный шов К6х10

Рисунок 3.3 – Схемы сварных швов

Стали, используемые в эксперименте, и их механические свойства представлены в таблице 3.1.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Таблица 3.1 – Стали и их механические свойства

Марка стали	Минимальный предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, кДж/м ²
09Г2С	265	430	21	590...640
S500MC	550	600...760	14	–
S700MC	700	750...950	12	–

План эксперимента в Ansys Workbench представлен на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – План эксперимента в Ansys Workbench

3.4 Методика обработки эксперимента

Все эксперименты проводятся с применением постоянно увеличивающейся нагрузки 100 МПа/сек в течении 3 секунд. Все модели имеют конструктивный непровар 1 мм.

По результатам эксперимента будет проведен анализ, и построены графики максимальных напряжений в конструкции.

Для каждого опыта создаётся материал, со своими свойствами (Рисунок 3.2, 3.3):

- 09Г2С (стенка балки) – материал 300
- S500MC (пояс балки) – материал 500
- S700MC (пояс балки) – материал 700
- Сварные швы – материал 440

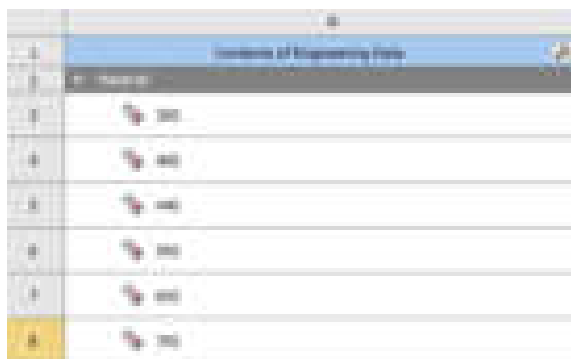
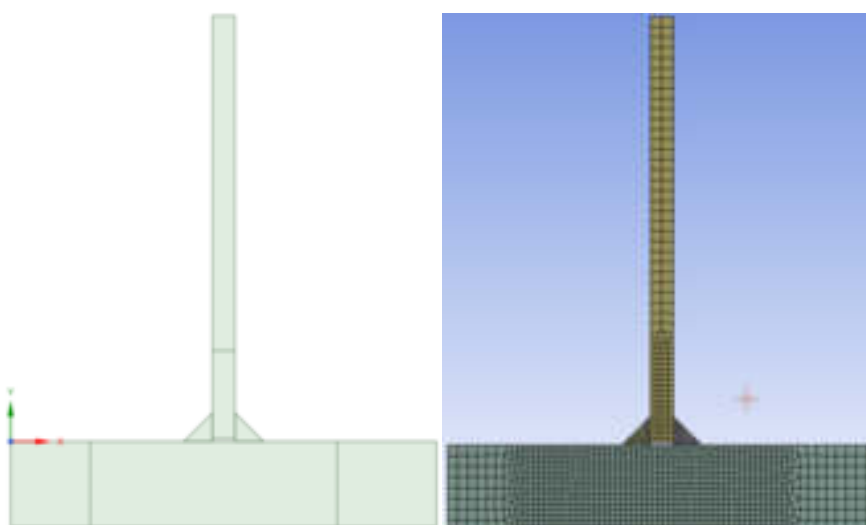


Рисунок 3.5 – Виды материалов

№	Имя	Материал	Свойства
1	Steel (or Steel Equivalents)	300	Steel (or Steel Equivalents)
2	Concrete	440	Concrete
3	Concrete (Special Low-Poisson's Ratio Steel Equivalents)	440	Concrete (Special Low-Poisson's Ratio Steel Equivalents)
4	Reinforced Concrete	440	Reinforced Concrete
5	Aluminum (Aluminum Equivalents)	440	Aluminum (Aluminum Equivalents)
6	Wood (Wood Equivalents)	440	Wood (Wood Equivalents)
7	Composite (Composite Equivalents)	440	Composite (Composite Equivalents)
8	Steel (or Steel Equivalents)	500	Steel (or Steel Equivalents)
9	Steel (or Steel Equivalents)	700	Steel (or Steel Equivalents)
10	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
11	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
12	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
13	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
14	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
15	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
16	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
17	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
18	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
19	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
20	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
21	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
22	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
23	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
24	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
25	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
26	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
27	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
28	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
29	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
30	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
31	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
32	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
33	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
34	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
35	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
36	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
37	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
38	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
39	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
40	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
41	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
42	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
43	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
44	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
45	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
46	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
47	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
48	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
49	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)
50	Steel (or Steel Equivalents)	440	Steel (or Steel Equivalents)

Рисунок 3.6 – Свойства материала 300

Затем создается геометрия для каждого опыта. Геометрия для проведения опыта с оригинальной конструкцией балки лонжерона представлена на рисунке 3.7.



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

15.04.01.2019.197.00 ПЗ

Лист

58

Рисунок 3.7 – Геометрия для опыта с оригинальной конструкцией балки
лонжерона

Пояс балки 30 мм, стенка 8 мм, катет шва 10 мм.

После этого в модели каждому элементу геометрии задается свой материал, затем создается сетка (в околошовной зоне сетка мелкая). Следующим шагом будет создание заделки по краям пояса и приложение усилия к верхнему краю стенки. Древо модели показано на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Древо модели

Первые три эксперимента имеют первый тип закрепления: расчетная модель закреплена по краям пояса показана на рисунке 3.9.

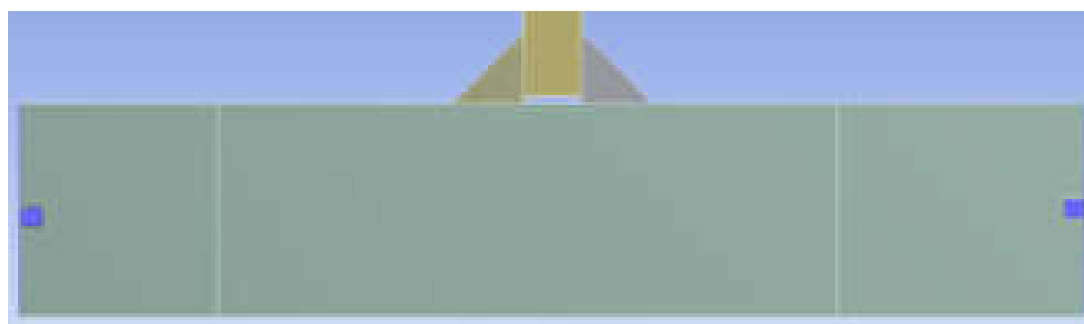


Рисунок 3.9 – Первый тип закрепления

Четвертый эксперимент имеет второй тип закрепления: расчетная модель закреплена по нижней линии пояса показана на рисунке 3.10.

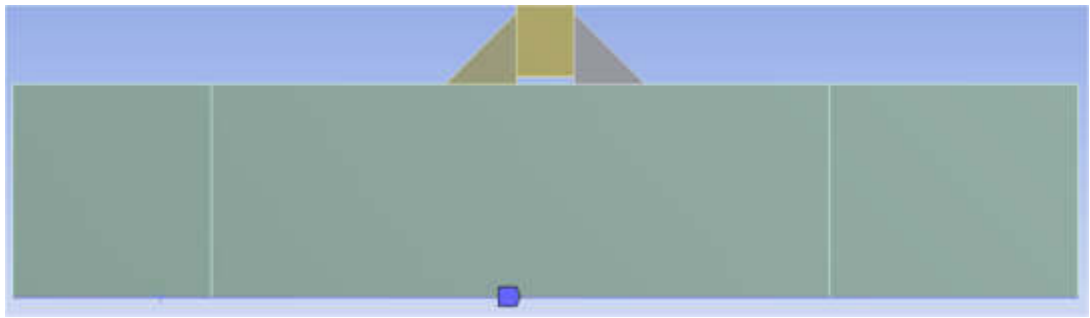


Рисунок 3.10 – Второй тип закрепления

После этих действий можно приступать к расчету образцов.

3.5 Результаты проведенных исследований

3.5.1 Эксперимент №1

Стенка и пояс из стали 09Г2С (предел текучести 300 МПа). Толщина пояса 30 мм. Катет шва 10 мм.

На рисунке 3.11 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№1).

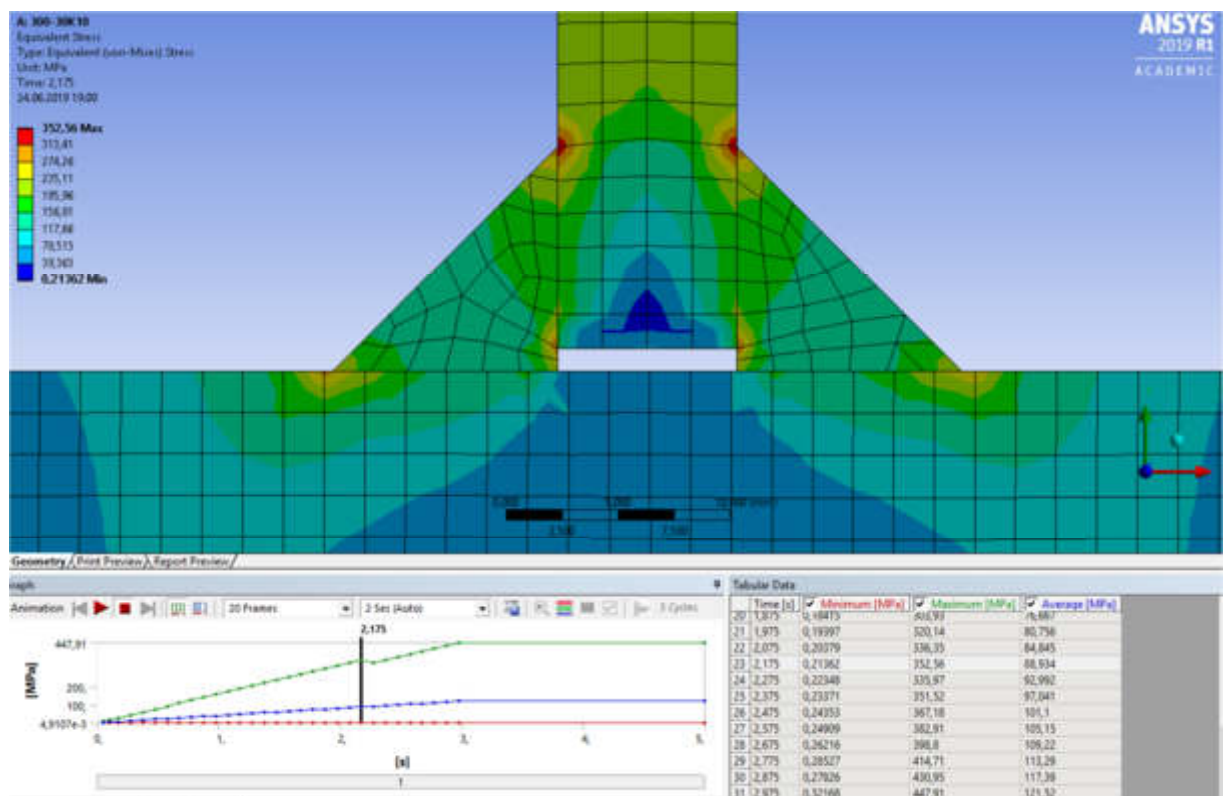


Рисунок 3.11 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №1)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 352,56 МПа с последующим упрочнением.

3.5.2 Эксперимент №2

В этом эксперименте были проведены следующие исследования с 1-ым типом закрепления:

1. S500MC, $t=25$ мм; $K=8$ мм
2. S500MC, $t=25$ мм; $K=6 \times 10$ мм
3. S500MC, $t=25$ мм; $K=10 \times 6$ мм

1. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S500MC. Толщина пояса 25 мм. Катет шва 8 мм.

На рисунке 3.12 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№2).

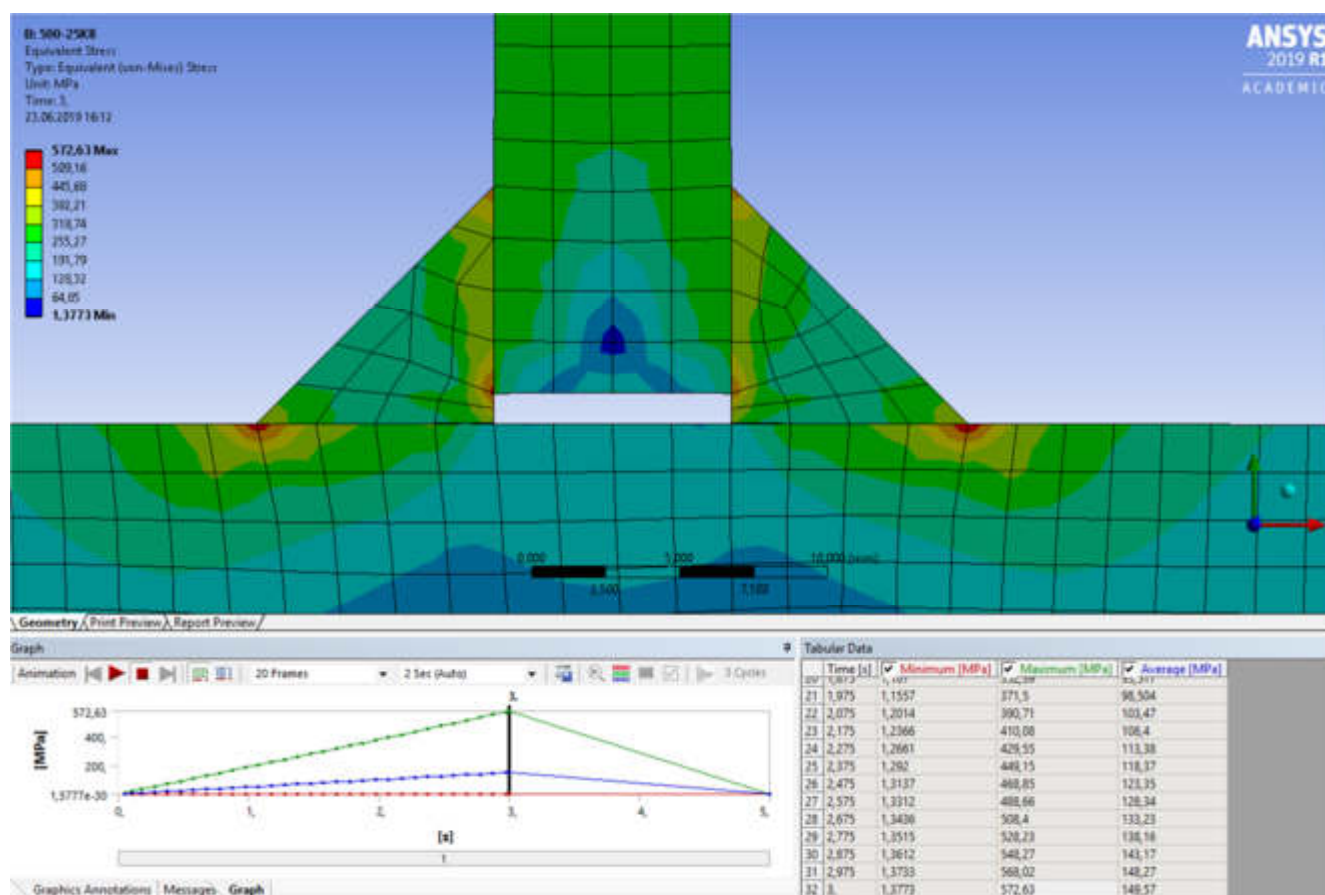


Рисунок 3.12 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №2)

Из рисунка можно увидеть, что локальна текучесть на протяжении всего эксперимента не наступила.

2. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S500МС. Толщина пояса 25 мм. Катет шва 6 на 10 мм.

На рисунке 3.13 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№2).

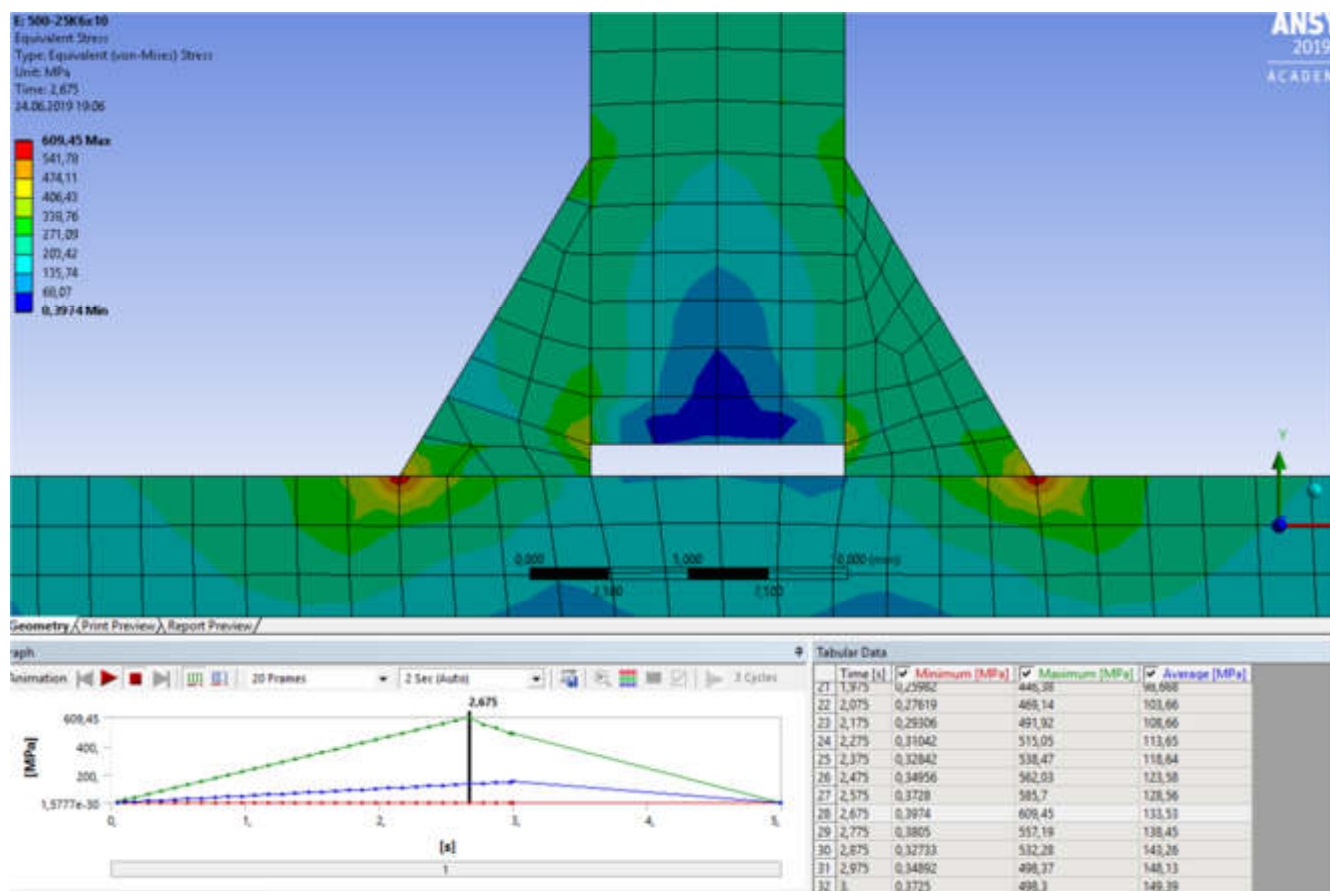


Рисунок 3.13 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №2)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 609,45 МПа.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S500МС. Толщина пояса 25 мм. Катет шва 10 на 6 мм.

На рисунке 3.14 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№2).

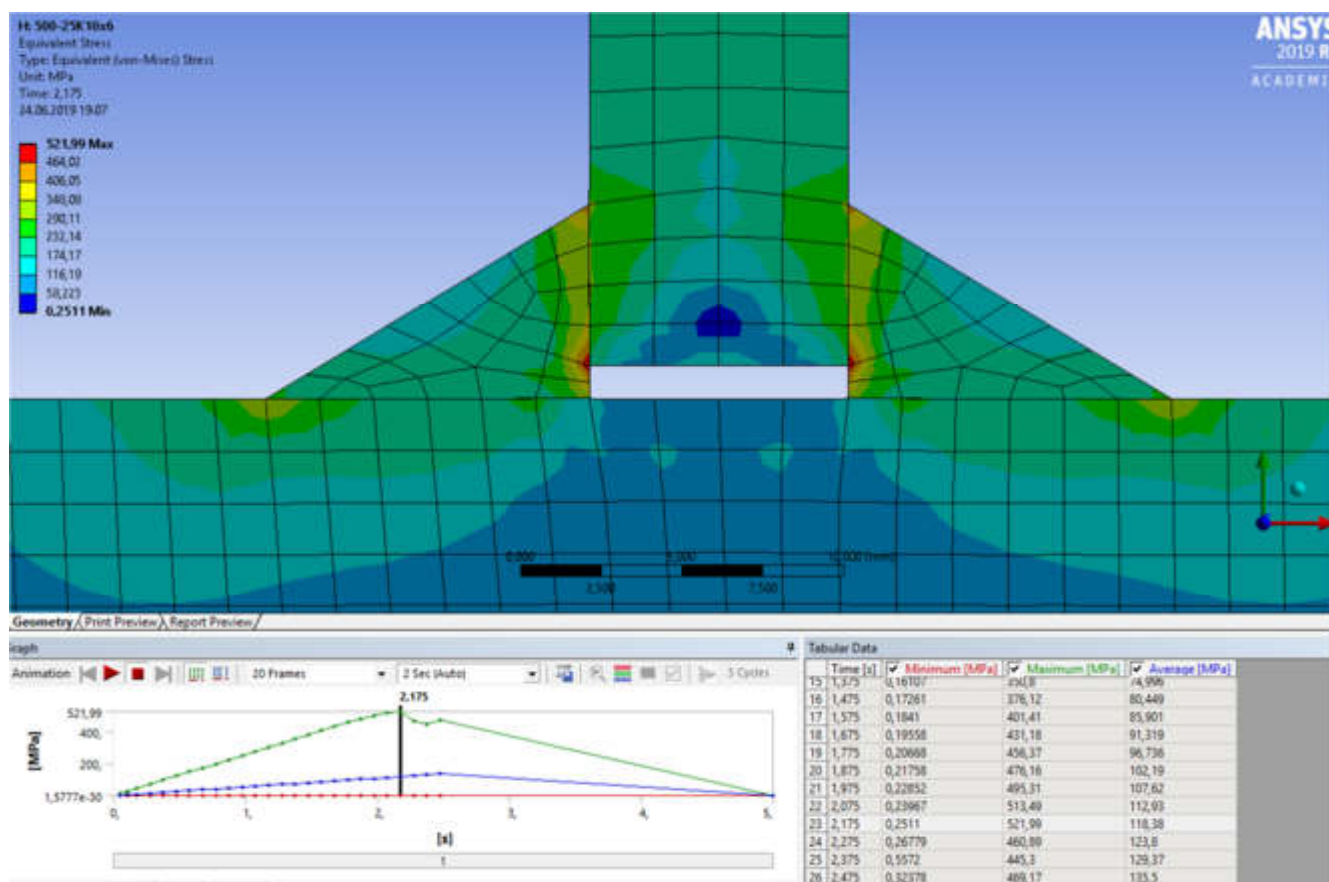


Рисунок 3.14 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №2)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 521,99 МПа с последующим упрочнением.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2019.197.00 ПЗ

Лист

63

Результаты первого и второго экспериментов представлены на рисунке 3.15.

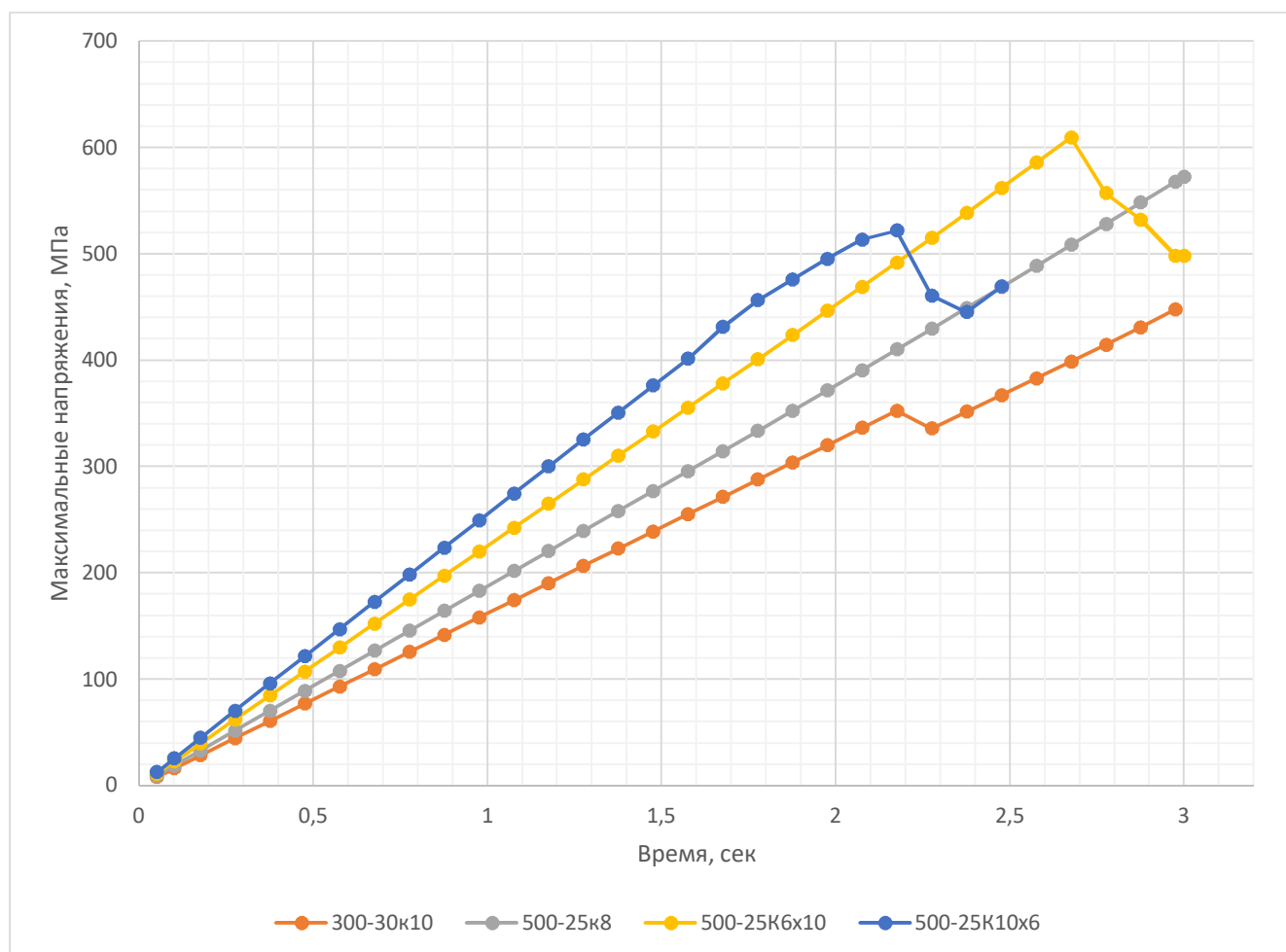


Рисунок 3.15 – Результаты первого и второго экспериментов

По графику, построенному по результатам первого и второго экспериментов, можно дать следующие комментарии. В базовом варианте конструктивного исполнения сварного соединения, который имеет маркировку 300-30к10 (300 МПа – предел текучести стали 09Г2С; 30 мм – толщина пояса; катет шва 10 мм), в момент времени 2,175 сек. наступает локальная текучесть, которая характеризуется временным снижением максимальных напряжений, с последующим их увеличением за счет упрочнения материала. Образец 500-25к8 из стали S500MC показал лучшие результаты, так как локальной текучести в нем не наблюдалось на протяжении всего опыта. В образце 500-25к6х10 локальная текучесть наступила после по прошествии 2,675 сек, что по времени лучше, чем у образца 300-30к10, но хуже по возникающим в нем напряжениям (образец 300-30к10 на 2,675 сек. испытывает напряжение в 400 МПа, в то время как в образце

500-25к6х10 – 610 МПа). Образец 500-25к10х6 показал худший результат, так как разрушился в момент времени 2,475 сек. при напряжении 470 МПа.

3.5.3 Эксперимент №3

В этом эксперименте были проведены следующие испытания с 1-ым типом закрепления:

1. S500МС, $t=20$ мм; $K=8$ мм
2. S500МС, $t=20$ мм; $K=6 \times 10$ мм
3. S500МС, $t=20$ мм; $K=10 \times 6$ мм
4. S700МС, $t=20$ мм; $K=8$ мм
5. S700МС, $t=20$ мм; $K=6 \times 10$ мм
6. S700МС, $t=20$ мм; $K=10 \times 6$ мм

1. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S500МС. Толщина пояса 20 мм. Катет шва 8 мм.

На рисунке 3.16 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№3).

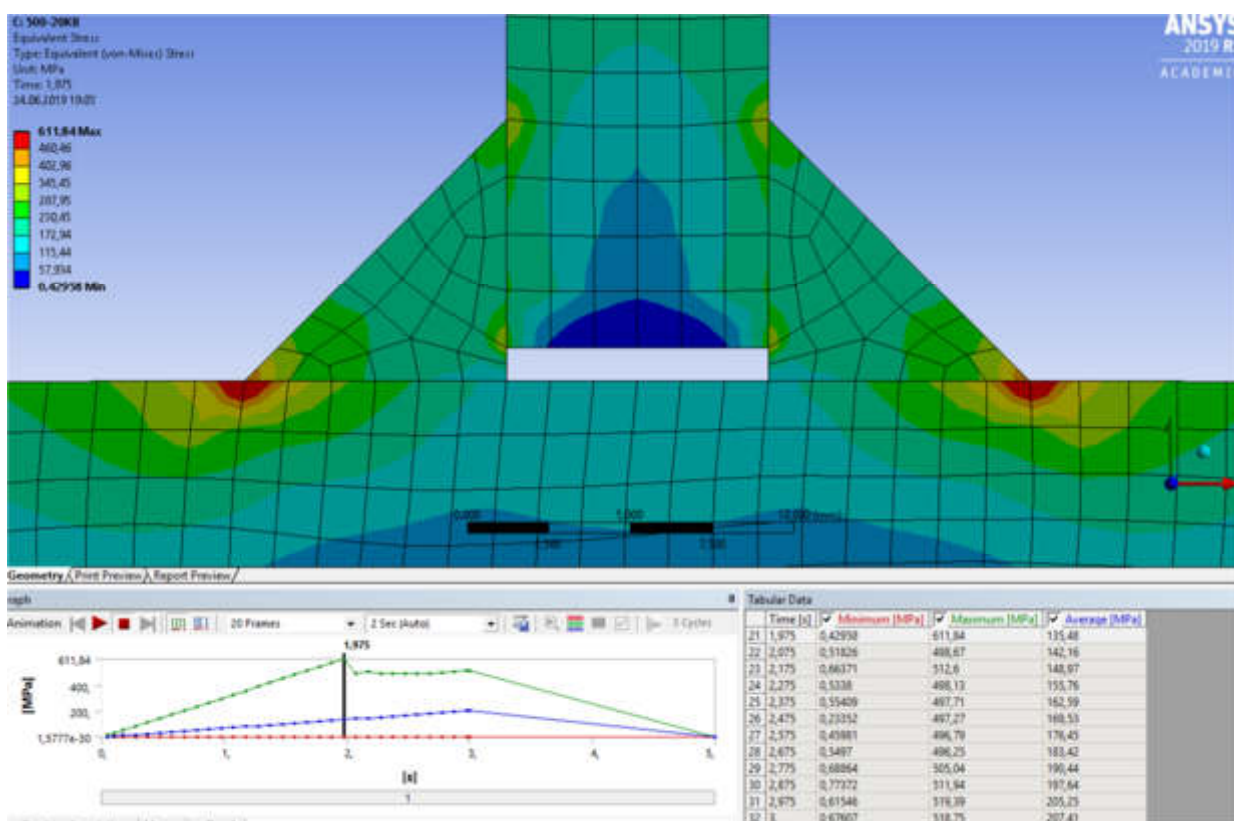


Рисунок 3.16 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №3)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 611,84 МПа с последующим небольшим упрочнением.

2. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S500MC. Толщина пояса 20 мм. Катет шва 6 на 10 мм.

На рисунке 3.17 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№3).

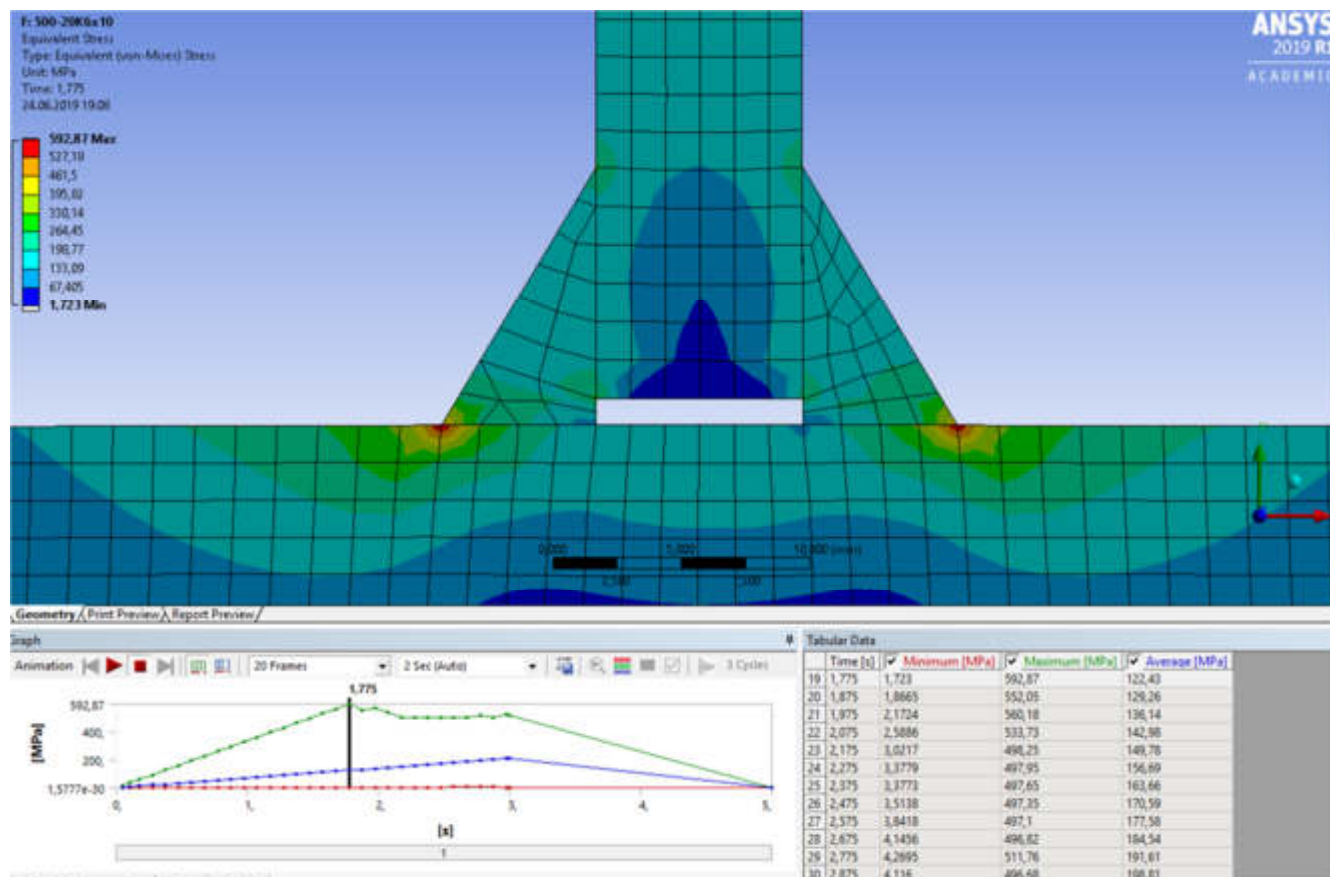


Рисунок 3.17 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №3)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 592,87 МПа с последующим упрочнением.

3. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S500МС. Толщина пояса 20 мм. Катет шва 10 на 6 мм.

На рисунке 3.18 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№3).

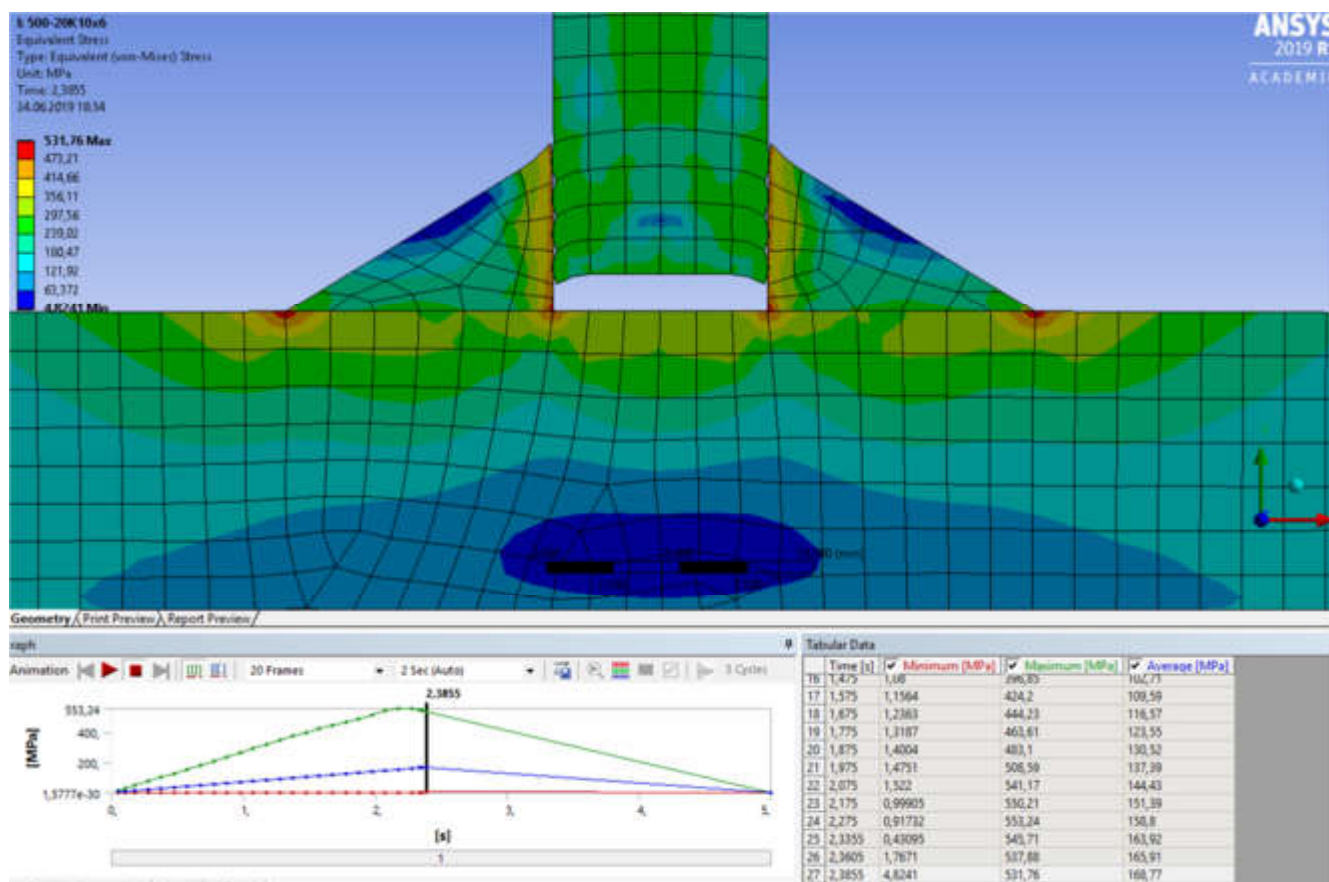


Рисунок 3.18 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №3)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 553,24 МПа, после чего происходит разрушение образца.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2019.197.00 ПЗ

Лист

67

4. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S700МС. Толщина пояса 20 мм. Катет шва 8 мм.

На рисунке 3.19 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№3).

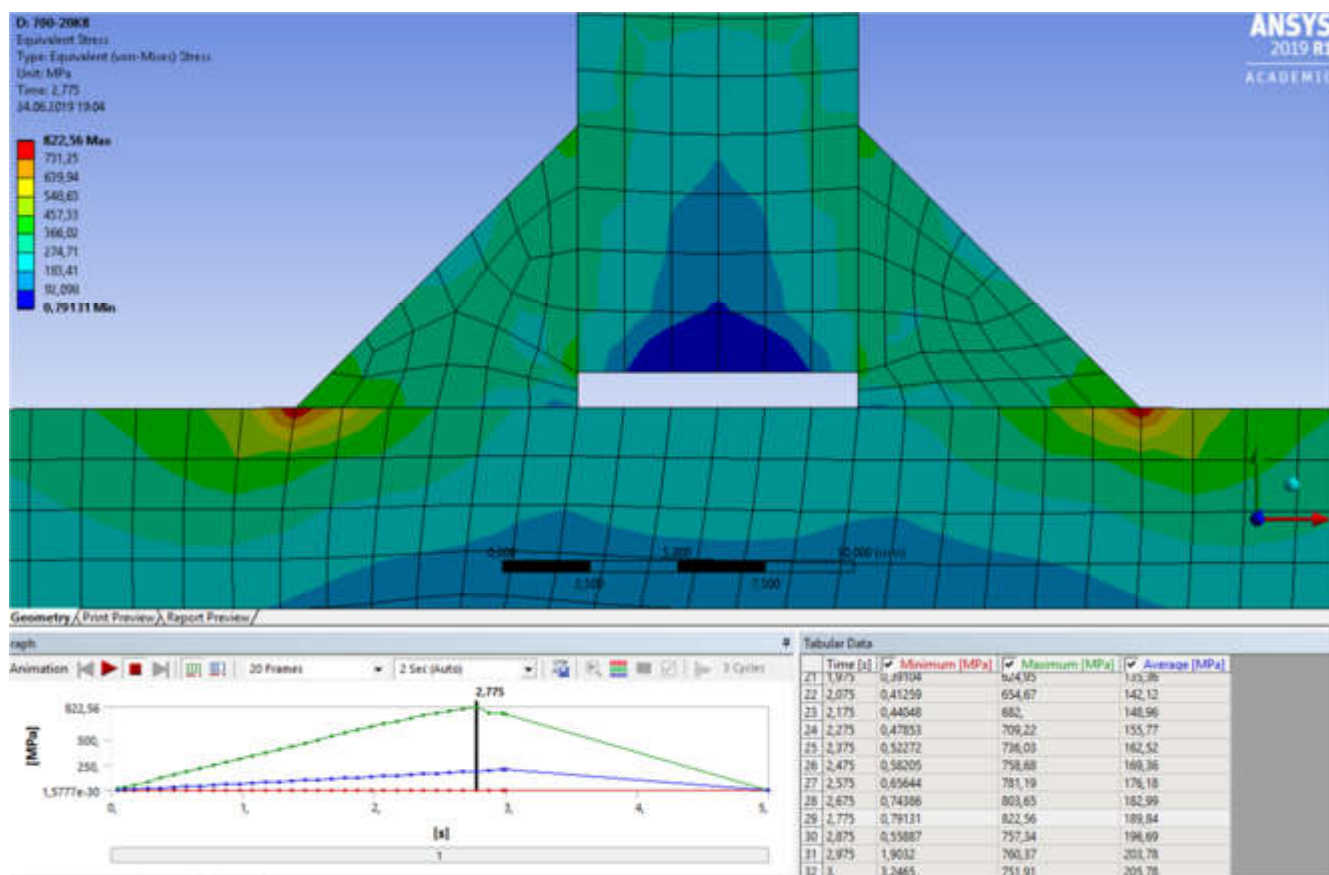


Рисунок 3.19 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №3)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 882,56 МПа с последующим упрочнением.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2019.197.00 ПЗ

Лист

68

5. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S700MC. Толщина пояса 20 мм. Катет шва 6 на 10 мм.

На рисунке 3.20 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№3).

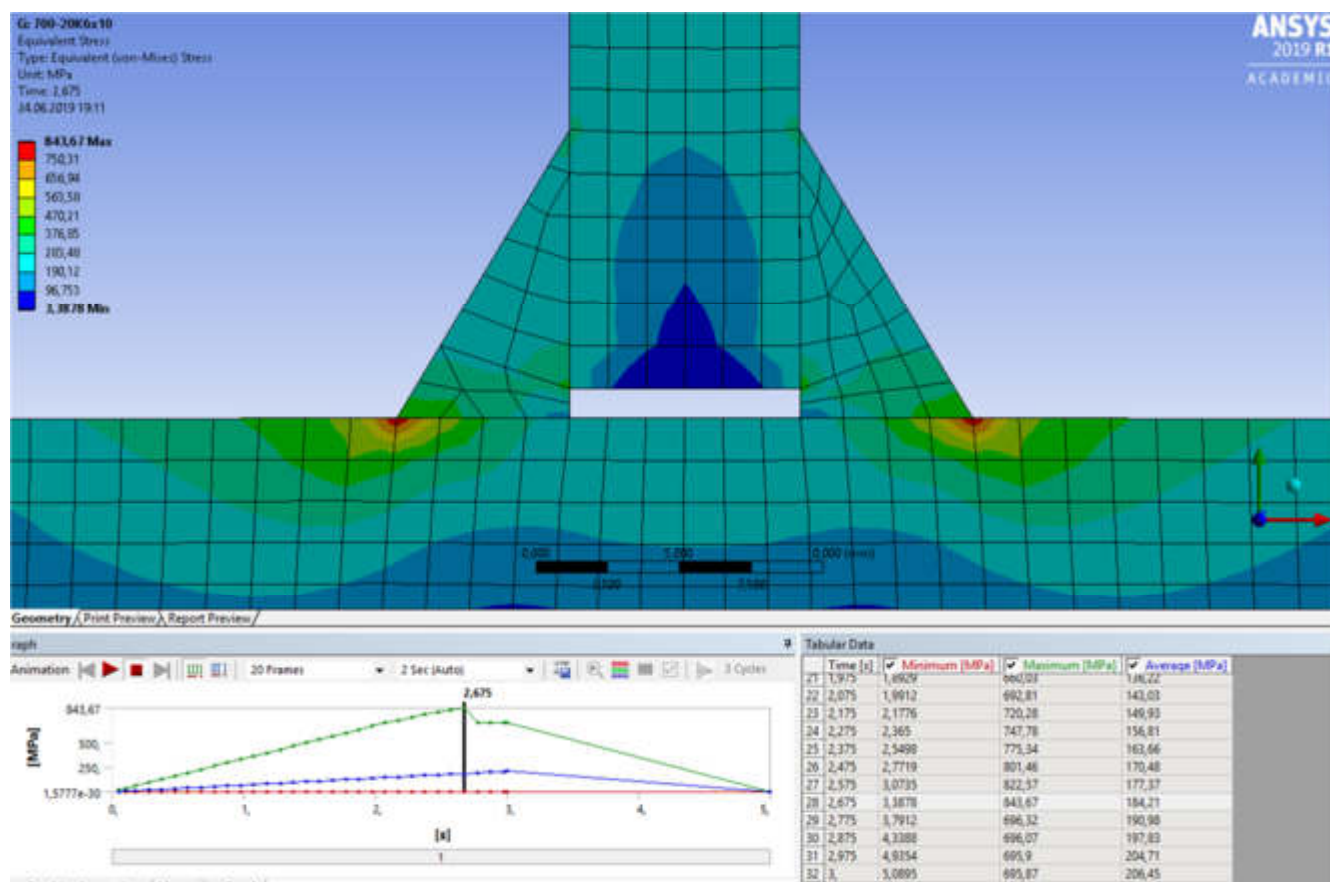


Рисунок 3.20 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №3)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 843,7 МПа.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

6. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S700МС. Толщина пояса 20 мм. Катет шва 10 на 6 мм.

На рисунке 3.21 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№3).

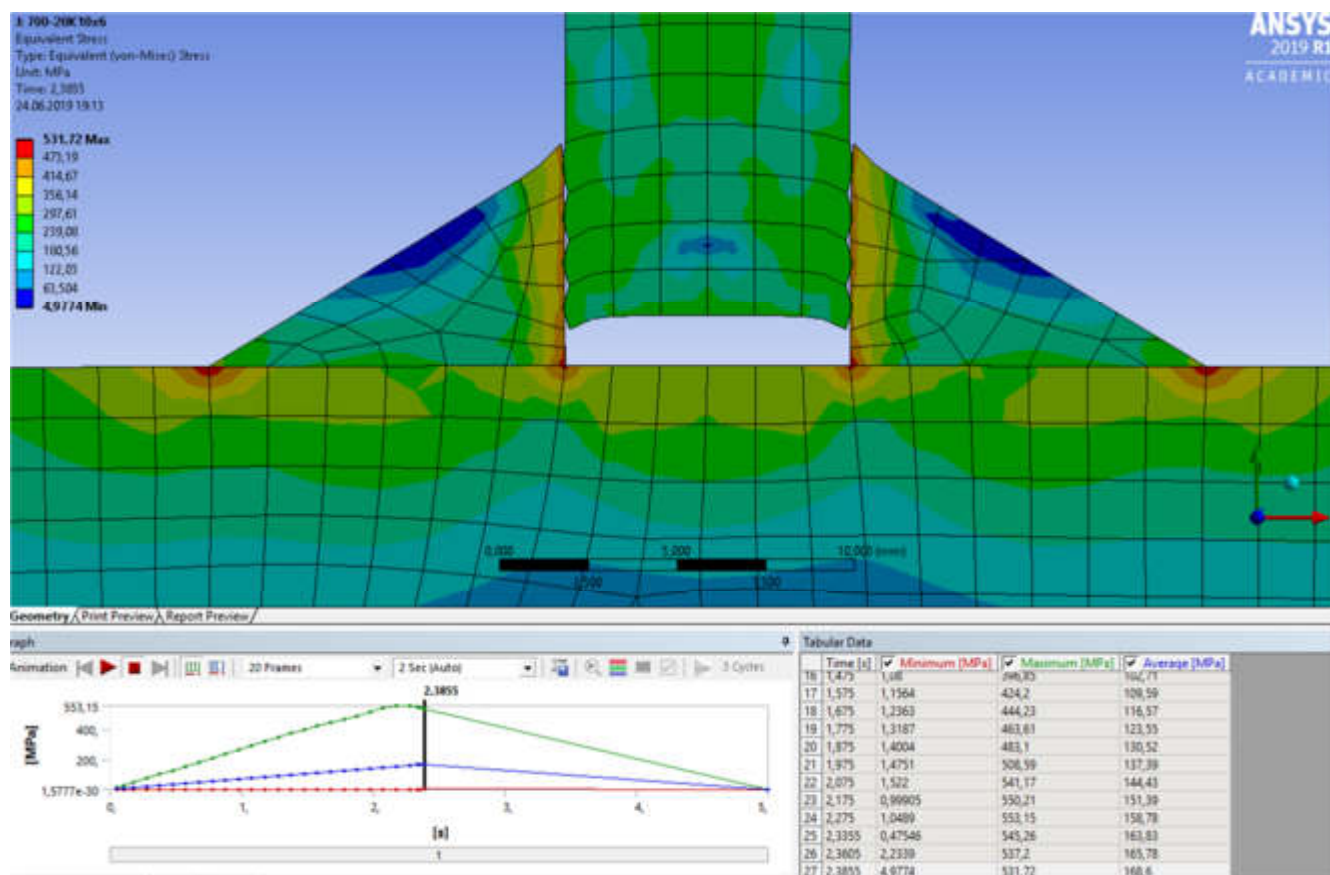


Рисунок 3.21 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №3)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 553,15 МПа, после чего происходит разрушение образца.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Результаты первого и третьего экспериментов представлены на рисунках 3.22 и 3.23 для сталей S500MC и S700MC соответственно

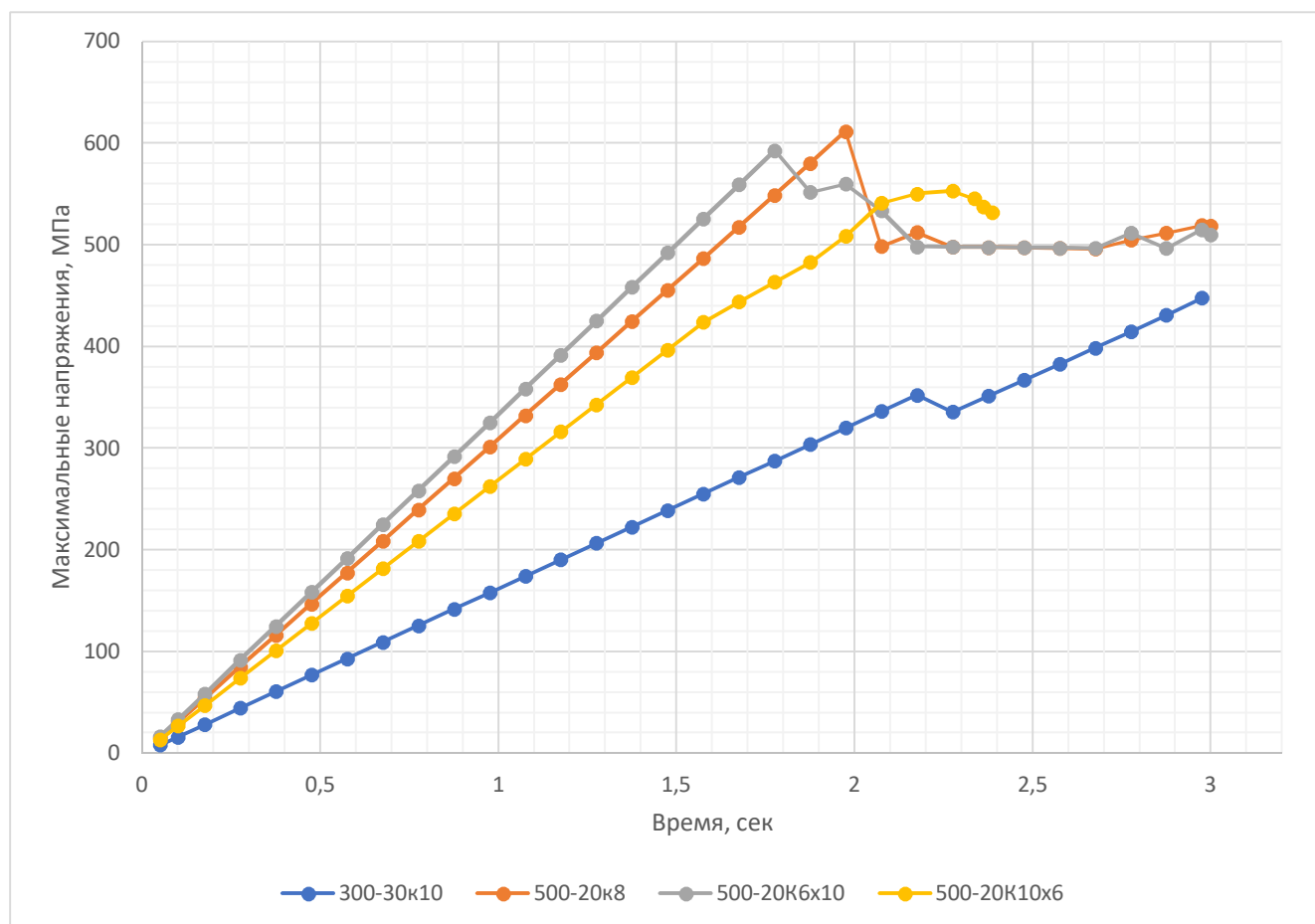


Рисунок 3.22 – Результаты первого и третьего экспериментов (S500MC)

Из графика видно, что образец 500-20к10х6 разрушился в момент времени 2,38 сек, а в образцах 500-20к8 и 500-20к6х10 локальная текучесть наступила раньше, чем у образца 300-30к10. Из этого можно сделать вывод, что ни один из этих вариантов не является удовлетворительным для замены оригинальной конструкции.

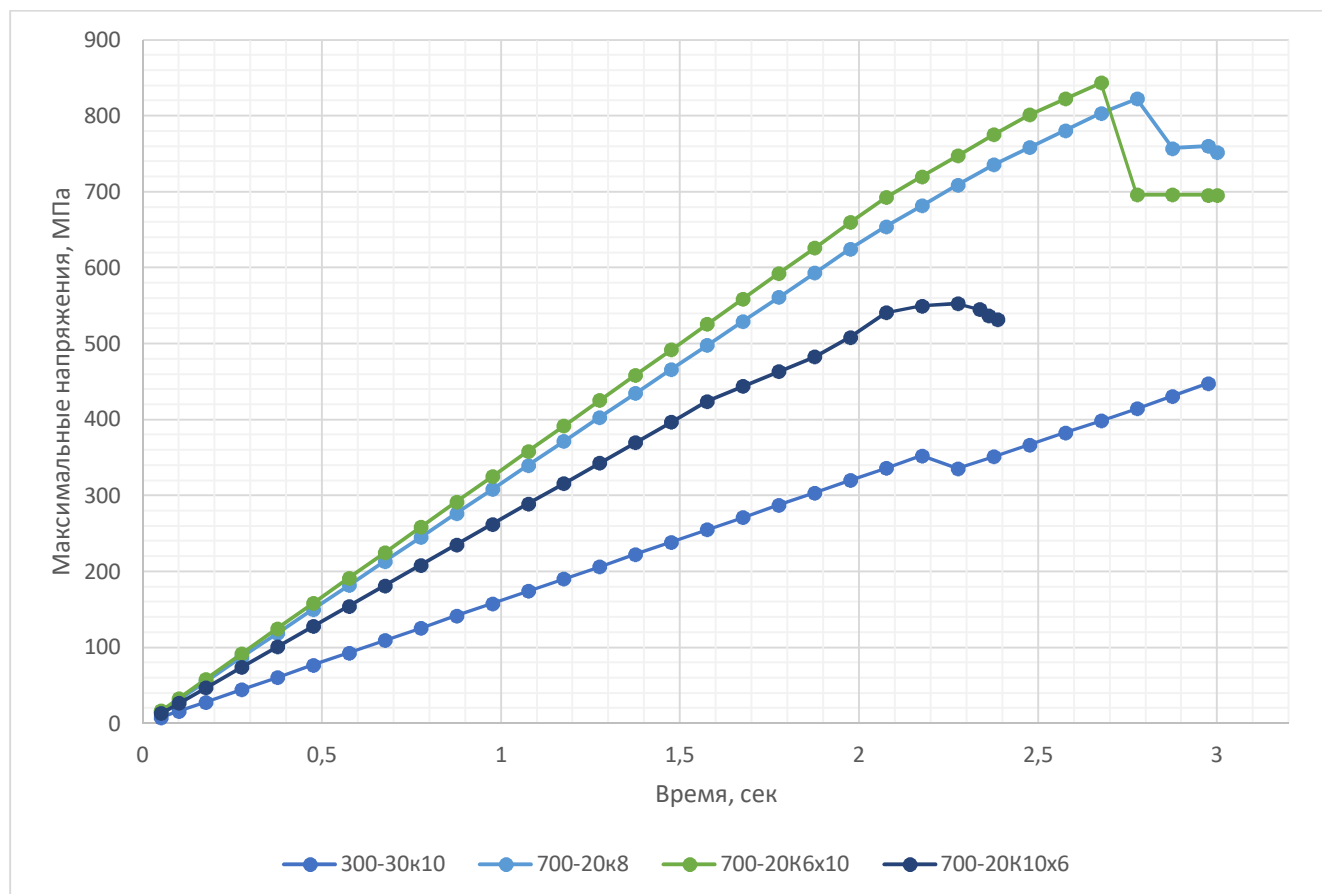


Рисунок 3.23 – Результаты первого и третьего экспериментов №2 (S700MC)

На графике можно увидеть, что образец 700-20к10х6 разрушился в момент времени 2,38 сек. В образцах 700-20к8 и 700-20к6х10 локальная текучесть наступила позднее, чем в образце 300-30к10, но после наступления локальной текучести их сопротивляемость нагрузке сильно уменьшается. Можно сделать вывод, что при одинаковой нагрузке оригинальная конструкция не испытывает таких высоких напряжений, как другие образцы, и ее сопротивляемость нагрузке не уменьшается.

3.5.4 Эксперимент №4

В этом эксперименте были следующие опыты с 2-м типом закрепления:

1. 09Г2С, $t=30$ мм; $K=10$ мм
2. S500МС, $t=20$ мм; $K=8$ мм
3. S500МС, $t=20$ мм; $K=6 \times 10$ мм
4. S500МС, $t=20$ мм; $K=10 \times 6$ мм

1. Стенка и пояс из 09Г2С (предел текучести 300 МПа). Толщина пояса 30 мм. Катет шва 10 мм.

На рисунке 3.24 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№4).

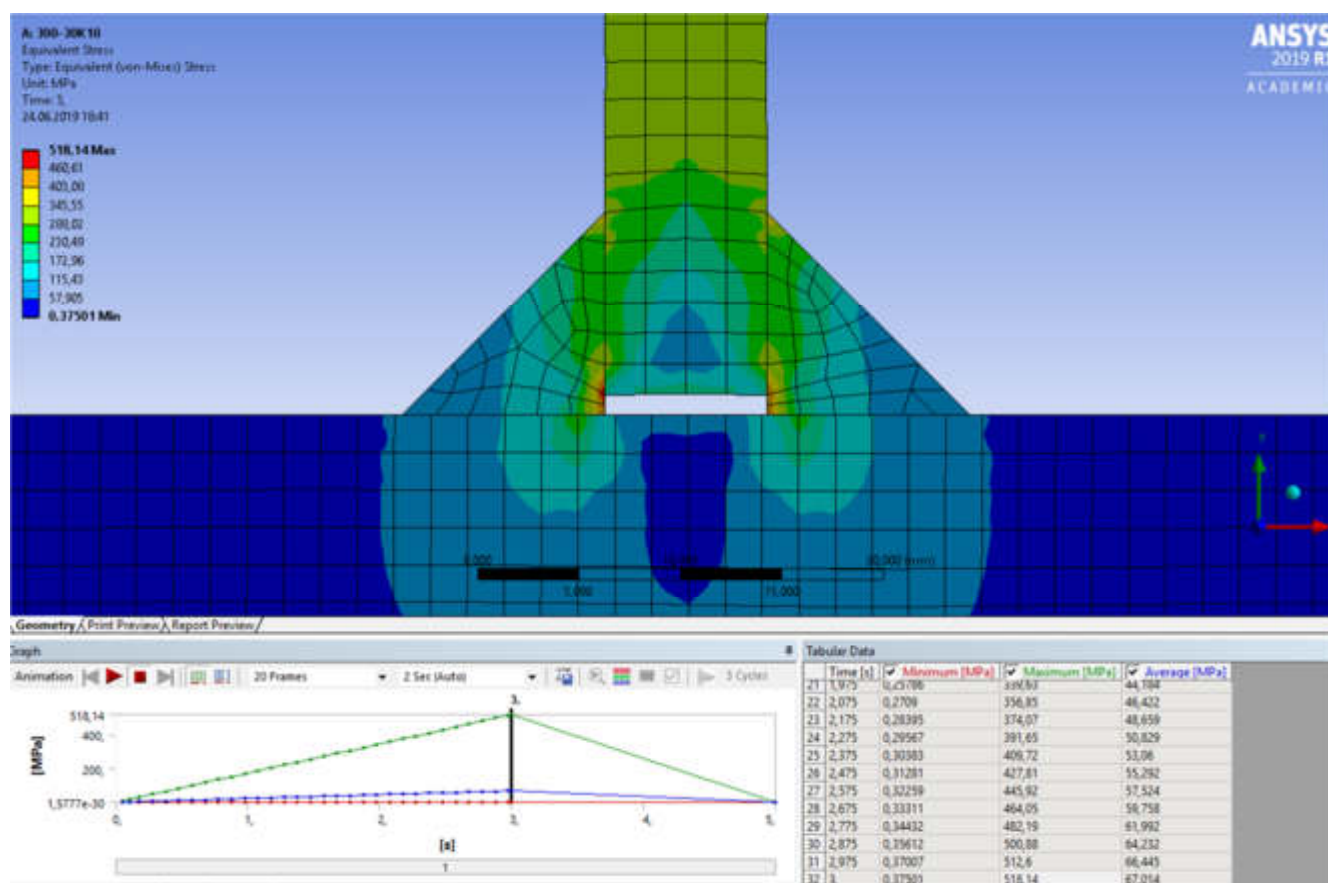


Рисунок 3.24 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №3)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть в ходе нагружения не началась.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S500МС. Толщина пояса 20 мм. Катет шва 8 мм.

На рисунке 3.25 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№3).

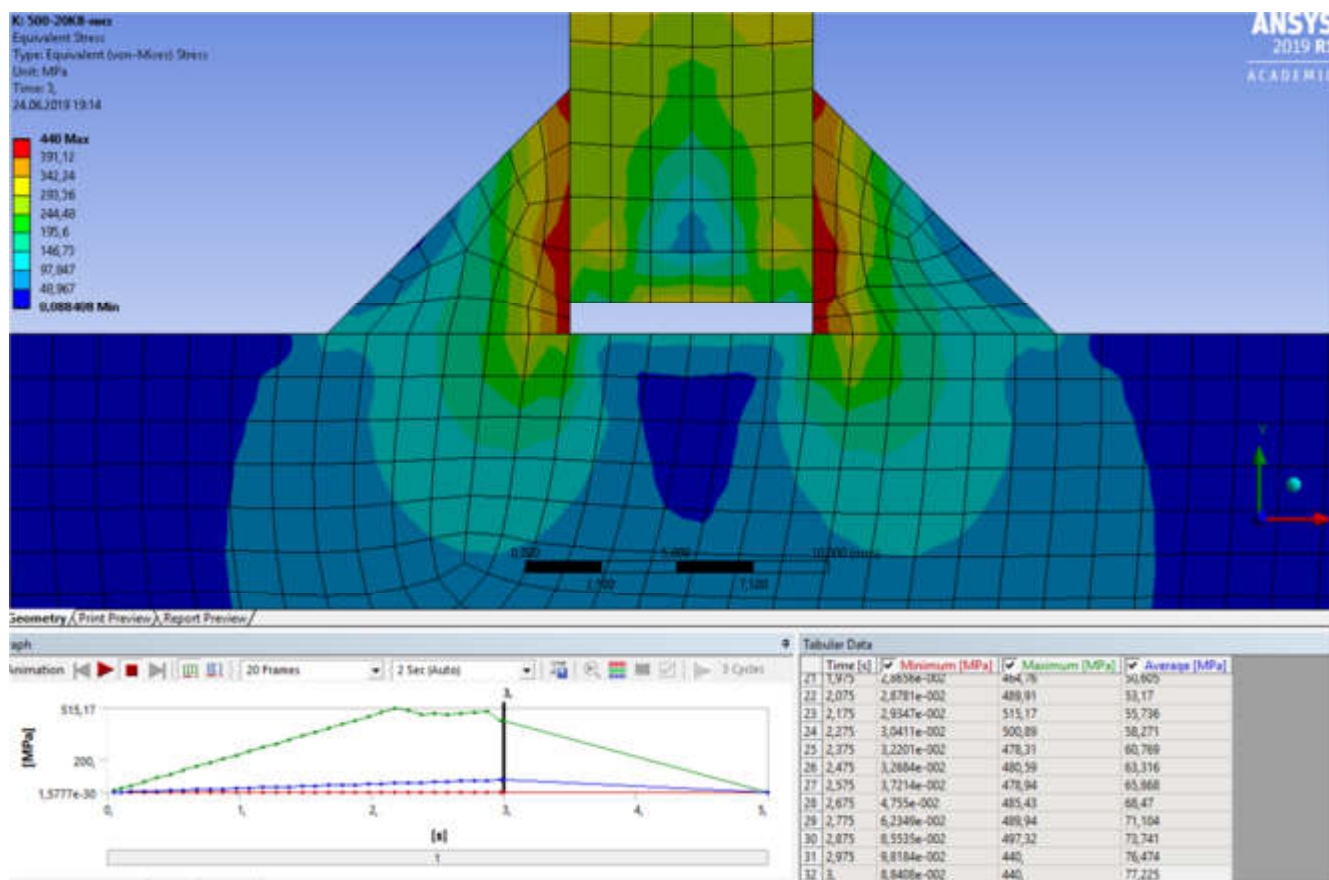


Рисунок 3.25 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №3)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 515,17 МПа. После чего начинается постепенное уменьшение сопротивления нагрузке.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2019.197.00 ПЗ

Лист

74

3. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S500МС. Толщина пояса 20 мм. Катет шва 6 на 10 мм.

На рисунке 3.26 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№4).

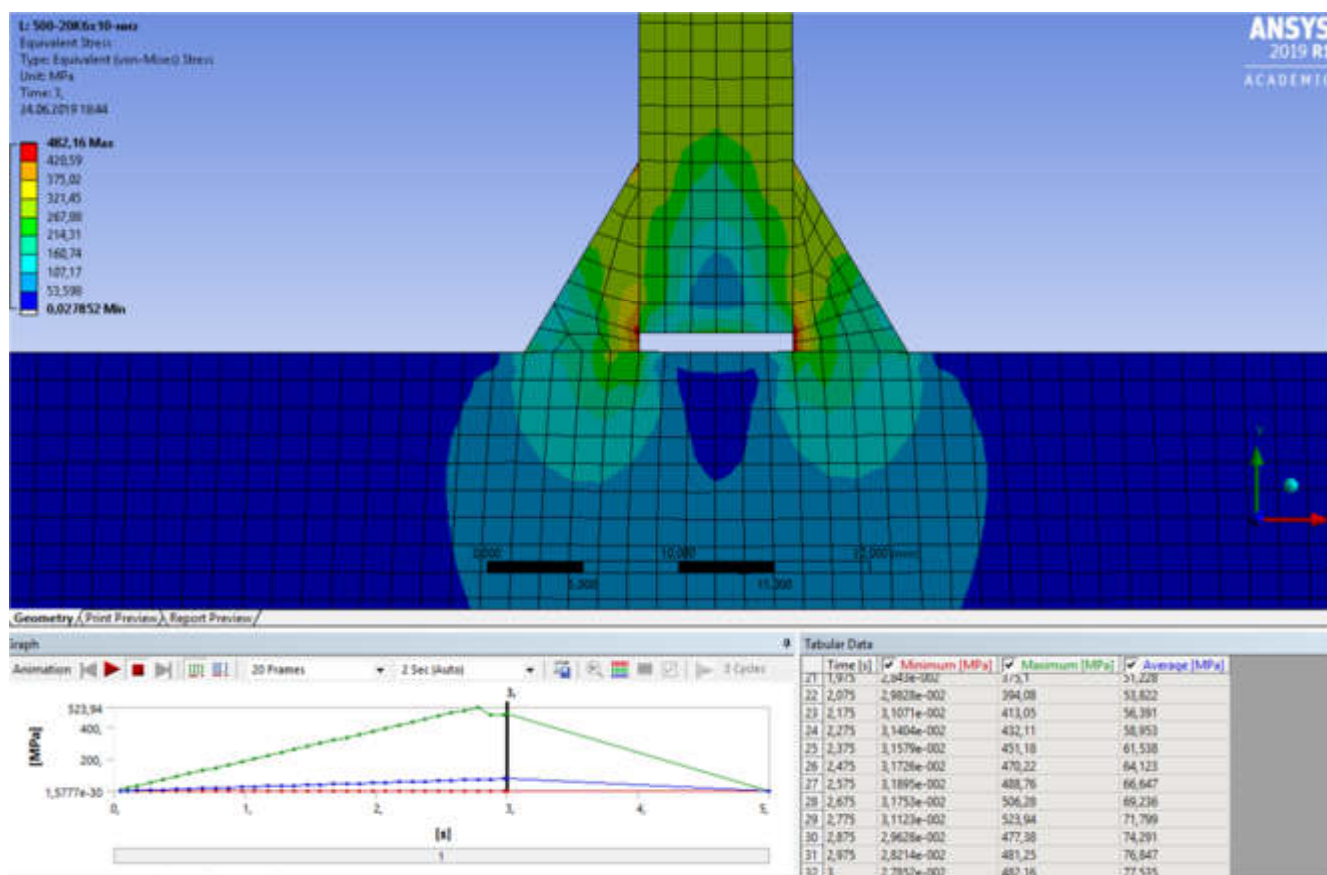


Рисунок 3.26 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №4)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 523,94 МПа.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4. Стенка из стали 09Г2С, пояс из стали S500МС. Толщина пояса 20 мм. Катет шва 10 на 6 мм.

На рисунке 3.27 можно увидеть эквивалентные напряжения по Мизесу (№4).

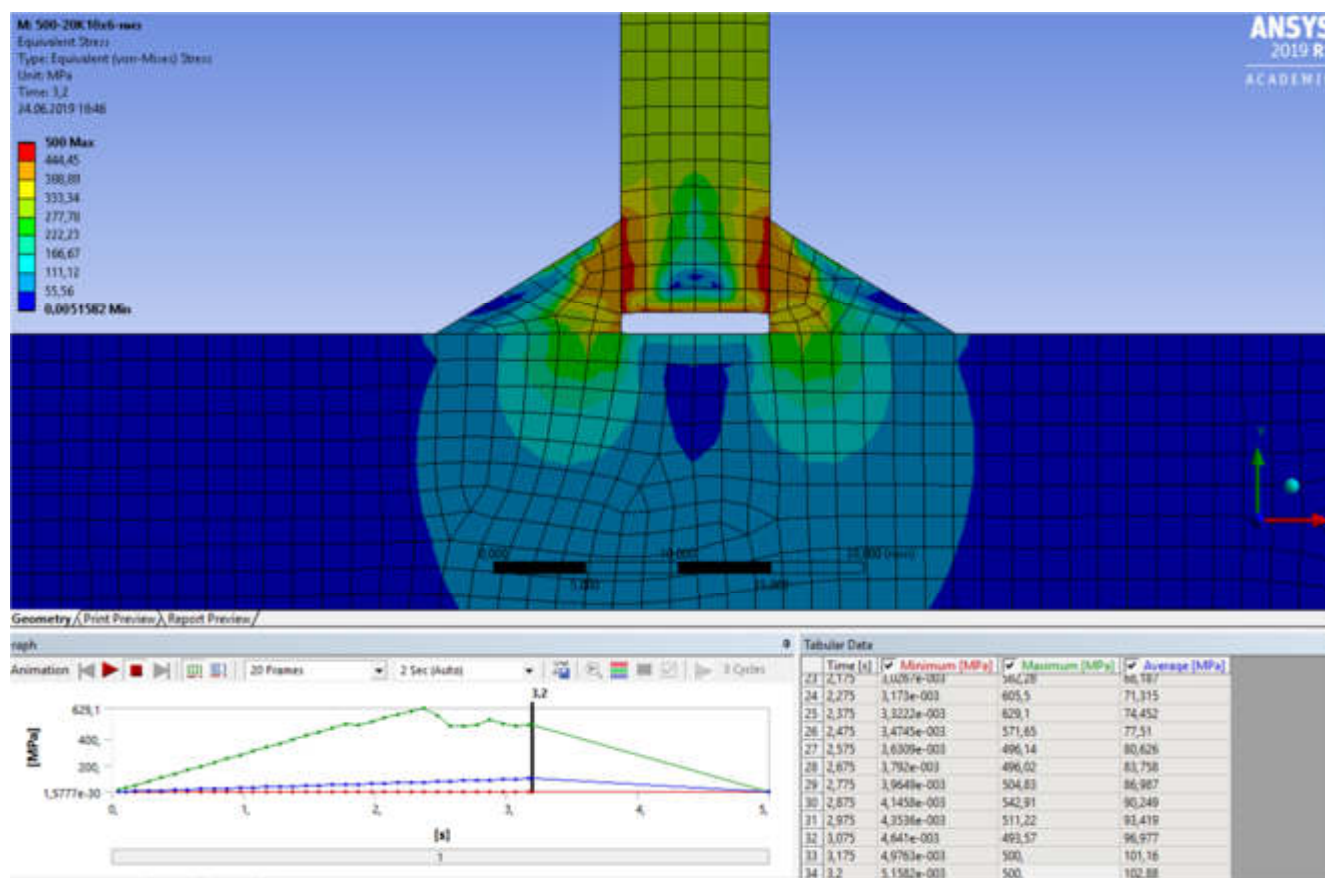


Рисунок 3.27 – Эквивалентные напряжения по Мизесу (эксперимент №4)

Из рисунка можно увидеть, что локальная текучесть наступила при 629,1 МПа с последующим небольшим упрочнением.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

15.04.01.2019.197.00 ПЗ

Результаты четвертого эксперимента представлены на рисунке 3.28.

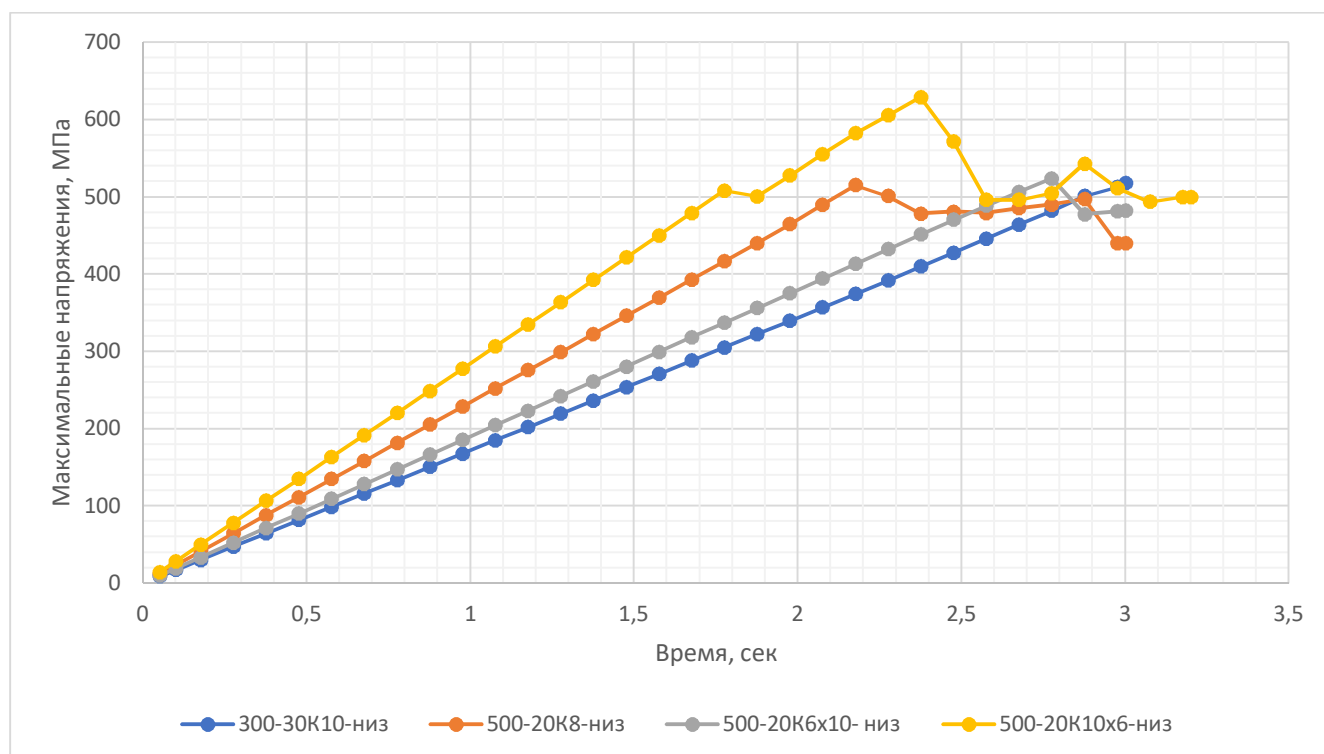


Рисунок 3.28 – Результаты четвертого эксперимента

В ходе четвертого эксперимента только образец 300-30к10 не проявил локальной текучести, в образцах 500-20к8 и 500-20к10х6 локальная текучесть возникает в момент времени 2,175 сек и 1,775 сек соответственно, затем их сопротивляемость нагрузке сильно уменьшается. В образце 500-20к6х10 локальная текучесть наступает в 2,775 сек, затем сопротивляемость нагрузке уменьшается.

3.5.5 Обобщение результатов

По всем проведенным эксперимента можно сказать, что наиболее оптимальным вариантом конструктивно-технологического решения таврового сварного соединения лонжерона является вариант 500-25к8 (сталь S500MC, толщина пояса 25 мм, катет 8 мм).

Последующее уменьшение толщины полки до 20 мм приводит к увеличению напряжений в сварном шве в два раза, в то время как при толщине полки 25 мм отмечается незначительное увеличение напряжений в сварном шве.

Использование неравнокатетных сварных швов не привёл к ожидаемому положительному результату. Шов с катетами 10х6 (10 мм – горизонтальный катет, 6 мм – вертикальный катет) показал себя хуже всего, так как плоскость контакта при вертикальных нагрузках срезается, а площадь этого контакта шва и стенки меньше, чем при К8, К6х10, например как на рисунке 3.21, поэтому в этой области возникают большие напряжения и деформации.

Также шов с катетами 6х10 (6 мм – горизонтальный катет, 10 мм – вертикальный катет) показал себя хуже, чем равнокатетный шов К8, так как при неравнокатетном шве в зоне контакта пояса и шва возникает большой концентратор напряжений.

Таким образом равнокатетный шов является наиболее оптимальным вариантом.

3.6 Экспериментальная оценка свариваемости стали S500MC

Как отмечалось выше, при сварке высокопрочных сталей, существует вероятность образования холодных трещин, которые образуются в течение 2–5 часов после окончания сварки, после чего происходит их замедленное развитие на протяжении от нескольких часов до нескольких суток [14]. В большинстве действующих нормативных документов на изготовление сварных металлоконструкций оценка свариваемости конструкционных сталей выполняется

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

расчетными методами, которые были разработаны достаточно давно и справедливы в отношении высокопрочных сталей, упрочняемых за счет их легирования. Современные низколегированные стали типа S500MC и S700Q упрочняются за счет специальных видов термической и термомеханической обработки металла. Поэтому применение разработанных ранее зависимостей для оценки современных высокопрочных сталей не вполне корректно [18, 19, 20]. Учитывая это обстоятельство, оценку свариваемости высокопрочной стали S500MC решено было провести на технологических пробах Тэккена, которые представлены на рисунке 3.29, на стали 10Г2ФБЮ, которая является аналогом стали S500MC.

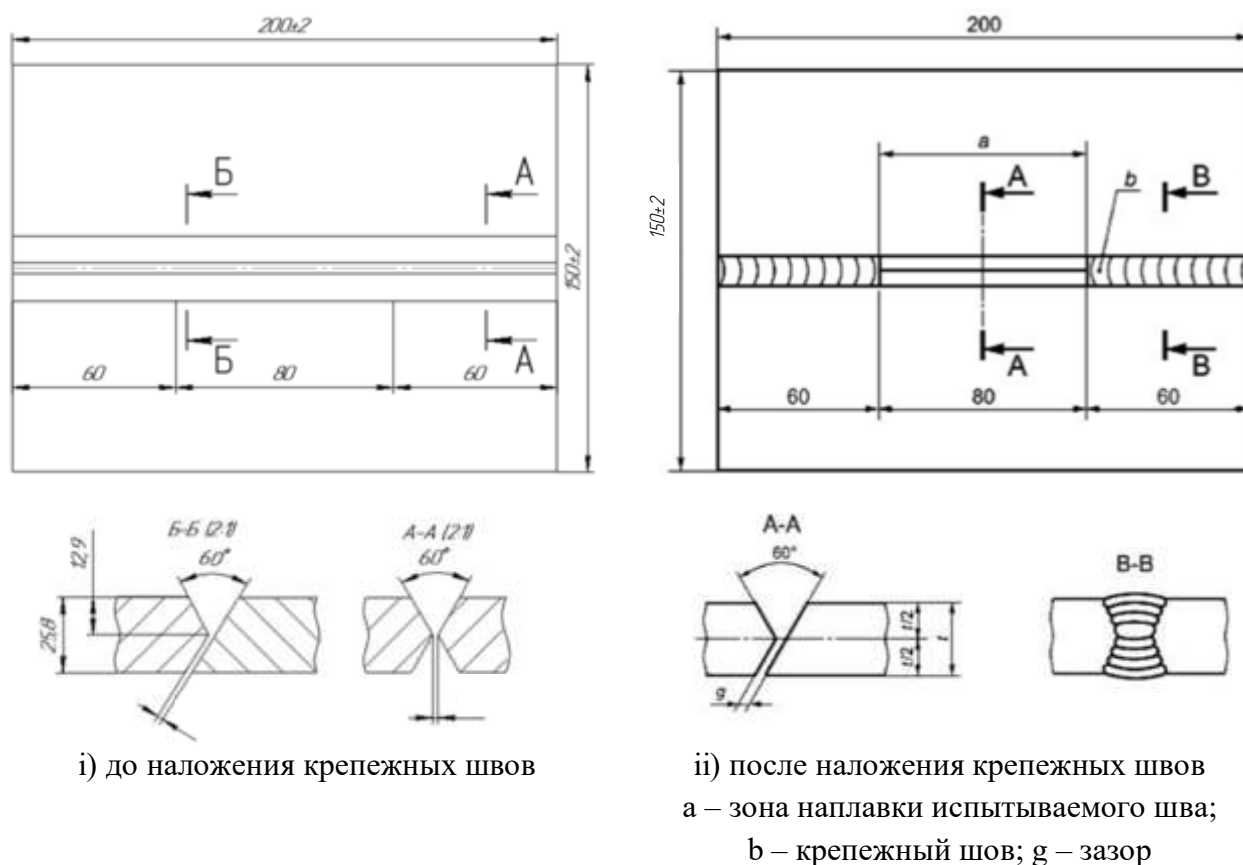


Рисунок 3.29 – Технологическая проба Тэккен

Образцы под сварку собирались на рабочем столе, которые изображены на рисунке 3.30, после чего поочередно устанавливались в позиционер сварочного робота FANUC ARC Mate 120iC, где проводилась сварка испытываемого шва на режимах, приведенных в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры режимов сварки испытываемых швов

Маркировка пробы	Параметры режима сварки				
	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки см/с	Погонная энергия кДж/см	
				фактическая	заданная
1	173	22,8	0,567	6,957	7±0,5 кДж/см
2	170	22,9	0,567	6,866	
3	174	22,9	0,567	7,028	
4	170	22,8	0,567	6,836	

Примечания:

- Испытуемый шов пробы №1 заварен проволокой KOBELCO DW-A70L, шов №2 – ESAB FILARC PZ6125, шов №3 – KOBELCO DW-A65L, шов №4 – ESAB FILARC PZ6115.
- Погонная энергия рассчитывалась без учета КПД процесса сварки.

Сварку проб выполнялась проволоками KOBELCO DW-A70L; KOBELCO DW-A65L; ESAB FILARC PZ6115; ESAB FILARC PZ6125 диаметром 1,2 мм в среде защитных газов K-18 сварочному роботу FANUC ARC Mate 120iC. В соответствии с действующими рекомендациями по аттестации сварочных технологий погонная энергия сварки технологических проб Тэккен должна быть на 25% ниже минимальной из заваленных на аттестацию.

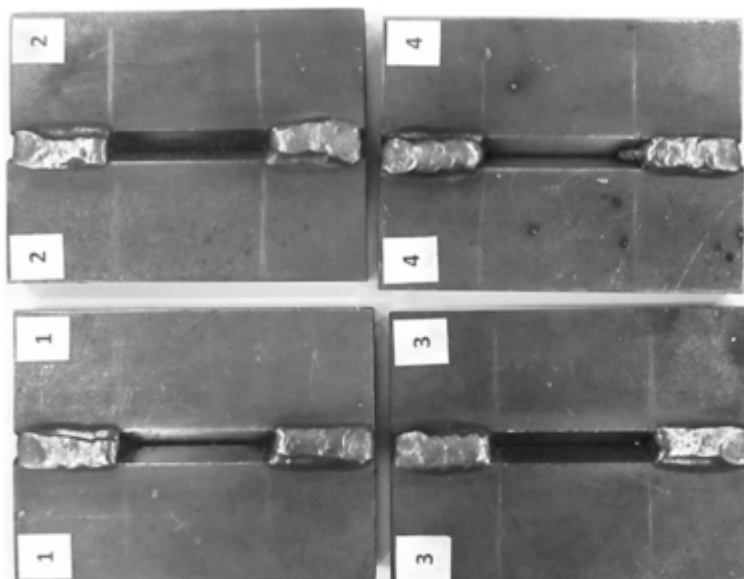


Рисунок 3.30 – Фотографии проб «Тэккен», собранных под сварку испытуемого сварного шва



Рисунок 3.31 – Фотография готовой к испытаниям пробы «Тэккен»

По прошествии 48 часов был проведен визуальный контроль испытуемых сварных швов на наличие трещин. В результате проведенного контроля было установлено, что в пробе №1, заваренной проволокой KOBELCO DW-A70L с пределом текучести 668 МПа, имеется поверхностная трещина протяженностью 8 мм. В остальных сварных швах проб поверхностных трещин не обнаружено.

Для выявления трещин, не вышедших на поверхность сварного шва все пробы Тэккен были разрезаны на контрольные образцы, поперечные сечения которых подлежат исследованию с помощью оптического прибора.

Для проведения этих исследований поверхности контрольных образцов были шлифованы и отполированы в соответствии с требованиями BS EN 1321:1997, а затем протравлены 10% раствором азотной кислоты, которые представлены на рисунке 3.32.

Осмотр подготовленных образцов проводится с помощью оптического микроскопа Axio Observer D1.m, оснащенного программно-аппаратным комплексом для анализа изображений Thixomet Pro с увеличением не менее $\times 50$. Окончательный вывод об отсутствии трещин в сварном шве делали после изучения его поперечного сечения при увеличении не менее $\times 200$. Результаты измерений приведены в таблице 3.3.



Рисунок 3.32 – Фотографии поперечных сечений контрольных образцов, вырезанных из проб Тэкенн

Таблица 3.3 – Результаты визуального и измерительного контроля сварных швов проб Тэкенн

Номер пробы	Номер образца	Поверхностная трещина	Корневая трещина
1	1-1	Есть	Есть
	1-2	Нет	Есть
	1-3	Нет	Нет
	1-4	Нет	Есть
2	2-1	Нет	Нет
	2-2	Нет	Нет
	2-3	Нет	Нет
	2-4	Нет	Нет
3	3-1	Нет	Нет
	3-2	Нет	Нет
	3-3	Нет	Нет
	3-4	Нет	Есть
4	4-1	Нет	Нет
	4-2	Нет	Нет
	4-3	Нет	Нет
	4-4	Нет	Нет

Так как при сварке образцов без подогрева не было обнаружено трещин в сварных соединениях, выполненных равнопрочными и менее прочными по отношению к стали 10Г2ФБЮ проволоками, это свидетельствует о том, что сталь S500MC можно сваривать по предлагаемой технологии без предварительного подогрева.

3.7 Выводы по разделу

По полученным данным можно сделать вывод, что для изготовления балки лонжерона рамы полуприцепа лесовоза лучше использовать высокопрочную сталь S500MC толщиной 25 мм. С наложением равнокатетного шва 8 мм.

Также в будущем будет актуально исследовать балки лонжеронов с толщиной поясов в интервале от 20 до 25 мм.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной научно-исследовательской работы были выполнены все цели и задачи, поставленные в начале. Были предложены различные варианты изготовления балки лонжерона рамы полуприцепа лесовоза, после чего они были проанализированы и смоделированы в программе Ansys, а также выбраны варианты показавшие лучшие результаты при одинаковой нагрузке.

С помощью этого удалось облегчить всю конструкцию полуприцепа лесовоза на 150 кг, что положительно повлияет на расход топлива, в случае других моделей лесовозов, в которых ширина пояса составляет 270 мм, уменьшение общего веса может составлять 270 кг. Это также позволяет увеличить максимальную массу груза для перевозок.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.В. Александров. Сопротивление материалов: Учеб. Для вузов/А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин; Под ред. А.В. Александрова. – 3-е изд. Испр. – М: Высш. Шк., 2003. – 560.
2. Березовский, Б.М. Расчет режимов дуговой сварки: Учебное пособие / Б.М. Березовский, Г.Д. Куликов, Н.Л. Зайцев. – Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1988. – 22 с.
3. Бесакова, В. Н. Безопасность жизнедеятельности в дипломных проектах: Учебное пособие / В. Н. Бекасова, С. И. Боровик, Н. В. Глотова и др.: под ред. И. С. Окраинской. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2007. – 166 с.
4. Браткова, О.Н. Источники питания сварочной дуги: Учебник / О.Н. Браткова. – М.: Высшая школа, 1982. – 182 с.
5. В.Н. Арисова. Исследование экспериментальных и расчетных методов оценки склонности наплавленного металла к образованию горячих и холодных трещин: методические указания к лабораторной работе № 3 / Сост. И. В. Зорин, Г. Н. Соколов, С. Н. Цурихин ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – 20 с.
6. Виноградов, А.С. Технологическая подготовка производства сварных конструкций в машиностроении / А.С. Виноградов. – М.: Машиностроение, 1981.– 295 с.
7. Виноградов, В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки / В.С. Виноградов. – М.: Академия, 2001. – 319 с.
8. Волоченко, В.Н. Сварка и свариваемые материалы: справочник: в 3 т. / под ред. В.Н. Волченко. – М.: Изд-во МГТУ, 1998. – Т.2. – 574 с.
9. Джамай, В. В. Прикладная механика: учебник для академического бакалавриата / В. В. Джамай, Е. А. Самойлов, Т. Ю. Чуркина; под ред. В. В. Джамаея. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 360 с.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

- 10.Иванов М.А. Отчет о научно-исследовательской работе. Разработка предложений по корректировке требований нормативных документов РС к выбору сварочных материалов и технологическим процессам сварки корпусных конструкций, изготовленных из высокопрочной стали, включая конструкции, работающие в условиях низких температур / М.А. Иванов, А.К. Тиньгаев, А.О. Чернявский, Н.А. Шабурова, Р.А. Закиров, Ю.В. Безганс, И.А. Ильин, А.Г. Алрухайми. — Челябинск 2018. — 166 с.
- 11.Кульневич, Т.В. Техническое нормирование сварочных процессов: учебное пособие для выполнения курсовых и дипломных проектов / Т.В. Кульневич, А.А. Колпаков, В.Н. Голиков. – Челябинск: ЧПИ, 1984. – 33 с.
- 12.Куркин, С. А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве: Учебник для студентов вузов / С. А. Куркин, Г. А. Николаев – М.: Высш. шк., 1991. – 398 с., ил.
- 13.Леонов, Э.Л. Расчет режимов электрической сварки и наплавки. Методическое пособие / Э.Л. Леонов, А.Д. Верхотуров — Хабаровск 1999. — 54 с.
- 14.Макаров Э.Л. Теория свариваемости сталей и сплавов / Э.Л. Макаров, Б.Ф. Якушин; под ред. Э.Л. Макарова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 487, [1] с.: ил.
- 15.Милютин, В. С. Источники питания и оборудование для электрической сварки плавлением. Учебник / В.С. Милютин, Р.Ф. Катаев. – М.: Academia, 2013. – 318 с.
- 16.Николаев, Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Г.А. Николаев, В.А. Винокуров. –М.: Высшая школа, 1990. –445 с.
- 17.Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие/ Под ред. В. В. Смирнова.– М.: Энергоатомиздат, 1986.– 656 с.
- 18.Пожбелко, Г.С. Безопасность жизнедеятельности в примерах и задачах: Учебное пособие / Г. С. Пожбелко.: под ред. А. И. Сидорова. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1998. – Ч. V. – 50 с.

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

19. Силаев, Г. В. Конструкция автомобилей и тракторов: учебник для вузов / Г. В. Силаев. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 370 с.
20. Силаев, Г. В. Машины и механизмы в лесном и лесопарковом хозяйстве в 2 ч. Часть 1: учебник для СПО / Г. В. Силаев. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 215 с.
21. Сорокин, В.Г. , Волосников А.В. Марочник сталей и сплавов – М.: Стройиздат, 1989 г. – 456 с.
22. Стихии, В.А. Источники питания сварочной дуги: Учебное пособие / В.А. Стихин. – Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1990. –138 с.
23. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. Под ред. акад. Б.Е. Патона. М., Машиностроение, 1974
24. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. - 10-е издание, перераб. доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1999. - 592 с.
25. Шахматов, М.В. Производство сварных конструкций: методическое пособие по курсовому проектированию / М.В. Шахматов, Д.М. Шахматов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2009. – 118 с.
26. ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные.
27. ГОСТ 27772-88 Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия.
28. СНиП 2.01.07-85/ НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ. – Москва, 2011.
29. СТО 22-04-02. Руководство по отбору микропроб, проб и определению механических свойств сталей в металлических конструкциях неразрушающим методом.
30. <http://oitsp.ru/develop/online-raschet-sklonnosti-staley-k-obrazovaniyu-goryachih-treshchin>
31. <https://studfiles.net/preview/2201283/page:53/>
32. https://studopedia.ru/7_103567_primer-raschet-rezhima-ruchnoy-dugovoy-svarki-mnogoprohodnoy-dlinnimi-uchastkami---naprohod.html
33. <https://megaobuchalka.ru/6/50597.html>

					15.04.01.2019.197.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

ПРИЛОЖЕНИЕ А

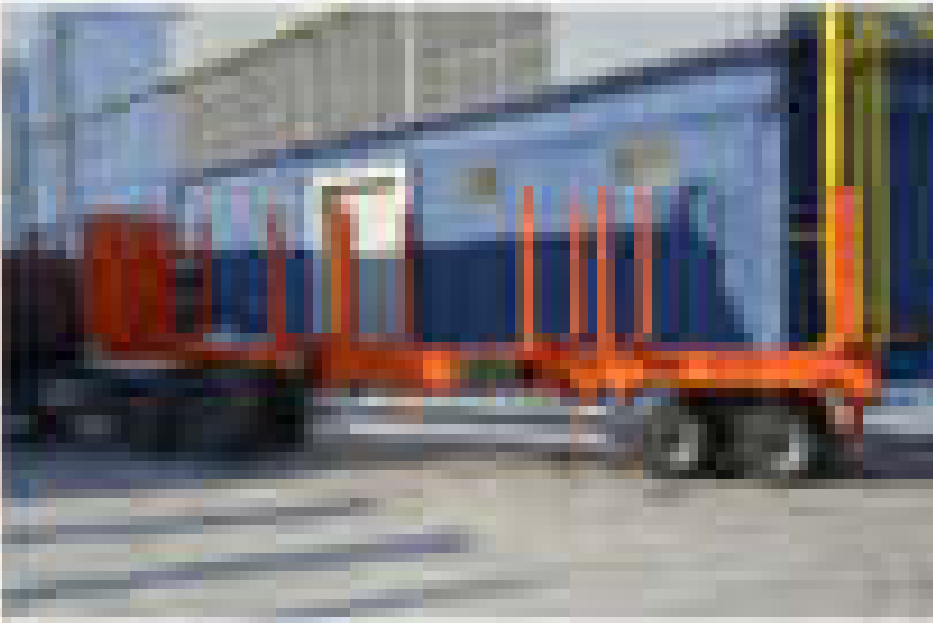
(Обязательное)



Wiederholungsfragen 19.02.2020

Wiederholungsfragen 19.02.2020

Frage	Antwort	Ergebnis
1. Welche Aufgabe hat die Lagerverwaltung?	Die Lagerverwaltung hat die Aufgabe, den Lagerbestand zu kontrollieren und zu verwalten.	100%
2. Was ist die Aufgabe des Lagerverwalters?	Der Lagerverwalter ist für die Verwaltung des Lagerbestands verantwortlich.	100%
3. Welche Aufgaben hat der Lagerverwalter?	Der Lagerverwalter hat die Aufgabe, den Lagerbestand zu kontrollieren und zu verwalten.	100%
4. Welche Aufgaben hat der Lagerverwalter?	Der Lagerverwalter hat die Aufgabe, den Lagerbestand zu kontrollieren und zu verwalten.	100%
5. Welche Aufgaben hat der Lagerverwalter?	Der Lagerverwalter hat die Aufgabe, den Lagerbestand zu kontrollieren und zu verwalten.	100%
6. Welche Aufgaben hat der Lagerverwalter?	Der Lagerverwalter hat die Aufgabe, den Lagerbestand zu kontrollieren und zu verwalten.	100%
7. Welche Aufgaben hat der Lagerverwalter?	Der Lagerverwalter hat die Aufgabe, den Lagerbestand zu kontrollieren und zu verwalten.	100%
8. Welche Aufgaben hat der Lagerverwalter?	Der Lagerverwalter hat die Aufgabe, den Lagerbestand zu kontrollieren und zu verwalten.	100%
9. Welche Aufgaben hat der Lagerverwalter?	Der Lagerverwalter hat die Aufgabe, den Lagerbestand zu kontrollieren und zu verwalten.	100%
10. Welche Aufgaben hat der Lagerverwalter?	Der Lagerverwalter hat die Aufgabe, den Lagerbestand zu kontrollieren und zu verwalten.	100%



АКТУАЛЬНОСТЬ И ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Актуальность обусловлена большим объемом грузоперевозок в экстремальных природно-климатических условиях, что приводит к преждевременному выведению полуприцепов из эксплуатации по причине их разрушения.

Объект исследования: нормирование требований к технологическим процессам сварки высокопрочных сталей мягкими и комбинированными швами, а также к сварочным материалам, которые формируют качественное сварное соединение.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Цель: конструктивное и технологическое совершенствование сварных соединений лонжеронов рамы полуприцепа с учетом применения высокопрочных сталей.

Задачи:

1. Проанализировать применяемые марки стали и сварочные материалы, произвести оценку их свариваемости.
2. Обосновать возможность замены стали 09Г2С на высокопрочные стали и изменение толщины пояса балки лонжерона
3. Произвести расчет режимов сварки соединений
4. Исследовать напряженное состояние предлагаемых вариантов конструктивного решения сварных соединений

Polina INDUSTRY/INDUSTRIAL TUBE BEST PRACTICES



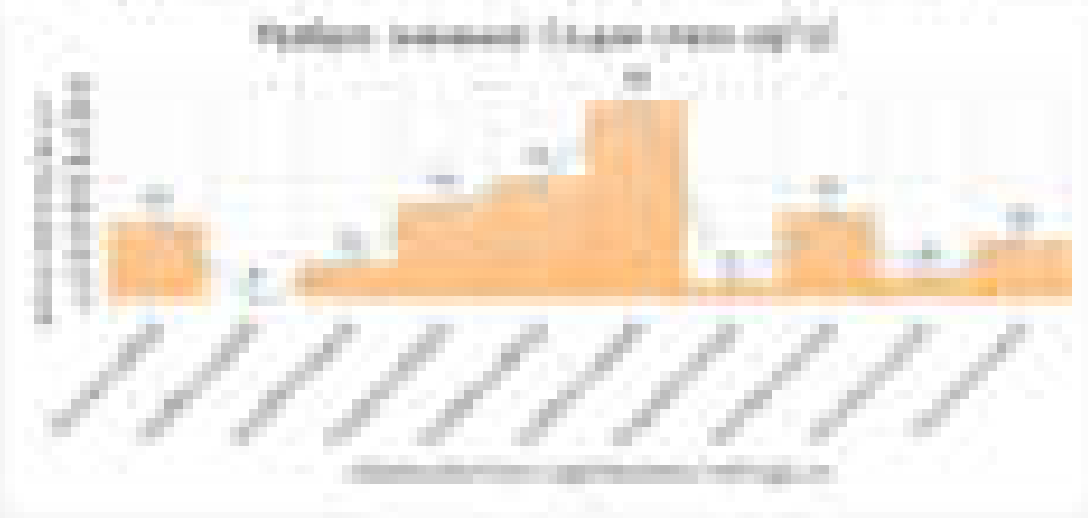
- 1 - Protective sleeve
- 2 - Pad
- 3 - Protective sleeve
- 4 - Protective sleeve
- 5 - Pad
- 6 - Protective sleeve



OPTIC

1970	1975	1980	1985	1990	1995
100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100
100	100	100	100	100	100
Investment in infrastructure		100	Investment in infrastructure		100
Investment in infrastructure		100	Investment in infrastructure		100

$C_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 C_{it-1} + \alpha_2 C_{it-2} + \alpha_3 C_{it-3} + \alpha_4 C_{it-4} + \alpha_5 C_{it-5} + \alpha_6 C_{it-6} + \alpha_7 C_{it-7} + \alpha_8 C_{it-8} + \alpha_9 C_{it-9} + \alpha_{10} C_{it-10} + \alpha_{11} C_{it-11} + \alpha_{12} C_{it-12} + \alpha_{13} C_{it-13} + \alpha_{14} C_{it-14} + \alpha_{15} C_{it-15} + \alpha_{16} C_{it-16} + \alpha_{17} C_{it-17} + \alpha_{18} C_{it-18} + \alpha_{19} C_{it-19} + \alpha_{20} C_{it-20} + \alpha_{21} C_{it-21} + \alpha_{22} C_{it-22} + \alpha_{23} C_{it-23} + \alpha_{24} C_{it-24} + \alpha_{25} C_{it-25} + \alpha_{26} C_{it-26} + \alpha_{27} C_{it-27} + \alpha_{28} C_{it-28} + \alpha_{29} C_{it-29} + \alpha_{30} C_{it-30} + \alpha_{31} C_{it-31} + \alpha_{32} C_{it-32} + \alpha_{33} C_{it-33} + \alpha_{34} C_{it-34} + \alpha_{35} C_{it-35} + \alpha_{36} C_{it-36} + \alpha_{37} C_{it-37} + \alpha_{38} C_{it-38} + \alpha_{39} C_{it-39} + \alpha_{40} C_{it-40} + \alpha_{41} C_{it-41} + \alpha_{42} C_{it-42} + \alpha_{43} C_{it-43} + \alpha_{44} C_{it-44} + \alpha_{45} C_{it-45} + \alpha_{46} C_{it-46} + \alpha_{47} C_{it-47} + \alpha_{48} C_{it-48} + \alpha_{49} C_{it-49} + \alpha_{50} C_{it-50} + \alpha_{51} C_{it-51} + \alpha_{52} C_{it-52} + \alpha_{53} C_{it-53} + \alpha_{54} C_{it-54} + \alpha_{55} C_{it-55} + \alpha_{56} C_{it-56} + \alpha_{57} C_{it-57} + \alpha_{58} C_{it-58} + \alpha_{59} C_{it-59} + \alpha_{60} C_{it-60} + \alpha_{61} C_{it-61} + \alpha_{62} C_{it-62} + \alpha_{63} C_{it-63} + \alpha_{64} C_{it-64} + \alpha_{65} C_{it-65} + \alpha_{66} C_{it-66} + \alpha_{67} C_{it-67} + \alpha_{68} C_{it-68} + \alpha_{69} C_{it-69} + \alpha_{70} C_{it-70} + \alpha_{71} C_{it-71} + \alpha_{72} C_{it-72} + \alpha_{73} C_{it-73} + \alpha_{74} C_{it-74} + \alpha_{75} C_{it-75} + \alpha_{76} C_{it-76} + \alpha_{77} C_{it-77} + \alpha_{78} C_{it-78} + \alpha_{79} C_{it-79} + \alpha_{80} C_{it-80} + \alpha_{81} C_{it-81} + \alpha_{82} C_{it-82} + \alpha_{83} C_{it-83} + \alpha_{84} C_{it-84} + \alpha_{85} C_{it-85} + \alpha_{86} C_{it-86} + \alpha_{87} C_{it-87} + \alpha_{88} C_{it-88} + \alpha_{89} C_{it-89} + \alpha_{90} C_{it-90} + \alpha_{91} C_{it-91} + \alpha_{92} C_{it-92} + \alpha_{93} C_{it-93} + \alpha_{94} C_{it-94} + \alpha_{95} C_{it-95} + \alpha_{96} C_{it-96} + \alpha_{97} C_{it-97} + \alpha_{98} C_{it-98} + \alpha_{99} C_{it-99} + \alpha_{100} C_{it-100} + \epsilon_{it}$



S. 1009(a)(1)

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%
2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
60%	55%	50%	45%	40%	35%	30%	25%
Transitional relief for pre-2018 debt			100%	Transitional relief for pre-2018 debt			100%
Transitional relief for pre-2018 debt			100%	Transitional relief for pre-2018 debt			100%

$$C_{2010} = 100\% \times \frac{100}{100} = 100\% \quad C_{2011} = 95\% \times \frac{100}{100} = 95\% \quad C_{2012} = 90\% \times \frac{100}{100} = 90\% \quad C_{2013} = 85\% \times \frac{100}{100} = 85\% \quad C_{2014} = 80\% \times \frac{100}{100} = 80\% \quad C_{2015} = 75\% \times \frac{100}{100} = 75\% \quad C_{2016} = 70\% \times \frac{100}{100} = 70\% \quad C_{2017} = 65\% \times \frac{100}{100} = 65\%$$

$$C_{2018} = 60\% \times \frac{100}{100} = 60\% \quad C_{2019} = 55\% \times \frac{100}{100} = 55\% \quad C_{2020} = 50\% \times \frac{100}{100} = 50\% \quad C_{2021} = 45\% \times \frac{100}{100} = 45\% \quad C_{2022} = 40\% \times \frac{100}{100} = 40\% \quad C_{2023} = 35\% \times \frac{100}{100} = 35\% \quad C_{2024} = 30\% \times \frac{100}{100} = 30\% \quad C_{2025} = 25\% \times \frac{100}{100} = 25\%$$

$$C_{2018} = 60\% \times \frac{100}{100} = 60\% \quad C_{2019} = 55\% \times \frac{100}{100} = 55\% \quad C_{2020} = 50\% \times \frac{100}{100} = 50\% \quad C_{2021} = 45\% \times \frac{100}{100} = 45\% \quad C_{2022} = 40\% \times \frac{100}{100} = 40\% \quad C_{2023} = 35\% \times \frac{100}{100} = 35\% \quad C_{2024} = 30\% \times \frac{100}{100} = 30\% \quad C_{2025} = 25\% \times \frac{100}{100} = 25\%$$

STONIC

QTY	UNIT	PRICE	QTY	UNIT	PRICE
1000	KG	1.20	1000	KG	1.20
1000	KG	1.20	1000	KG	1.20
1000	KG	1.20	1000	KG	1.20
1000	KG	1.20	1000	KG	1.20
Subtotal			Subtotal		
Total		4.80	Total		4.80
Grand Total		4.80	Grand Total		4.80

$$C_1 = \text{Kilogram} \times \frac{1.20}{1} + \text{Kilogram} \times \frac{1.20}{1} + \text{Kilogram} \times \frac{1.20}{1} + \text{Kilogram} \times \frac{1.20}{1} = 4.80 \text{ Kg}$$

$$C_2 = \text{Kilogram} \times \frac{1.20}{1} + \text{Kilogram} \times \frac{1.20}{1} + \text{Kilogram} \times \frac{1.20}{1} = 3.60 \text{ Kg}$$

$$C_3 = 1.20 + \frac{1.20}{1} + \frac{1.20}{1} = 3.60 \text{ Kg}$$

CB-0873E

01/19	02/19	03/19	04/19	05/19	06/19	07/19	08/19
1000	1000	0	1000	1000	1000	1000	1000
Administrative expenses - 1000/19			1000	Depreciation expense 1000/19			1000
Administrative expenses - 1000/19			10	Program administrative expenses 1000/19			1000

$$PVA = \frac{1000(1.02)^0 + 1000 + 100(1.02)^2 + 1000(1.02)^3 + 1000}{1.02 + 0.02} = 4,178$$

FRAN DE ARISTOCOD 12.5

12.5%	12.5%	12.5%	12.5%	12.5%	12.5%
10.00	0.00	0.00	10.00	10.00	0.00
Investimento inicial 100.000.000€		100	Investimento inicial 100.000.000€		100
Investimento inicial 100.000.000€		100	Investimento inicial 100.000.000€		100

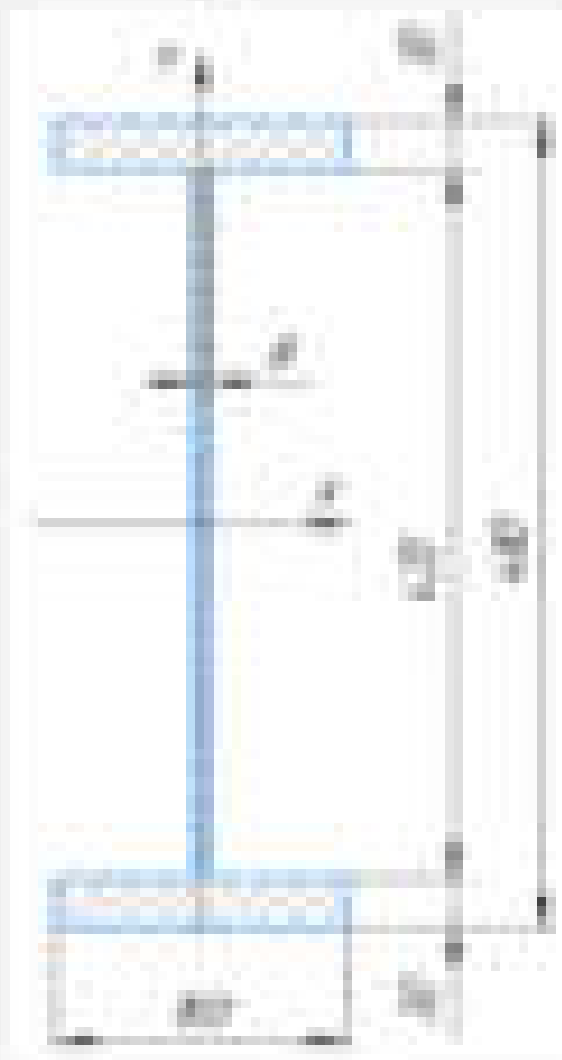
$$RCL = \frac{0,100000 + 0,0000 + 0,0000 - 10^0}{0 - 10} = 10$$

DATA ON AIRSTOCK 93

Q1'93	Q2'93	Q3'93	Q4'93	Q1'94	Q2'94	Q3'94	Q4'94
Inventory (units) beginning Q1'93			1000	Inventory (units) beginning Q1'94			1000
Inventory (units) end Q1'93			200	Inventory (units) end Q1'94			200

$$\Delta I_1 = \underbrace{0.000000 + 0.0000 + 0.7727 + 0.000000}_{I_1 = 0.7727} - 10^3 = -999.2273$$

CHARACTERISTIC STRENGTH



1. $A_{s, reqd} = A_{s, max}$ (Compression)

1. $A_{s, reqd} = A_{s, max}$ (Tension)
 $A_{s, reqd} = 8.38 \text{ mm}^2$

2. $A_{s, reqd} = A_{s, max}$ (Tension)
 $A_{s, reqd} = 8.38 \text{ mm}^2$

3. $A_{s, reqd} = A_{s, max}$ (Tension)
 $A_{s, reqd} = 8.42 \text{ mm}^2$

4. $A_{s, reqd} = A_{s, max}$ (Tension)
 $A_{s, reqd} = 8.36 \text{ mm}^2$

CONCENTRATION: SELF-DEFINITION

The image shows a software interface with two windows side-by-side. Each window has a header bar and a main content area. The main content area of each window contains a grid of data. Below the windows is a 4x4 grid of buttons, each with a numerical value.

Window	Header	Content
Left
Right

1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890

PERENCANAAN COA/FIS

No	Kategori	Kode	Uraian	Kategori	Kode	Uraian	Kategori	Kode	Uraian
----	----------	------	--------	----------	------	--------	----------	------	--------

No	Kategori	Kode	Uraian	Kategori	Kode	Uraian	Kategori	Kode	Uraian
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ

Таблица 1. Оборудование для сварки



№ п/п	Наименование	Единица измерения	Количество
1	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
2	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
3	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
4	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
5	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
6	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
7	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
8	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
9	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
10	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
11	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
12	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
13	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
14	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
15	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
16	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
17	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
18	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
19	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
20	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
21	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
22	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
23	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
24	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
25	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
26	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
27	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
28	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
29	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
30	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
31	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
32	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
33	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
34	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
35	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
36	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
37	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
38	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
39	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
40	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
41	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
42	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
43	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
44	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
45	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
46	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
47	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
48	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
49	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1
50	Сварочный аппарат для сварки	шт.	1

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ

ОБОРУДОВАНИЕ



Напряжение питания, В	220 В
Средняя потребляемая мощность, кВт	10,5 (10,0/11,0)
Средняя потребляемая сила тока, А	48 (45/52)
Масса, кг	8
Габаритные размеры, мм	150x150x150

ОБЪЕМНЫЕ РАДИОПОРИНОСТИ ГРАФИТА С ТИПИЧНОГО СОСТАВИТЕЛЯ



- $V_1 = 27 \text{ \AA}^3$
- $V_2 = 18 \text{ \AA}^3$
- $\rho_{\text{теор}} = 2260 \text{ кг/м}^3$
- $\rho_{\text{теор}} = 2260 \text{ кг/м}^3$
- $V_3 = 187 \text{ \AA}^3$

V_1 — объем элементарной ячейки
 V_2 — объем элементарной ячейки
 V_3 — объем элементарной ячейки



$$V_3 = \frac{27 \cdot 2260 + 18 \cdot 2260}{2260} = 45 \text{ \AA}^3$$

ОБЪЕМНЫЕ РАДИОПОМОЩИ СВЯЗНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО СОЛЖИТЕЛИ



- $F_1 = 1000 \text{ мВатт}$
- $F_2 = 1000 \text{ мВатт}$
- $g_{F1} = 100 \text{ дБд}$
- $g_{F2} = 100 \text{ дБд}$
- $g_{F3} = 100 \text{ дБд}$
- $g_{F4} = 100 \text{ дБд}$

Пример: рассчитать среднюю мощность сигнала в радиусе связи $R_{св}}$

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{4} = \frac{1000 + 1000 + 1000 + 1000}{4} = 1000 \text{ мВатт}$$

Пример: рассчитать среднюю мощность сигнала в радиусе связи $R_{св}}$

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{4} = \frac{1000 + 1000 + 1000 + 1000}{4} = 1000 \text{ мВатт}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ ШВА ТАВРОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

$$\begin{aligned}
 \sigma_T &= 290 + 1660 \cdot C + 164 \cdot Mn + 17,4 \cdot Si + 103 \cdot Cr + 190 \cdot Mo + 92 \cdot Ni + 324 \cdot V - 120 \\
 &\cdot Ti - 90 \cdot Al - 32 \cdot Nb + 13 \cdot W + 40 \cdot Cu + 960 \cdot Zr - 1200 \cdot P + 1740 \cdot N - 110 \cdot O \\
 &- 32,3 \cdot C \cdot Mn + 712 \cdot C \cdot Si + 291 \cdot C \cdot Ni + 470 \cdot C \cdot V - 24,1 \cdot Mn \cdot Ni + 65,1 \cdot Si \cdot Cr \\
 &- 64,2 \cdot Si \cdot Ni + 201 \cdot Si \cdot V - 24 \cdot Mo \cdot Ni - 59,2 \cdot Mo \cdot V + 15,3 \cdot Ni \cdot V - 161 \cdot C^2 - 31,3 \\
 &\cdot Mn^2 - 15 \cdot Mo^2 - 4,5 \cdot Ni^2 - 275 \cdot V^2 - (27,5 + 350 \cdot C + 4,1 \cdot Mn + 4,3 \cdot Cr + 3,4 \cdot Mo \\
 &+ 2,2 \cdot Ni + 6,6 \cdot V) \cdot \ln(300/W_{\text{охл}})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_T &= 290 + 1660 \cdot 0,08 + 164 \cdot 2 + 17,4 \cdot 0,8 + 103 \cdot 0,2 + 92 \cdot 0,25 + 40 \cdot 0,25 - 1200 \cdot 0,03 \\
 &- 32,3 \cdot 0,08 \cdot 2 + 712 \cdot 0,08 \cdot 0,8 + 291 \cdot 0,08 \cdot 0,25 - 24,1 \cdot 2 \cdot 0,25 + 65,1 \cdot 0,8 \cdot 0,2 \\
 &- 64,2 \cdot 0,8 \cdot 0,25 - 161 \cdot 0,08^2 - 31,3 \cdot 2^2 - 4,5 \cdot 0,25^2 \\
 &- (27,5 + 350 \cdot 0,08 + 4,1 \cdot 2 + 4,3 \cdot 0,2 + 2,2 \cdot 0,25) \cdot \ln(300/30) = 602,3 - 67,1 \cdot 2,4 \\
 &= 440 \text{ МПа}
 \end{aligned}$$

ПЛАН ЕКСПЕРИМЕНТА

№	Тема	Време	Место
1	Въведение	10	101
2	Въведение	10	101
3	Въведение	10	101
4	Въведение	10	101
5	Въведение	10	101
6	Въведение	10	101
7	Въведение	10	101
8	Въведение	10	101
9	Въведение	10	101
10	Въведение	10	101
11	Въведение	10	101

СЪЕМА ТАМПОНИЦИ СЪБИТИИТЕ

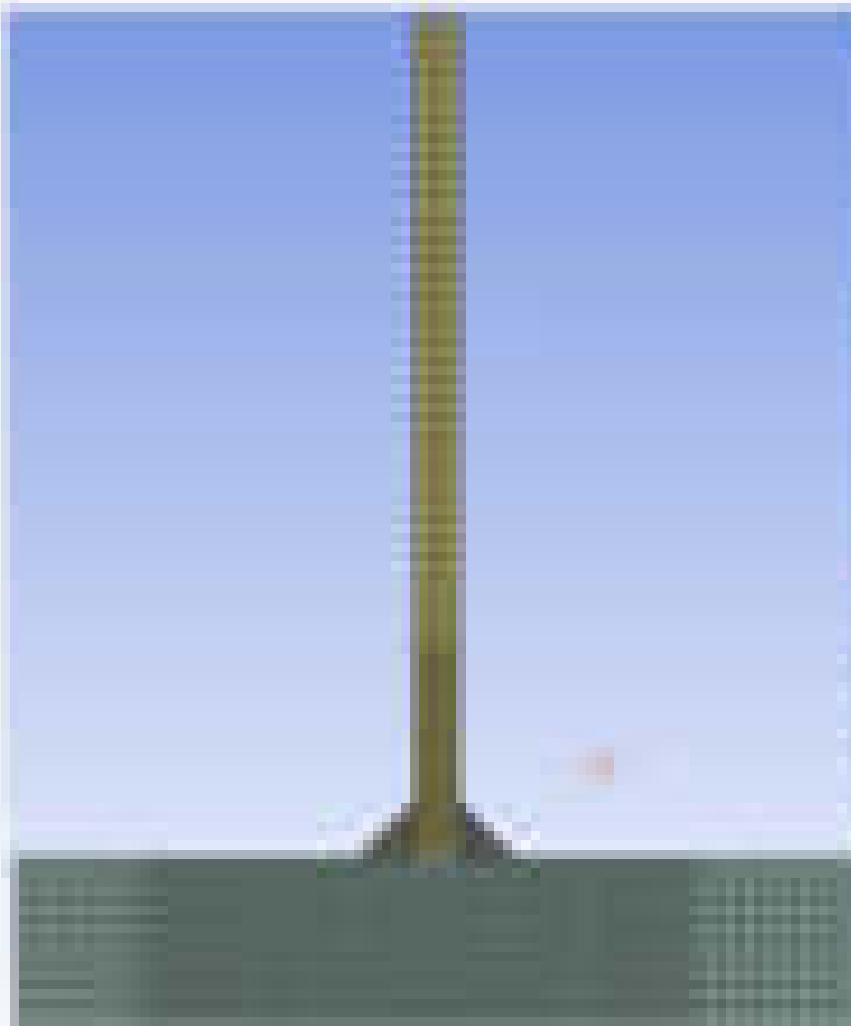


- A. Главен вентил с протекционен механизъм (10, 12, 15 cm)
- B. Съединителен вентил (10 cm)
- C. Съединителен вентил

EXEMPLE GRAPHIQUE N1008



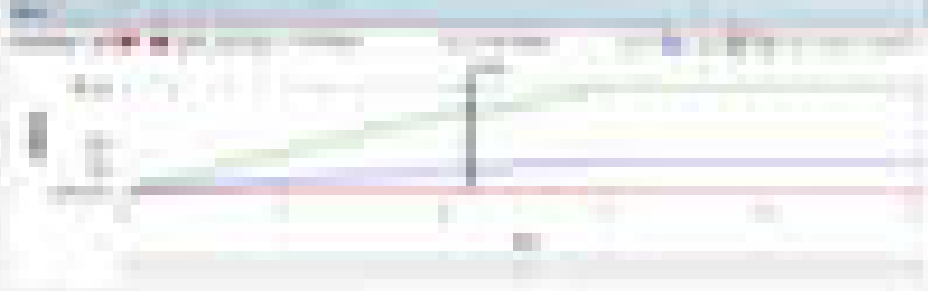
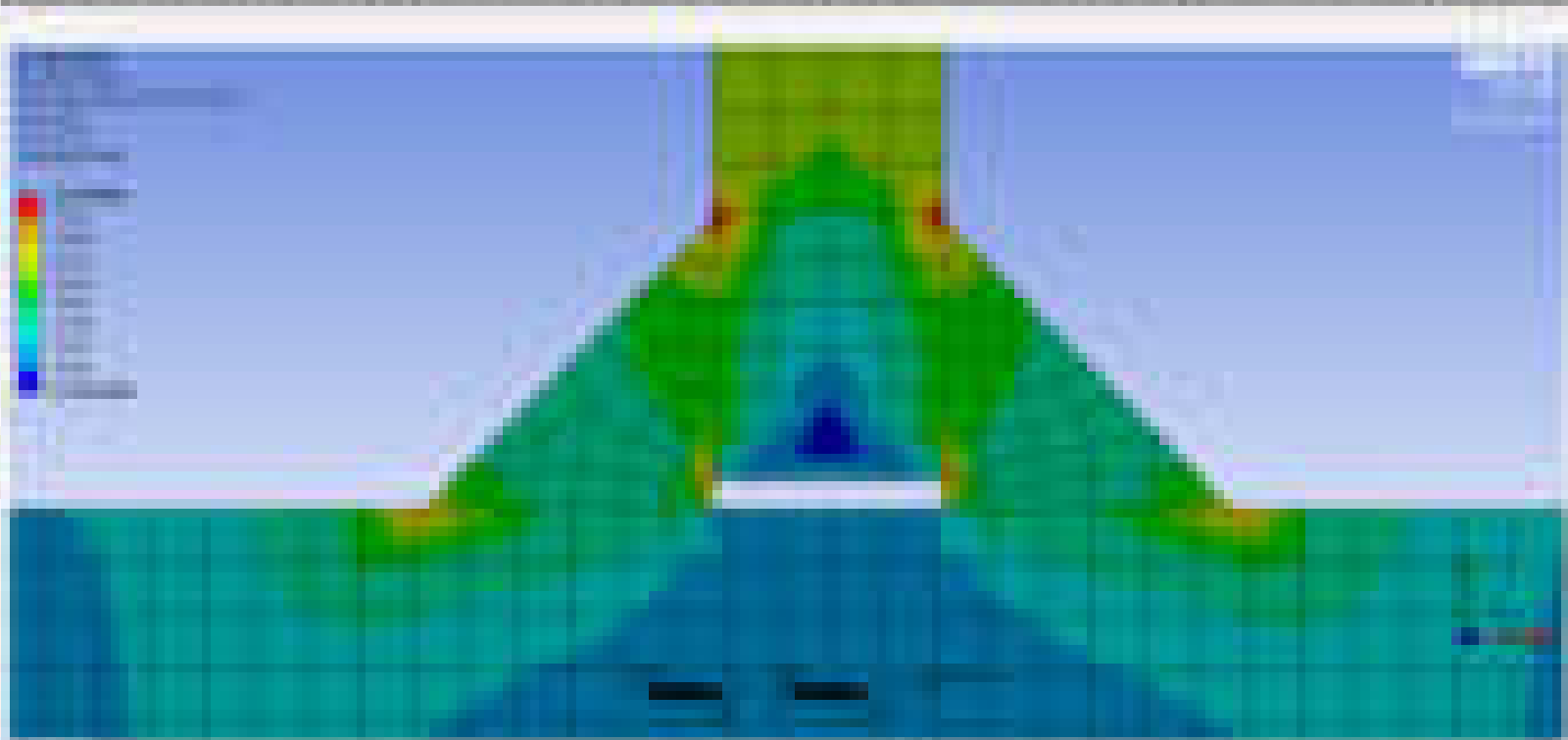
СЕТКА И СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛИ



№	Свойства
1	Свойства
2	Свойства
3	Свойства
4	Свойства
5	Свойства
6	Свойства
7	Свойства
8	Свойства

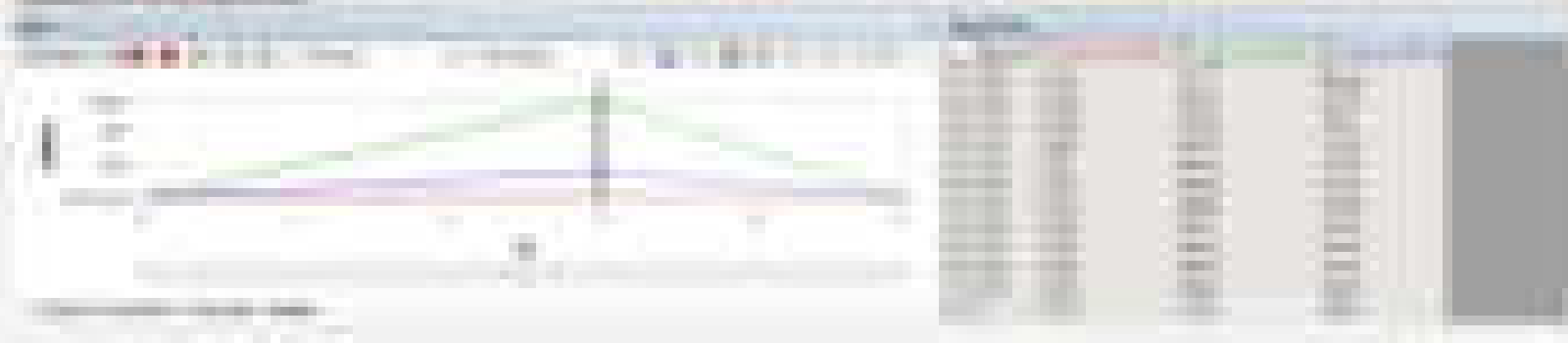
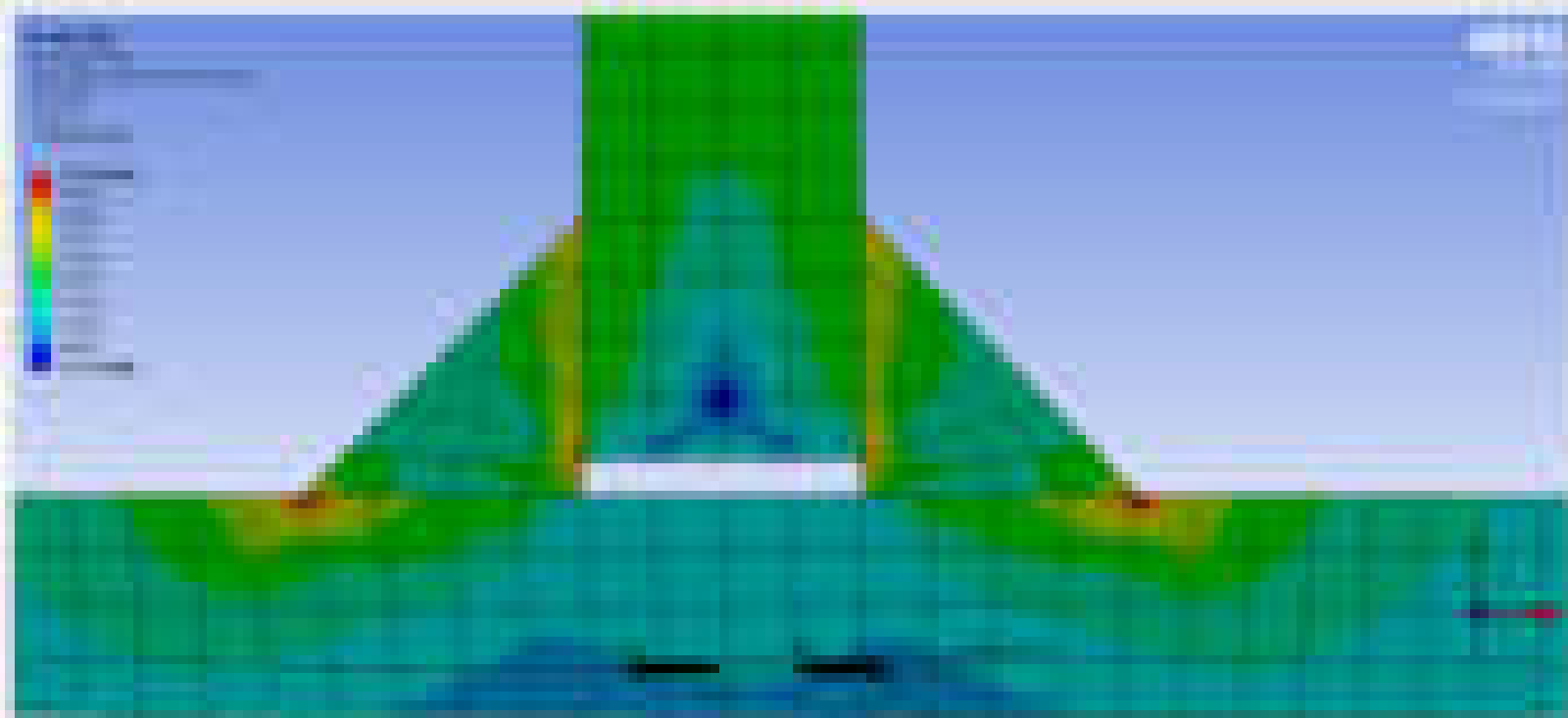
- Свойства
- Свойства
- Свойства
- Свойства

НАПРАВЛЕНИЕ КОТОРОЙ СЕРВИС 100-30010

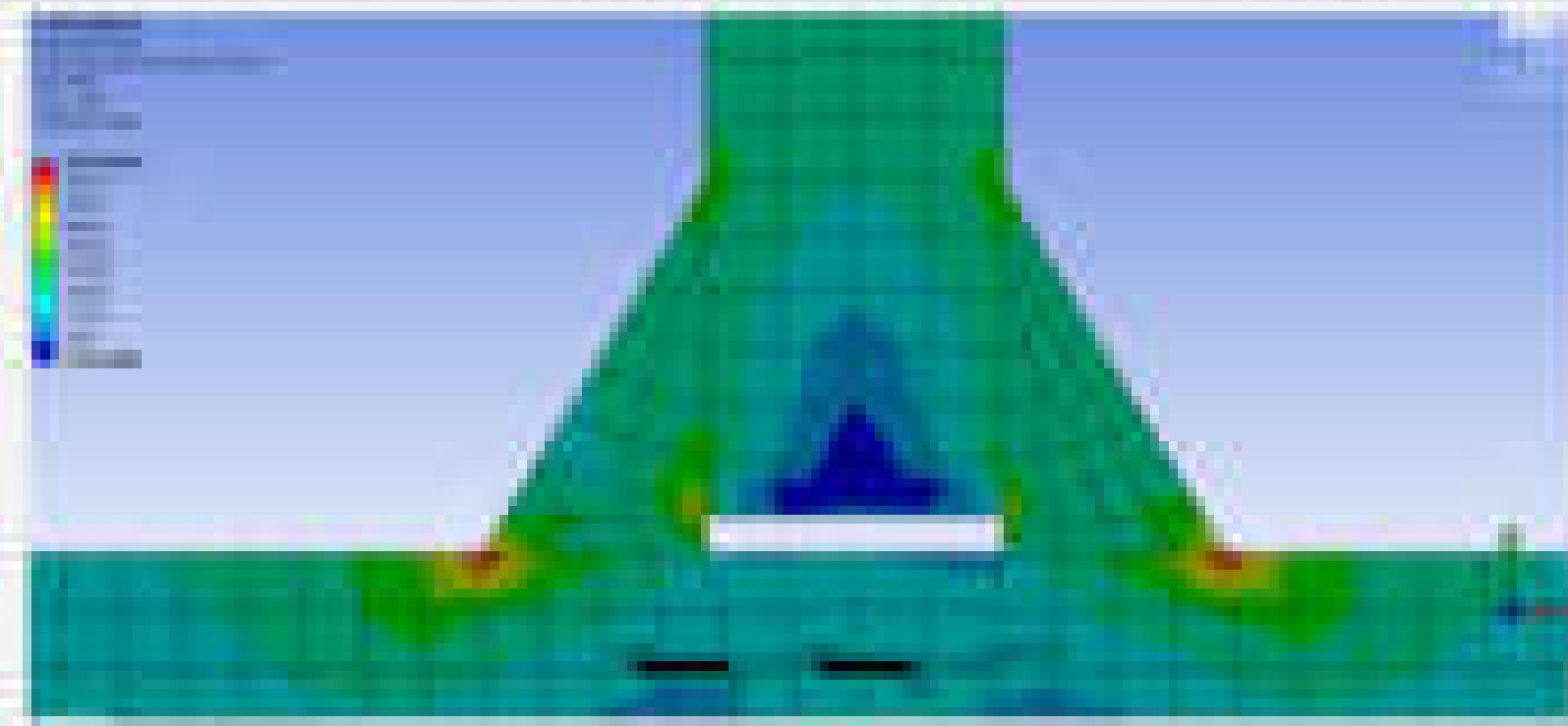


№	Имя	Возраст	Пол	Уровень
1	Иванов	25	М	1
2	Петров	30	М	2
3	Сидоров	35	М	3
4	Климов	40	М	4
5	Куликов	45	М	5
6	Леонов	50	М	6
7	Михайлов	55	М	7
8	Новиков	60	М	8
9	Осипов	65	М	9
10	Попов	70	М	10
11	Рябов	75	М	11
12	Смирнов	80	М	12
13	Тихонов	85	М	13
14	Федотов	90	М	14
15	Харьков	95	М	15
16	Цыганов	100	М	16
17	Чайков	105	М	17
18	Шаров	110	М	18
19	Щербаков	115	М	19
20	Юрьев	120	М	20
21	Яковлев	125	М	21
22	Зайцев	130	М	22
23	Козлов	135	М	23
24	Королев	140	М	24
25	Лебедев	145	М	25
26	Лыткин	150	М	26
27	Морозов	155	М	27
28	Мухоморов	160	М	28
29	Новоселов	165	М	29
30	Овчинников	170	М	30
31	Павлов	175	М	31
32	Панов	180	М	32
33	Полухин	185	М	33
34	Романов	190	М	34
35	Савельев	195	М	35
36	Селезнев	200	М	36
37	Соловьев	205	М	37
38	Степанов	210	М	38
39	Ткачев	215	М	39
40	Тютчев	220	М	40
41	Устинов	225	М	41
42	Филиппов	230	М	42
43	Фролов	235	М	43
44	Харин	240	М	44
45	Хохлов	245	М	45
46	Цыганов	250	М	46
47	Чайков	255	М	47
48	Шаров	260	М	48
49	Щербаков	265	М	49
50	Юрьев	270	М	50
51	Яковлев	275	М	51
52	Зайцев	280	М	52
53	Козлов	285	М	53
54	Королев	290	М	54
55	Лебедев	295	М	55
56	Лыткин	300	М	56
57	Морозов	305	М	57
58	Мухоморов	310	М	58
59	Новоселов	315	М	59
60	Овчинников	320	М	60
61	Павлов	325	М	61
62	Панов	330	М	62
63	Полухин	335	М	63
64	Романов	340	М	64
65	Савельев	345	М	65
66	Селезнев	350	М	66
67	Соловьев	355	М	67
68	Степанов	360	М	68
69	Ткачев	365	М	69
70	Тютчев	370	М	70
71	Устинов	375	М	71
72	Филиппов	380	М	72
73	Фролов	385	М	73
74	Харин	390	М	74
75	Хохлов	395	М	75
76	Цыганов	400	М	76
77	Чайков	405	М	77
78	Шаров	410	М	78
79	Щербаков	415	М	79
80	Юрьев	420	М	80
81	Яковлев	425	М	81
82	Зайцев	430	М	82
83	Козлов	435	М	83
84	Королев	440	М	84
85	Лебедев	445	М	85
86	Лыткин	450	М	86
87	Морозов	455	М	87
88	Мухоморов	460	М	88
89	Новоселов	465	М	89
90	Овчинников	470	М	90
91	Павлов	475	М	91
92	Панов	480	М	92
93	Полухин	485	М	93
94	Романов	490	М	94
95	Савельев	495	М	95
96	Селезнев	500	М	96
97	Соловьев	505	М	97
98	Степанов	510	М	98
99	Ткачев	515	М	99
100	Тютчев	520	М	100

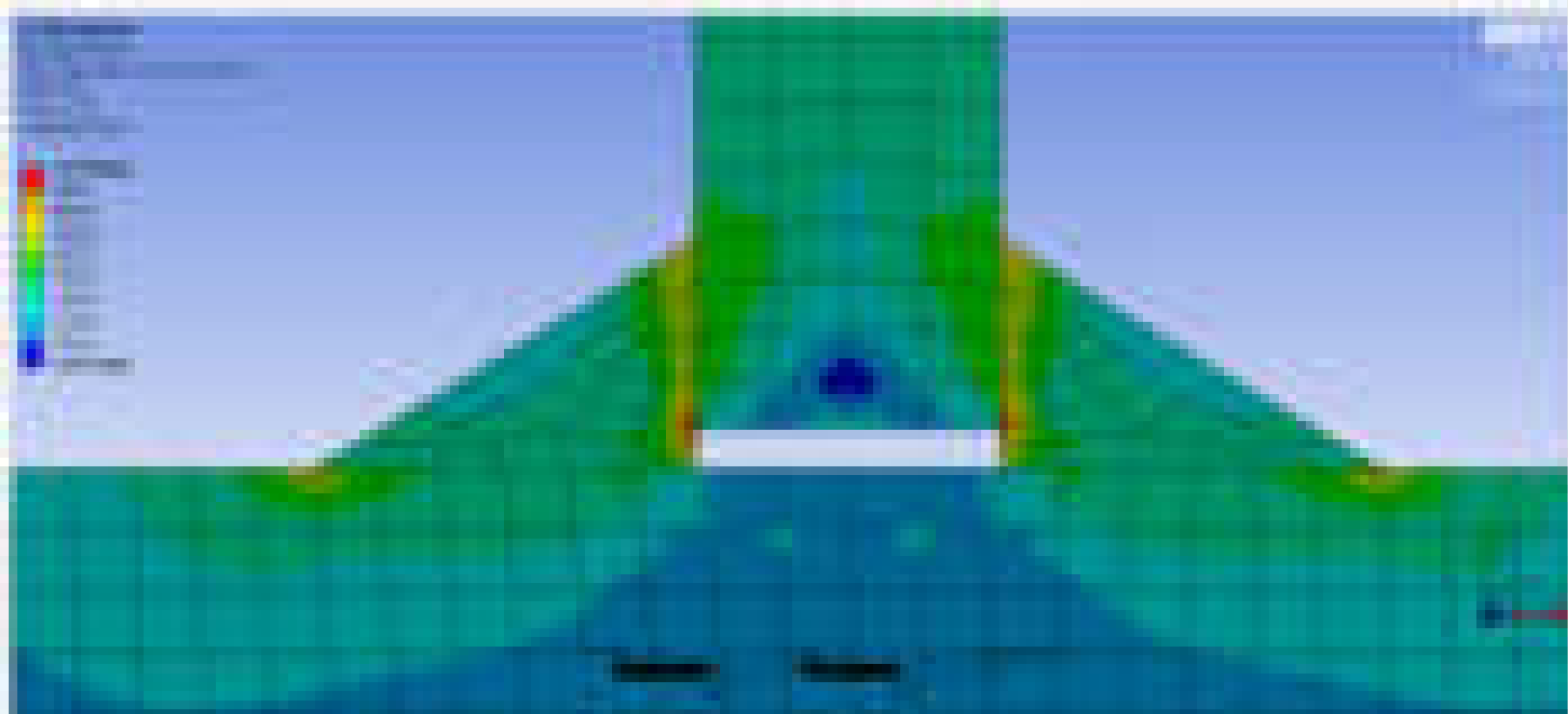
INDEPENDENT CUSTOMER DEFECTS



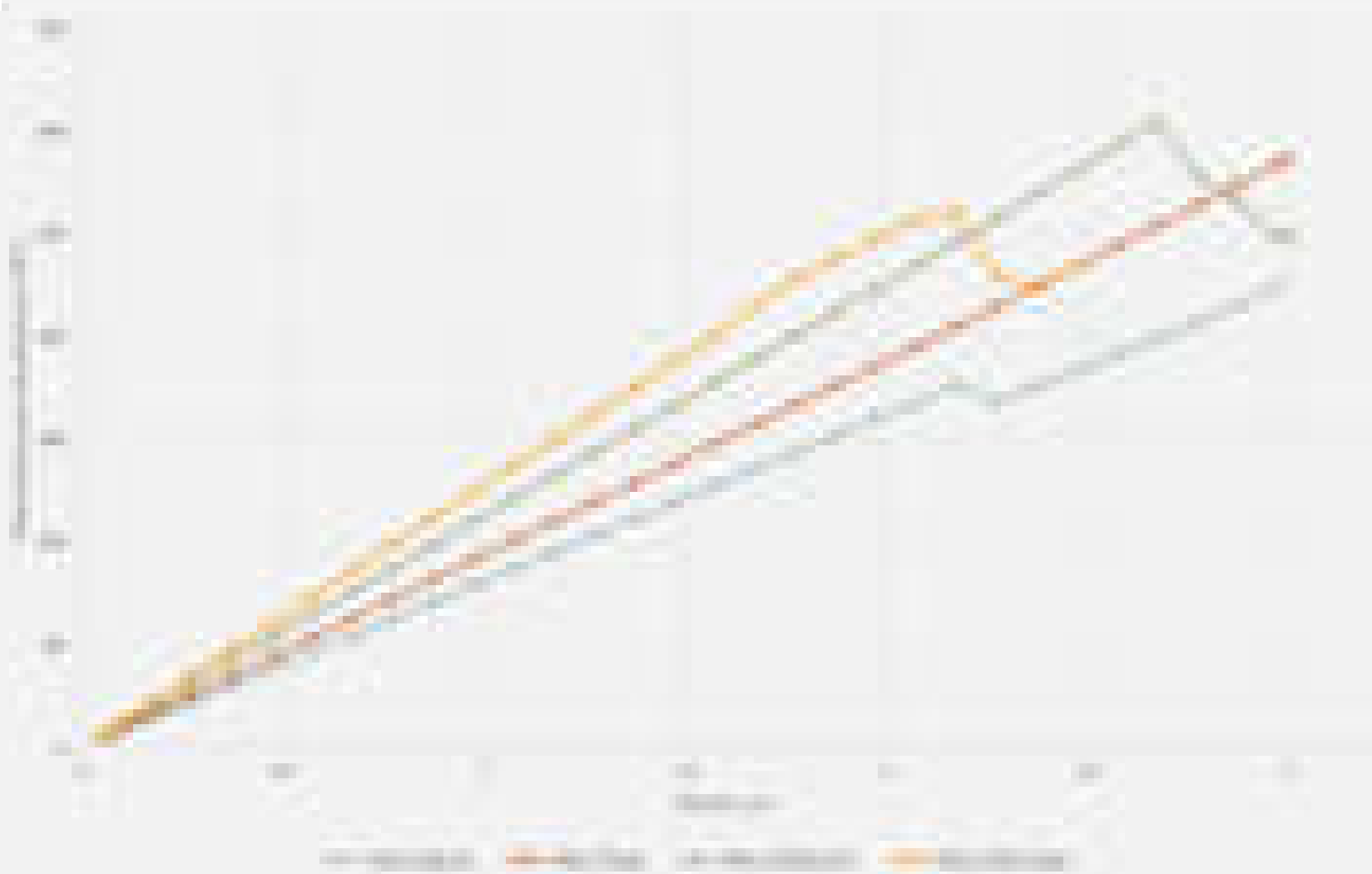
HAZARDOUS DOCTHINE DEPARTIA SIG-1562001



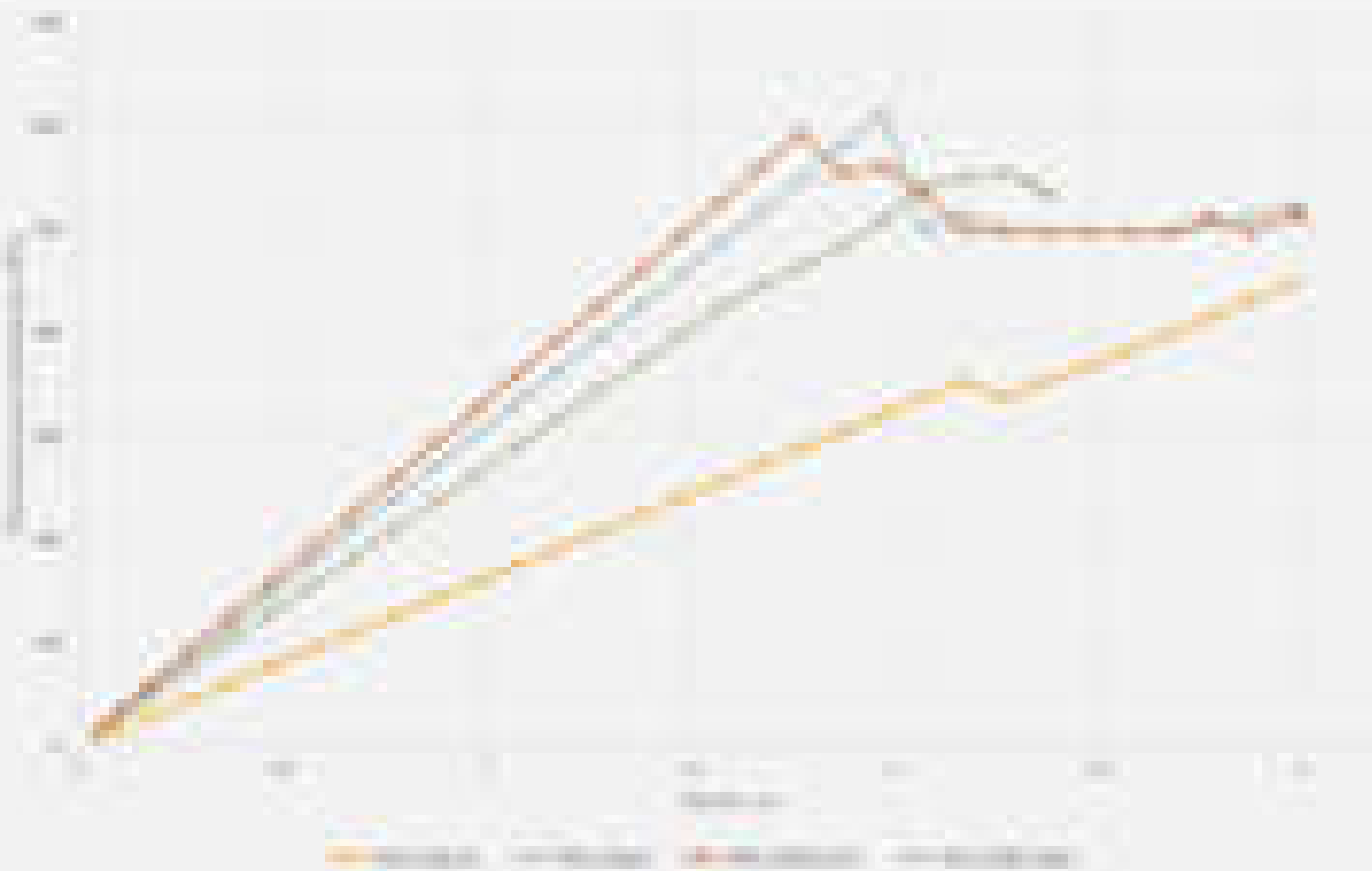
HAIRPACIFICIDE DOCTORINNE DEPARTILA 500-25015X



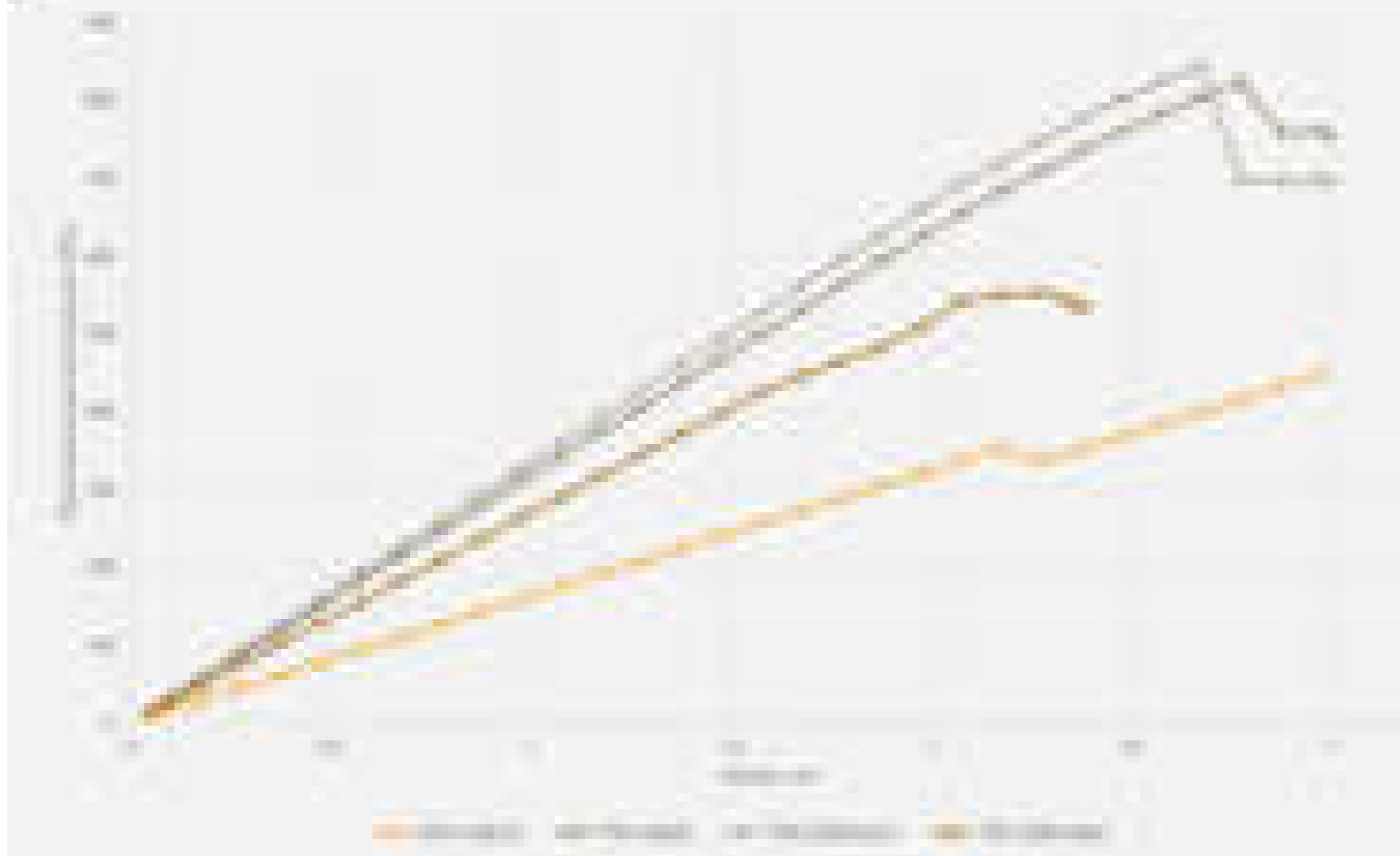
РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ЭКСПЕРИМЕНТА



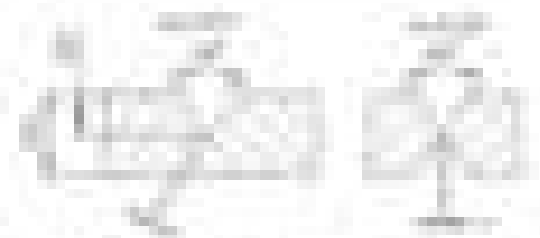
РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО И ТРЕТЬЕГО ЭКСПЕРИМЕНТА



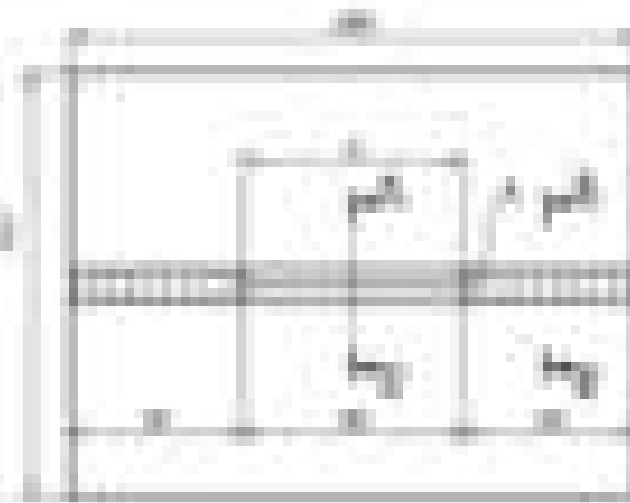
РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО И ТРЕТЬЕГО ЭКСПЕРИМЕНТА



DEPARTMENTAL/TEAM OFFICE CHAIR/MOUTH CLASS ROOM

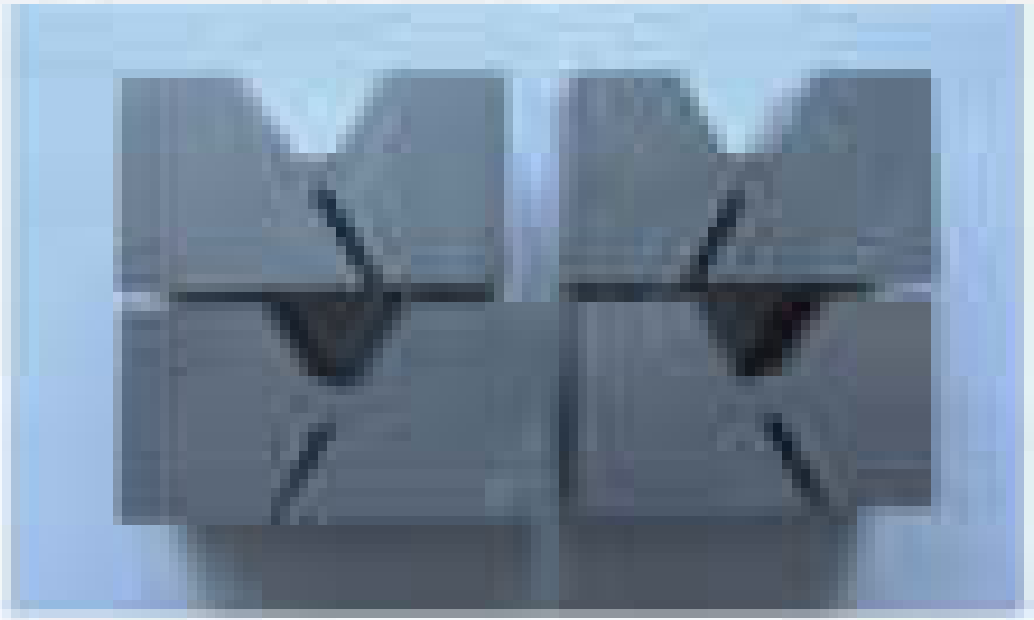


DEPARTMENTAL/TEAM OFFICE CHAIR ROOM



CHAIR/MOUTH CLASS ROOM
DEPARTMENTAL/TEAM OFFICE CHAIR ROOM
DEPARTMENTAL/TEAM OFFICE CHAIR ROOM

Kategori	Kategori		Kategori	
	Sub-kategori	Sub-kategori	Sub-kategori	Sub-kategori
1	1.1	1.2	1.3	1.4
2	2.1	2.2	2.3	2.4
3	3.1	3.2	3.3	3.4
4	4.1	4.2	4.3	4.4



Energy profile	Energy object	Temperature level	
		Energy	Power
1	1	1	1
	2	2	2
	3	3	3
	4	4	4
2	5	5	5
	6	6	6
	7	7	7
	8	8	8
3	9	9	9
	10	10	10
	11	11	11
	12	12	12
4	13	13	13
	14	14	14
	15	15	15
	16	16	16

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По полученным данным рекомендуется, изготавливать балки лонжерона рамы полуприцепа лесовоза из высокопрочной стали S500MC толщиной 25 мм с наложением равнокатетного шва 8 мм мягкой сварочной проволокой.

Заводскую сварку стали S500MC толщиной 25 можно вести без предварительного подогрева в широком диапазоне погонных энергий.

Использование стали S500MC повышает прочность лонжерона на 17-25 %, при этом его изгибная жесткость находится в пределах нормативных требований, что может повысить срок службы лесовоза.

Рекомендуемые конструктивно-технологические решения лонжерона позволили уменьшить вес полуприцепа на 150-270 кг, в зависимости от модели лесовоза, а также увеличить максимальную массу груза для перевозок, уменьшить расход топлива и, как следствие, снизить пагубное влияние на окружающую среду.

Также в будущем будет актуально исследовать балки лонжеронов с толщиной поясов в интервале от 25 до 20 мм.