

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1. АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	13
1.1 Конструкция узла и особенности изготовления.....	13
1.2 Распространенность данного и схожих конструктивных решений.	16
1.3 Уменьшение трудоёмкости изготовления.	18
1.4 Предварительный анализ работы узла.	19
1.5 Цель и задачи исследования.	20
2. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ УЗЛА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS.....	22
2.1 Проектирование эксперимента с учетом имеющихся лабораторно-технических возможностей.	22
2.2 Создание геометрической модели.	24
2.3 Импортирование полученной геометрии в расчетный комплекс ANSYS Mechanical, и выбор настроек расчета.	26
2.4 Выбор оптимальной сетки конечных элементов.....	27
2.5 Анализ полученных результатов на примере одного из сочетаний.....	27
3. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НА ДЕФОРМАЦИИ.....	34
3.1 Проведение большого количества расчетов с различными параметрами..	34
3.2 Поверхности отклика.	37
3.3 Вывод из полученных результатов.....	39
4. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	41
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	42

					АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ ВКР	Лист
						8
		№ докум.	Подпись	Дата		

					<i>АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						9
		<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы индустрия стальных строительных конструкций резко изменилась, что связано с внедрением новых систем проектирования. За какие-то два десятилетия с рабочих мест конструкторов и проектировщиков исчезли кульманы. Резко возросла скорость подготовки проектной документации.

В связи с появлением систем информационного проектирования количество использованных в сложных проектах универсальных, унифицированных узлов резко снизилось. Раньше даже в уникальных зданиях старались использовать регулярные решения конструкций, подразумевающие повторение одних и тех же принципов во многих узлах и элементах. Сегодня же, когда проектирование происходит в режиме реального времени, появляются изощёренные архитектурные формы, которые невозможно разрешить в регулярной композиции. Так и появляются сложные сочленения нескольких элементов в одном пространственном узле.

В современных условиях всё меньше времени остаётся на принятие решения о прочности узла. Если в типовом проекте промышленного здания можно было воспользоваться узлом из серии, в котором нет сомнений, для которого есть ясный расчёт. То в уникальном сооружении, в силу сложной геометрии приходится изобретать узел заново. Если учесть, что моделирование узла и создание чертежей теперь не требуется много времени, то становится понятно почему в спешке принимаются более простые для расчета, но сложные для изготовления решения. Такие узлы чаще всего не оптимальны как с точки зрения прочности, так и с точки зрения технологичности. Для уменьшения материалоемкости и трудоемкости, а соответственно и времени изготовления и поставки конструкций на стройплощадку, требуется производить дополнительные уточняющие расчеты.

В связи с тем, что расчёт узлов стальных конструкций выходит за рамки науки о сопротивлении материалов, его требуется производить с помощью

					<i>АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						10
		<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

теории упругости. Строительные нормы на стальные конструкции не предусматривают расчётов в рамках теории упругости. Такие расчеты сложны и требуют использования тяжёлых программных комплексов.

Вопрос расчета узлов металлических конструкций стоит очень остро. Придумывая новый тип узла или изменяя уже имеющийся, проектировщик должен убедиться в прочности конструктивного решения, но за теоретическим обоснованием он может обратиться, пожалуй, только к СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции».

За исключением пары пунктов в СП [1] ничего не сказано о применении расчетных комплексов. Кроме того, все имеющиеся упоминания относятся к стержневым моделям здания целиком.

Кроме СП [1] существуют Пособие к СНиП II-23-81 «Пособие по проектированию стальных конструкций», в котором рассмотрены вопросы расчёта некоторых узлов и соединений. Оно утратило свою нормативную силу и может использоваться в качестве справочной литературы.

Таким образом перед проектировщиком становится выбор:

- выбирать проверенные временем решения (часто невозможно)
- упрощать разрабатываемый узел до рамок сопротивления материалов (самый надежный и иногда даже выигрышный вариант)
- закладывать ничем не обоснованные коэффициенты запаса (самый простой и опасный вариант)
- надеяться на интуицию и опыт проектирования (доступный лишь единицам вариант)

Безусловно многие проектировщики знают о программах численного моделирования, и даже пользуются ими в расчетах узлов. Но часто такие расчеты не имеют ничего общего с реальной работой конструкции. Кроме того, результаты даже хорошо составленной расчетной модели необходимо правильно интерпретировать. А как это сделать если нет никаких методик?

Большой вклад в развитие численного моделирования механики деформируемого твердого тела внесли машиностроители. В работах машиностроителей можно найти много полезной информации о работе «тяжелых» программных комплексов.

Наилучшим вариантом развития событий на фронте расчета узлов металлических конструкций видится создание методических указаний, дополняющих основные нормативы. Подобная возможность появилась не так давно и является очень перспективной.

Кроме то обязательно следует отметить что узлы конструкций являются зоной большей ответственности нежели остальные части конструкции. Именно в узлах наблюдается концентрация напряжений с следствие резкого изменения геометрии. А также максимальные внутренние усилия при рамных конструктивных схемах.

					<i>АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						12
		<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Конструкция узла и особенности изготовления.

Объектом изучения был выбран узел перелома сварной двутавровой балки. Этот узел максимально прост и имеет минимальное количество частей. Узел представляет собой сочленение одного и того же сечения балки с переломом нейтральной оси. (см.рис.1.1)

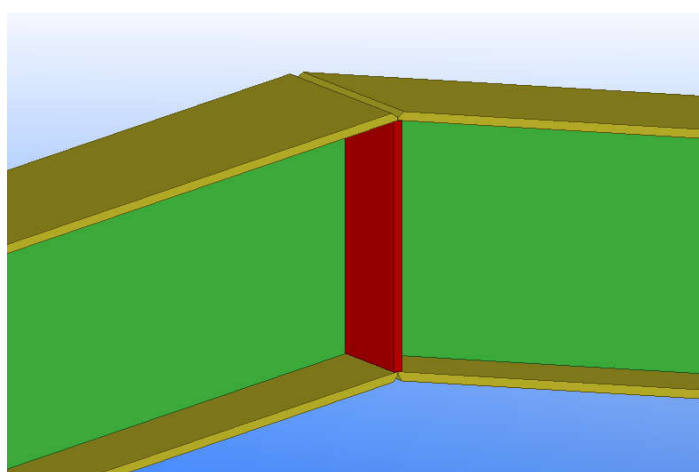


Рисунок 1.1 Общий вид узла

Таким образом планируется получить навыки и разработать методики работы с «тяжелыми» программными комплексами на базе простейшего узла.

Следует отметить обязательное наличие ребра жесткости находящегося в месте перелома. Его предназначение состоит в том, чтобы не дать полками двутавра изменить свое положение относительно стенки. И здесь имеет место не вопрос потери устойчивости, а вопрос сопротивления усилиям в полках. Расчет швов приварки ребра к стенке двутавра можно произвести по методике, разработанной БЭПТД АО «ЧЗМК» специально для конструирования подобных соединений в проекте стадиона «Динамо» в г. Москве. (см. Приложение 1.)

					<i>АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
		<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

Изготовление данного узла очень трудозатратно и в первую очередь это связано с полным проваром в стыковом шве поясов балки. Поскольку при изгибе основные нормальные напряжения сосредоточены в поясах двутавра возникает необходимость выполнить соединение по равнопрочности основному сечению.

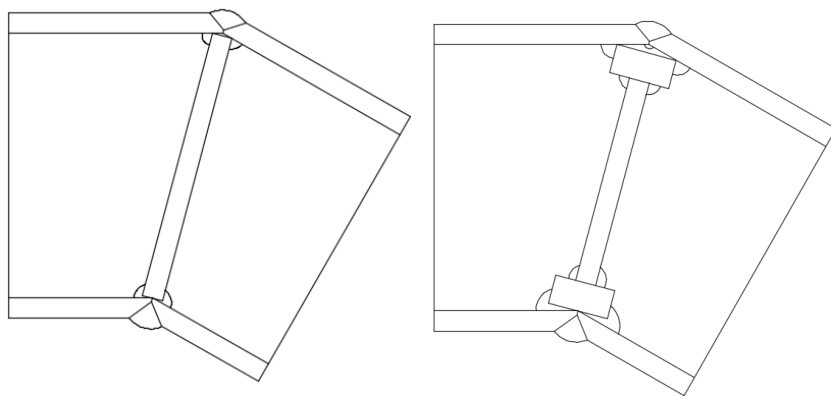


Рисунок 1.2 Использование бобышки для разнесения сварных швов

Перечень технологических операций:

1. Подготовка деталей в цехе механической обработки
 - а. вырезание элементов из листового металла необходимой формы и размеров
 - б. образование фасок на торцах деталей полок
2. Сборка деталей (первая операция)
 - а. сплочение прихваточными швами отдельных деталей полок и стенки
 - б. установка выводных планок в месте стыкового шва с полным проваром
 - в. создание дополнительного каркаса жесткости вокруг элементов с целью предотвращения нежелательных деформаций в процессе перемещения и сварки.
3. Перемещение на место сварки

		№ докум.	Подпись	Дата

АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ

Лист

14

Сварка с полным проваром (пункт 4б) является главным технологическим затруднением, поскольку выполняется при помощи выводных планок и требует контроля качества шва. УЗК выявляет небольшие дефекты в сварном шве, если их концентрация или размер больше нормируемых, то шов подлежит реконструированию. Поскольку сварка выполняется полуавтоматическим способом, качество напрямую зависит от профессионализма рабочего. Время работы высококвалифицированного персонала является основным ценообразующим фактором на производстве.

При реконструкции прибегают к полному или частичному удалению наплавленного металла угольным электродом, и повторному наложению сварного шва. Естественно, что при неоднократном воздействии сварочных температур материал в околошовной зоне закаляется, что невозможно проконтролировать и несоизмеримо сложно исправить.

1.2 Распространенность данного и схожих конструктивных решений.

Узлы перелома двутавровых балок не редкость и встречаются повсеместно. Одним из наглядных примеров может послужить коньковый узел рамы цеха. (см.рис.1.3)



Рисунок 1.3 Двутавровая рама

		№ докум.	Подпись	Дата

АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ

Лист

16

Данный тип узла можно распространить на двутавровые балки, в которых перелом происходит не в двух поясах одновременно, а в одном, с изменением высоты сечения. (см.рис.1.4) Принцип работы пояса и ребра в этом случае почти не отличаются от рассматриваемого, и характеризуются усилием в поясе.



Рисунок 1.4 Подкрановая балка с переломом пояса

Расположение такого перелома в конструкциях может быть любым, но принцип работы почти всегда один и тот же.



Рисунок 1.5 Перелом поясов с целью увеличения высоты сечения

в. создание дополнительного каркаса жесткости вокруг элементов с целью предотвращения нежелательных деформаций в процессе перемещения и сварки.

3. Перемещение на место сварки

4. Сварка

а. сварка поясных швов двутавра угловыми швами ТЗ согласно [3]

б. Приварка ребра угловыми швами ТЗ согласно [3]

Таким образом число операций уменьшено вдвое. А самое главное удален контролируемый шов с полным проваром. Конструкция из разряда очень трудоёмких перешла в разряд типовых.

1.4 Предварительный анализ работы узла.

Представленный в предыдущем разделе вариант улучшения технологии не нов и регулярно применяется. Однако область применения такого решения не определена. Очевидно, что криволинейный участок полки испытывает не простое растяжение или сжатие, а внецентренное. В случае если длина дуги мала и уместается в пределах толщины ребра, то никаких дополнительных расчетов не требуется, и работа узла не отличается от сварного варианта. Но в случае с большой длиной дуги возникает вопрос расчета данного узла.

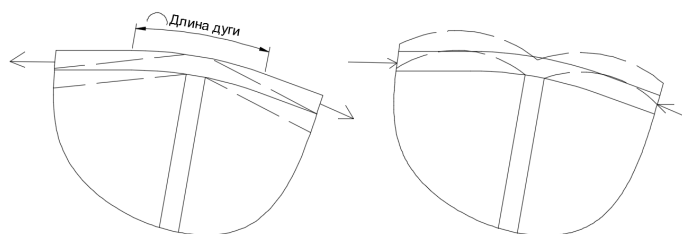


Рисунок 1.7 Спрямление растянутой вальцованной полки и выпучивание сжатой

Длина дуги зависит от двух параметров:

- радиуса

		№ докум.	Подпись	Дата

АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ

Лист

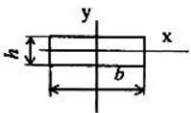
19

- угла перелома

Чем больше эти параметры, тем больше длина дуги. Угол перелома — это параметр, зависящий от геометрии конструкции в целом, и его нельзя изменить в конкретном взятом случае. Что же касается радиуса, то его уменьшение ограничено, а именно:

1. Минимальный радиус вальцовки определяется по таблице 6 СП 53-101-98 [4]:

$25h$, где h – толщина листа.

Профиль	Эскиз	Положение нейтральной оси	Допускаемый минимальный радиус гибки
Листовая универсальная и полосовая сталь		x-x y-y	$25h$

2*. Т.к. нормативный предел текучести стали 10ХСНДА больше 275 МПа, минимальный радиус умножают на коэффициент:

$$\sqrt{\sigma_n/275} = \sqrt{\frac{390}{275}} = 1,191 \text{ (по пункту 9.3 СП 53-101-98)}$$

3*. Для деталей, применяемых в конструкциях первой группы по СНиП II-23-81, величину допустимых минимальных радиусов увеличивают в 1,3 раза (по пункту 9.4 СП 53-101-98[4]).

* - рассмотрен один из неблагоприятных вариантов

1.5 Цель и задачи исследования.

Цель проводимого исследования – оценить прочность и деформативность описанного узла.

Для достижения поставленной цели необходимо решить промежуточные задачи:

1. Проектирование эксперимента с учетом имеющихся лабораторно-технических возможностей.

2. Создание геометрической модели с автоматически изменяющимися размерами, адекватно работающей на широком диапазоне значений параметров.

3. Импортирование полученной геометрии в расчетный комплекс ANSYS Mechanical, и выбор настроек расчета.

4. Выбор оптимальной сетки конечных элементов, обеспечивающей сходимость выходных параметров.

5. Численное проектирование предстоящего эксперимента.

6. Получение экспериментальных и расчетных данных.

7. Анализ результатов и их сравнение.

8. Проведение большого количества расчетов верифицированной модели.

9. Построение поверхности отклика.

2. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ УЗЛА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS.

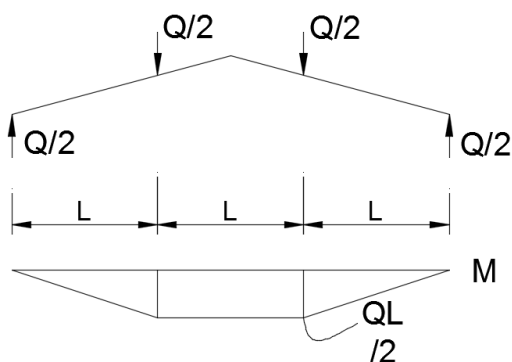
2.1 Проектирование эксперимента с учетом имеющихся лабораторно-технических возможностей.

Поскольку испытания будут проводиться на технической базе «Челябинского Завода Металлоконструкций» размеры образцов должны быть выбраны в соответствии с возможностями испытательного прессы.



Рисунок 2.1 Общий вид испытательного прессы

Процесс проектирования испытательного образца и оснастки занял долгое время и включал в себя анализ нескольких возможных вариантов образцов и приложения нагрузки. Окончательный выбор пал на четырехточечный изгиб, как на возможность оценить работу перелома в зоне чистого изгиба.



АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ

Лист

22

№ докум.

Подпись

Дата

Рисунок 2.2 Схема четырехточечного изгиба

Для разнесения опорных реакций на расстояние в 1500мм была задействована предустановленная траверса длиной 1600мм. В качестве верхней точки опоры-нагрузки выступает пуансон круглого сечения. Таким образом кроме самих образцов будет изготовлена оснастка – верхняя траверса. С целью придания большей устойчивости испытательного образца было принято решение производить передачу нагрузки не на поверхность полки, а в уровень нейтральной линии. Следует отметить что болтовое соединение обеспечивает геометрически неизменяемую систему и при этом допускает расширение балки в горизонтальном направлении.

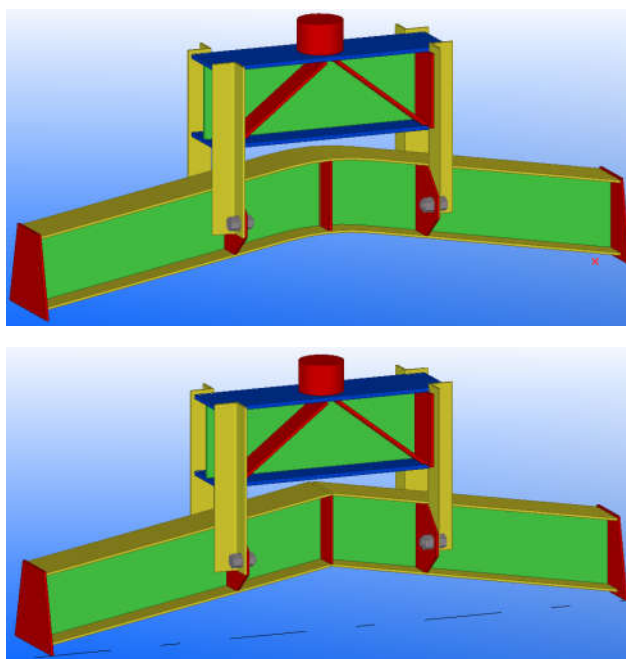


Рисунок 2.3 Испытательные образцы со съемной траверсой

Геометрические размеры поперечного сечения были выбраны с учетом максимальной вертикальной нагрузки в 20 тонн.

		№ докум.	Подпись	Дата

АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ

Лист

23

2.2 Создание геометрической модели.

Создания параметрической геометрии с обратной связью из расчетной программы проходило в прикладном пакете DesignModeler.

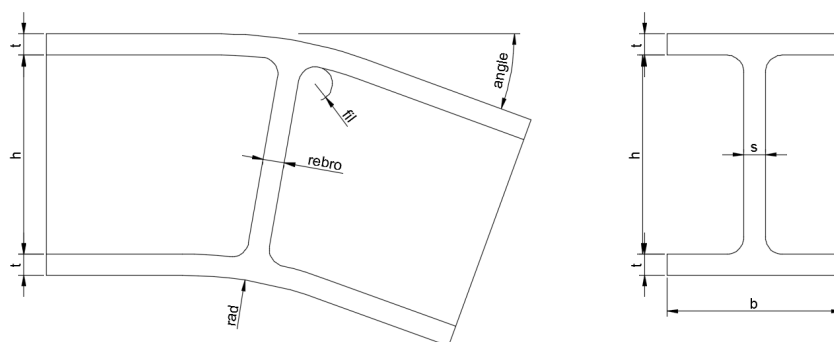


Рисунок 2.4 Схема параметрических размеров

Для наименования различных параметров используем почти стандартные имена:

- s – толщина стенки
- b – ширина полки
- t – толщина полки
- angle – угол перелома
- h – высота стенки
- rad – радиус вальцовки
- fil – радиус скругления
- rebro – толщина ребра

Поскольку эксперимент обладает геометрией и нагрузкой симметричной относительно двух плоскостей, стало возможно моделирование $\frac{1}{4}$ части конструкции, что в свою очередь позволило уточнить сетку конечных элементов.

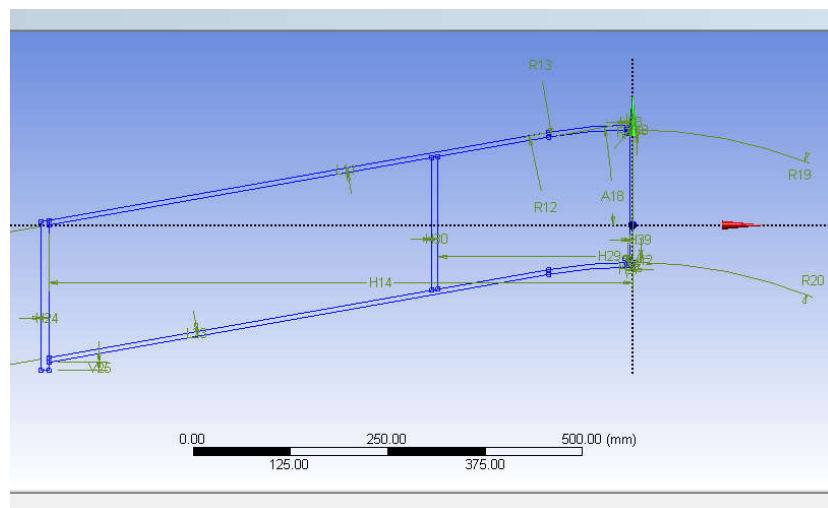


Рисунок 2.5 Параметрические размеры эскизов

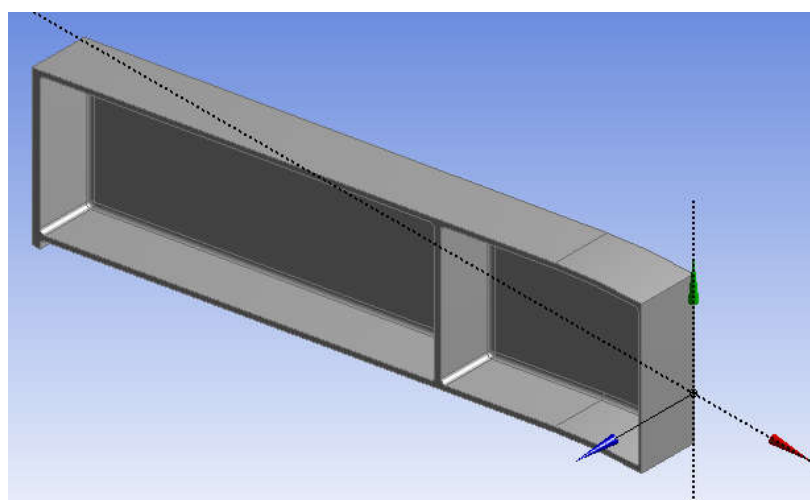


Рисунок 2.6 Полученная твердотельная геометрия

Хорошую модель, работающую на большом диапазоне параметров, получилось создать далеко не с первого раза. В первых версиях модели пропадала обратная связь из решателя в связи с неполной определенностью геометрии. Окончательная геометрия была проверена в исходном испытываемом сечении и с различными вариантами *rad* и *angle*.

Минимальное значение радиуса, воспроизводимое моделью равно 20 мм, что в свою очередь даже на больших углах моделирует вариант со сварным переломом.

		№ докум.	Подпись	Дата

АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ

Лист

25

2.3 Импортирование полученной геометрии в расчетный комплекс ANSYS Mechanical, и выбор настроек расчета.

Основным вопросом относительно настроек расчета является выбор материала. Можно вести расчет в линейной предпосылке, то есть с упругим материалом, но это сильно изменяет картину распределения напряжений в материале относительно реального. Кроме того, линейный расчет таит в себе вопрос сингулярности.

Так как материал деформируется линейно, напряжения в нем прямопропорциональны деформациям. В такой постановке сложно учесть момент разрушения, поскольку напряжения в местах концентрации будут намного выше предела текучести и может быть и временного сопротивления. Если же в точках, в которых наблюдается концентрация, измельчить сетку, то напряжения только вырастут.

Учитывая тот факт, что строительная сталь чаще всего имеет ярко выраженную площадку текучести, можно принять за расчетную диаграмму деформирования Прандтля.

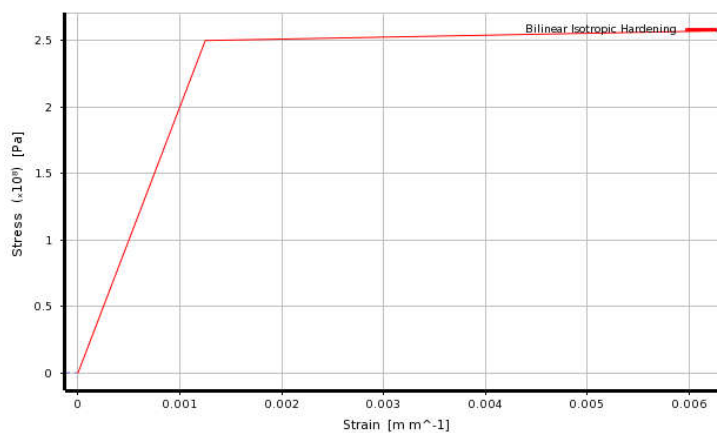


Рисунок 2.7 Принятая модель материала

Кроме долгого итерационного решения нелинейный расчет имеет еще один явный минус – максимальные напряжения уже не являются значимым выходным параметром.

		№ докум.	Подпись	Дата

2.4 Выбор оптимальной сетки конечных элементов.

Поскольку для расчетов была использована последняя версия ANSYS 18.1, вопрос оптимальной сетки был решен программой сам. Единственное, что пришлось сделать самостоятельно, это проверить сходимость результатов при улучшении сетки.

Необходимые процедуры были выполнены в полуавтоматическом режиме. Диаграмма сходимости, изображенная на рисунке 2.8, показывает очень быструю сходимость, менее 1% уже на первом шаге уточнения. Данная диаграмма подтверждает суждение о том, что сетка достаточно точная.

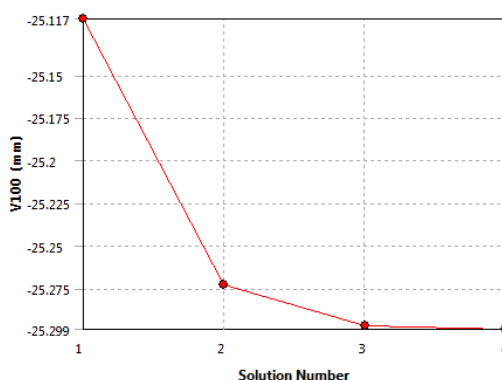


Рисунок 2.8 Сходимость перемещений при измельчении сетки

2.5 Анализ полученных результатов на примере одного из сочетаний.

Нагрузка на модель прямопропорциональна времени нагружения. Время нагружения изменяется от 1 до 100 с. В конечный момент времени нагрузка обеспечивает момент в сечении равный 4.5 т*м. Таким образом считывая результаты в разные моменты можно отследить динамику изменения значений при разной нагрузке.

Для анализа результатов полезно сравнение с теоретическими значениями:

Максимальный момент в сечении согласно допускаемых напряжений:

$$M_{el} = 3,83 \text{ т} * \text{м} \quad \text{или} \quad 85\% \text{ конечной нагрузки}$$

Пластический момент сечения:

$$M_{pl} = 4,27 \text{ т} * \text{м} \quad \text{или} \quad 95\% \text{ конечной нагрузки}$$

В качестве наглядных выберем два экземпляра, один со следующими входными параметрами:

А второй такой же только с минимальным радиусом, т.е. сварной.

И пронаблюдаем за картиной распределения эквивалентных напряжений при разных значениях нагрузки.

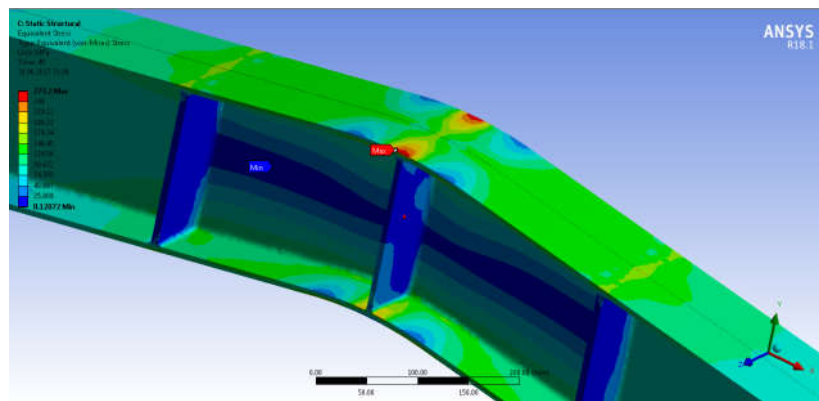


Рисунок 2.9 Эквивалентные напряжения в вальцованном варианте при 45% нагрузки ($2.025 \text{ т} \cdot \text{м}$ или 53% от M_{el})

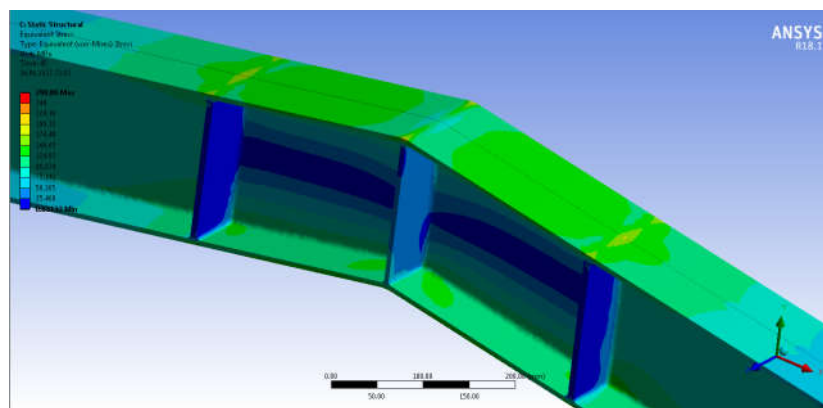


Рисунок 2.10 Эквивалентные напряжения в сварном варианте при 45% нагрузки

Видно, что распределение напряжений вдали от центрального ребра одинаковы в обоих вариантах, это связано с тем что значительных пластических деформаций пока не наблюдается.

Следует отметить, что ярко выраженный изгиб полка у вальцованного варианта изображен для наглядности и несоизмеримо больше чем если бы был применен минимальный допустимый радиус вальцовки 150 мм.

Однако даже в случае с таким большим радиусом (400мм при толщине полки 6мм, испытательные габариты) напряжения превысили предел текучести только вблизи поверхности полков.

Кроме того, уже на раннем этапе нагружения видно, что часть полков выключается из работы вследствие депланации.

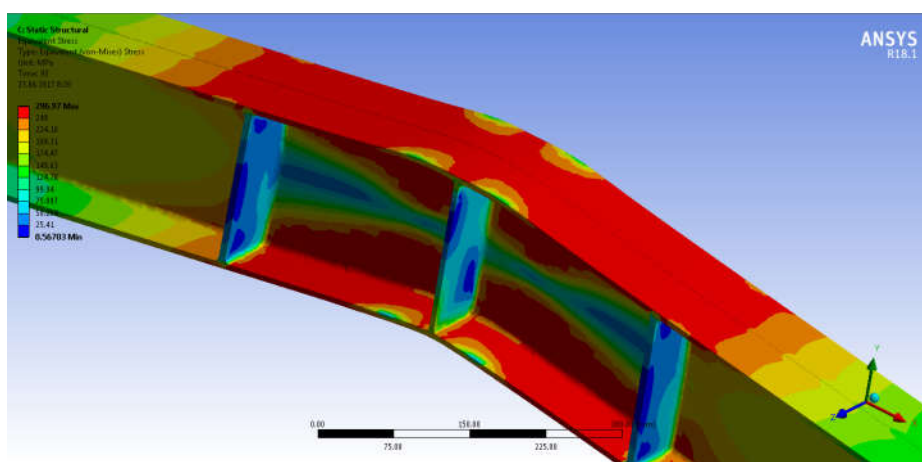


Рисунок 2.11 Эквивалентные напряжения в вальцованном варианте при 95% нагрузки (т.е. Mpl)

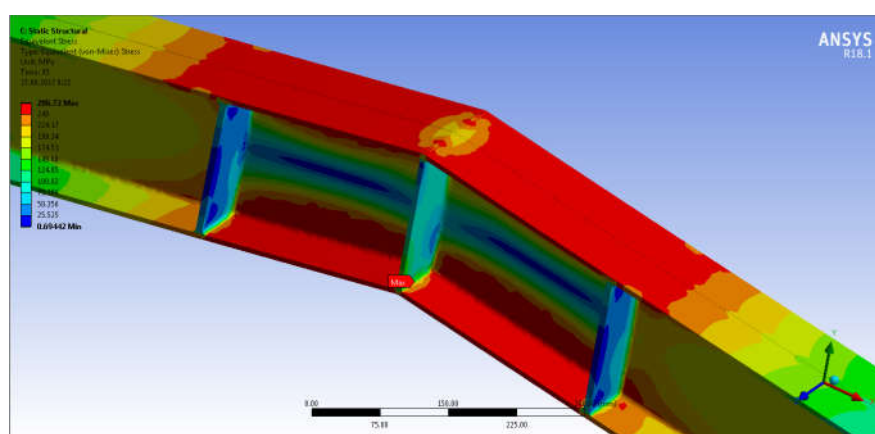


Рисунок 2.12 Эквивалентные напряжения в сварном варианте при 95% нагрузки (т.е. Mpl)

Несмотря на то, что при действии нагрузки в 95% полки обоих образцов потекли, конструкция еще продолжает сопротивляться.

Также следует отметить, что в вальцованном варианте ярко выражены разгруженные зоны в полках, очевидно, что напряжения оттуда перераспределились на стенку.

Следующий на очереди анализ по максимальным пластическим деформациям

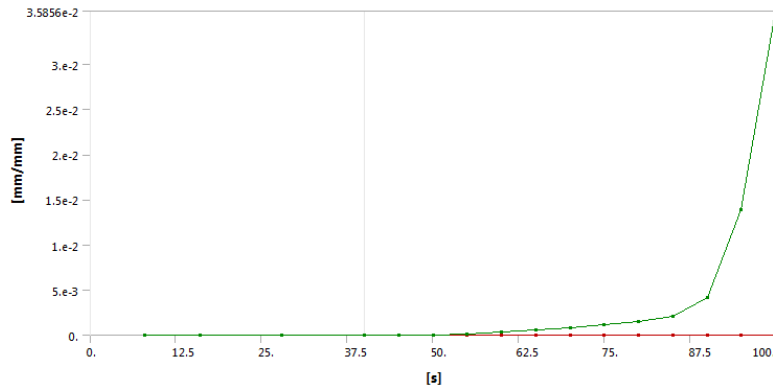


Рисунок 2.13 График зависимости максимальных пластических деформаций от времени (т.е. нагрузки), вальцованного варианта.

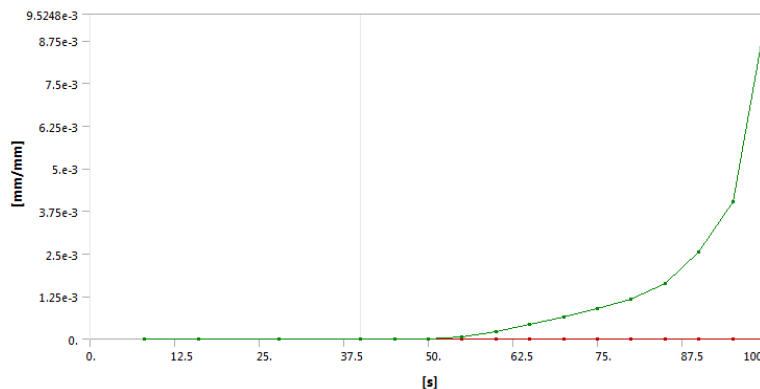


Рисунок 2.14 График зависимости максимальных пластических деформаций от времени (т.е. нагрузки), сварного варианта.

Time [s]	Maximum [mm/mm]
1 8.	0.
2 16.	0.
3 28.	0.
4 40.	0.
5 45.	1.7466e-06
6 50.	3.834e-05
7 55.	1.4729e-04
8 60.	3.3935e-04
9 65.	5.7368e-04
10 70.	8.2757e-04
11 75.	1.1247e-03
12 80.	1.492e-03
13 85.	2.101e-03
14 90.	4.1834e-03
15 95.	1.3929e-02
16 100.	3.5856e-02

Time [s]	Maximum [mm/mm]
1 8.	0.
2 16.	0.
3 28.	0.
4 40.	0.
5 45.	0.
6 50.	1.6995e-06
7 55.	5.7961e-05
8 60.	2.2648e-04
9 65.	4.3427e-04
10 70.	6.4135e-04
11 75.	8.7978e-04
12 80.	1.1733e-03
13 85.	1.6215e-03
14 90.	2.5588e-03
15 95.	4.013e-03
16 100.	9.5248e-03

Координаты точек на графиках, слева вальцованный вариант, справа сварной.

		№ докум.	Подпись	Дата

	Time [s]	Maximum [mm]
1	8.	-0.38077
2	16.	-0.76154
3	28.	-1.3327
4	40.	-1.9039
5	45.	-2.142
6	50.	-2.3803
7	55.	-2.6191
8	60.	-2.8588
9	65.	-3.1005
10	70.	-3.3456
11	75.	-3.6003
12	80.	-3.8766
13	85.	-4.2367
14	90.	-5.0958
15	95.	-9.4907
16	100.	-22.941

	Time [s]	Maximum [mm]
1	8.	-0.37749
2	16.	-0.75497
3	28.	-1.3212
4	40.	-1.8874
5	45.	-2.1234
6	50.	-2.3595
7	55.	-2.596
8	60.	-2.8329
9	65.	-3.0703
10	70.	-3.3089
11	75.	-3.5496
12	80.	-3.7939
13	85.	-4.0508
14	90.	-4.4582
15	95.	-6.4918
16	100.	-16.723

Координаты точек на графиках, слева вальцованный вариант, справа сварной.

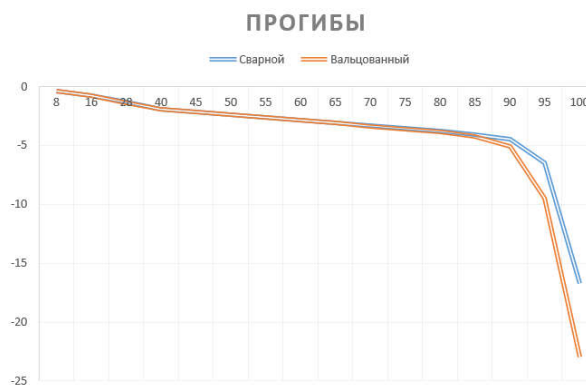


Рисунок 2.17 Сводный график

Очевидно, что до нагрузки в 85% т.е. до MeI, прогибы почти не отличаются, однако далее, после того как теоретически материал полков начинают пластическое течение, можно наблюдать расхождение. Однако следует отметить, что после 90% прогибы окончательно теряют свой линейный характер.

Однако хотелось бы получить какое-то численное значение, показывающее несущую способность. Таким параметром может случить нагрузка, при которой пластические деформации в материале достигли определенной величины. Будем считать, что балка работает в упругих пределах если $\varepsilon = 0.2\%$.

Но к сожалению параметр времени в ANSYS Mechanical не может быть выходным. Поэтому была написана подпрограмма извлекающая необходимые данные из результатов расчета (Приложение 2). По средствам подпрограммы

создается параметр $m_{u_ULT_F}$, в который записывается нагрузка, при котором пластические деформации достигают предела 0.002.

Полученный выходной параметр рассчитывается автоматически и используется в дальнейших множественных расчетах. Можно считать параметр $m_{u_ULT_F}$ несущей способностью.

					<i>АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						33
		<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

3. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НА ДЕФОРМАЦИИ

3.1 Проведение большого количества расчетов с различными параметрами.

Поскольку экспериментальные данные будут получены впоследствии, на данном этапе можно предсказать поведение узла на большом диапазоне параметров.

В качестве входных изменяемы параметров будут выступать радиус вальцовки и угол перелома. (rad и angle)

Сочетания различных параметров должны равномерно покрывать исследуемую область.

Name	Угол	Радиус	my_ULT_F	прогиб 80%	прогиб 90%	прогиб 95%	прогиб 100%
DP 3	1	600	4.226	-3.678	-4.268	-6.295	-16.513
DP 4	45	600	3.783	-4.129	-6.024	-11.624	-25.414
DP 5	45	20	3.478	-4.124	-4.870	-6.894	-17.228
DP 6	10	100	4.280	-3.709	-4.314	-6.326	-16.535
DP 7	5	200	4.242	-3.689	-4.284	-6.310	-16.541
DP 8	5	400	4.283	-3.688	-4.286	-6.303	-16.505
DP 9	5	600	4.220	-3.689	-4.296	-6.319	-16.558
DP 10	10	600	4.065	-3.723	-4.434	-6.689	-17.649
DP 11	10	400	4.105	-3.715	-4.374	-6.468	-17.002
DP 12	10	200	4.208	-3.709	-4.324	-6.343	-16.605
DP 13	15	50	4.165	-3.739	-4.359	-6.373	-16.601
DP 14	15	100	4.260	-3.739	-4.364	-6.370	-16.590
DP 15	15	200	4.070	-3.743	-4.407	-6.481	-17.001

DP 16	15	400	3.893	-3.777	-4.609	-7.264	-19.048
DP 17	15	600	3.881	-3.795	-4.762	-8.115	-20.790
DP 18	20	20	3.916	-3.794	-4.458	-6.492	-16.723
DP 19	20	50	4.106	-3.798	-4.471	-6.497	-16.728
DP 20	20	100	4.125	-3.779	-4.433	-6.449	-16.777
DP 21	20	200	3.886	-3.809	-4.594	-6.989	-18.358
DP 22	20	400	3.788	-3.877	-5.096	-9.491	-22.941
DP 23	20	600	3.757	-3.890	-5.314	-11.075	-25.117
DP 24	30	20	3.690	-3.891	-4.569	-6.573	-16.795
DP 25	30	50	3.996	-3.882	-4.558	-6.543	-16.737
DP 26	30	100	3.886	-3.904	-4.681	-6.963	-18.183
DP 27	30	200	3.612	-4.026	-5.531	-10.786	-24.652
DP 28	30	400	3.572	-4.171	-7.443	-17.817	-33.311
DP 29	30	600	3.693	-4.132	-6.831	-16.913	-32.469
DP 30	45	50	3.837	-4.111	-4.886	-6.999	-17.694
DP 31	45	100	3.458	-4.246	-5.689	-10.544	-24.602
DP 32	45	200	3.251	-4.597	-10.081	-21.945	-38.511
DP 33	45	400	3.420	-4.629	-11.185	-25.019	-42.319
DP 34	5	100	4.283	-3.689	-4.283	-6.306	-16.509

Таблица 2.1 Основные точки расчета

Как можно заметить из таблицы, в качестве основных точек расчета были выбраны 34 комбинации, каждая из которых рассчитывалась около получаса.

Кроме основных точек необходимо рассчитать проверочные точки, которые программа назначает автоматически.

Name	Угол	Радиус	my_ULT_F	прогиб 80%	прогиб 90%	прогиб 95%	прогиб 100%
------	------	--------	----------	------------	------------	------------	-------------

3.3 Вывод из полученных результатов.

Следует отметить, что минимальный радиус вальцовки для толщины полки 6мм, составляет 150 мм. И при таком радиусе несущая способность вальцованного варианта слабо отличается от сварного.

Занятым фактом является то, что несущая способность зависит от угла перелома линейно. Ожидалось квадратичное поведение, поскольку при увеличении угла перелома растёт не только длина дуги, но и нагрузка в ребре.

Однако квадратичную зависимость можно наблюдать между углом перелома и прогибами. При том на прогибы очень сильно влияет радиус вальцовки.

Можно сделать вывод, что длина дуги оказывает сильное влияние на прогибы, но не на несущую способность.

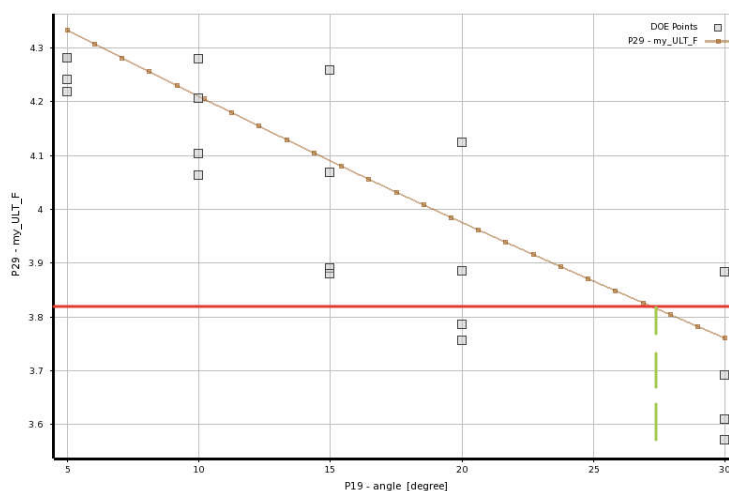


Рисунок 3.6 Зависимость несущей способности от угла перелома при минимальном допустимом радиусе.

На графике представленном на рисунке 3.6 можно отметить, что «условная» несущая способность вальцованного варианта при минимальном радиусе выше MeI вплоть до углов перелома в 27 градусов.

3.4 Распространение результатов на реальные размеры конструкций.

Поскольку конструкторская документация испытательных образцов не запущена в производство, испытания еще не проведены. Дальнейшее

распространение результатов и выполнение ресурсоёмких расчетов, не целесообразно без подтверждения расчетных данных экспериментальными.

Корме того в процессе испытаний планируется получить реальную диаграмму растяжения используемой стали и на её основе диаграммы реальных напряжений.

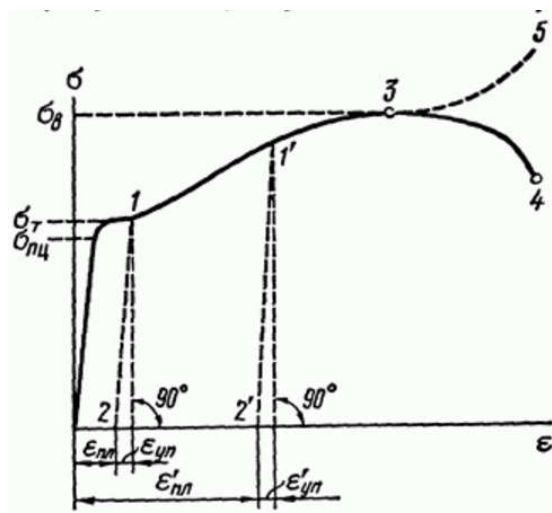


Рисунок 3.7 Диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали.
(отрезок 3-5: реальные напряжения)

4. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Разработана конечно-элементная расчетная модель узла в программном комплексе ANSYS.
- Конечно-элементная модель ожидает верификации на основе экспериментальных данных.
- Проведены исследования влияния радиуса вальцовки и угла перелома на несущую способность.
- Теоретически установлена пригодность вальцованного варианта на большом диапазоне углов перелома, что значительно уменьшит трудоёмкость.
- Разработанная конечно-элементная модель может быть эффективно использована для исследования несущей способности подобных узлов.
- Получены навыки работы с программным комплексом новейшего поколения.

Дальнейшие исследования будут проведены в направлении точной увязки эксперимента с расчетным комплексом и разработки методики, позволяющей рассчитывать и более сложные узлы металлических конструкций при помощи МКЭ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Москва, 2011 г.
2. СНиП II-23-81 Пособие по проектированию стальных конструкций. Москва, 1989 г.
3. ГОСТ 14771-76* Дуговая сварка в защитном газе. Москва, 1978 г.
4. СП 53-101-98 Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций
5. Постнов В. А., Хархурим И. Я. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций - Л. : Судостроение, 1974. - 344 с
6. Лукаш, П. А. Основы нелинейной строительной механики - М.: Стройиздат, 1978. - 204 с.
7. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики/ - Запорожье, 2009. - 400 с.
8. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир, 1975. - 541 с.
9. Зенкевич О., Чанг И. Метод конечных элементов в теории сооружений и механике сплошных сред. - М.: Недра, 1974. - 240 с.
10. Каплун А. Б. ANSYS в руках инженера М.: Едиториал УРСС 272с.

					<i>АС-256. 08.04.01.2017.ПЗ</i>	Лист
						42
		№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение 1

Код программы на языке APDL

PL=0.002

t=1

*GET, MAXNODE, NODE, 0, NUM, MAXD

*GET, MINNODE, NODE, 0, NUM, MIND

*DO, t, 1, 12

!SET, , , , , t

SET, 2, t

NN=MINNODE

MAXEPPL=0

*DO, NN, MINNODE, MAXNODE

*GET, XNN, NODE, NN, LOC,X

*IF, XNN, GT, -230, THEN

*GET,tempEPPL, NODE, NN, EPPL, EQV

*IF, tempEPPL, GT, MAXEPPL, THEN

MAXEPPL=tempEPPL

*ENDIF

*ENDIF

*ENDDO

*IF, MAXEPPL, GT, PL, THEN

targettime=t

*EXIT

*ENDIF

```

*ENDDO
PLB=MAXEPPL
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
SET, 2, t-1
NN=MINNODE
MAXEPPL=0
*DO, NN, MINNODE, MAXNODE
  *GET, XNN, NODE, NN, LOC,X
  *IF, XNN, GT, -250, THEN
    *GET,tempEPPL, NODE, NN, EPPL, EQV
    *IF, tempEPPL, GT, MAXEPPL, THEN
      MAXEPPL=tempEPPL
    *ENDIF
  *ENDIF
*ENDDO
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
PLA=MAXEPPL
Xset=targettime-1+((PL-PLA)/(PLB-PLA))
XTIME=Xset*5+40
my_res1=PLA
my_res2=PLB
my_PLtime=targettime
my_XTIME=XTIME
my_ULT_F=XTIME/100*4.5

```

Приложение 2

Методика расчета швов приварки вертикального ребра в местах перелома пояса фермы.

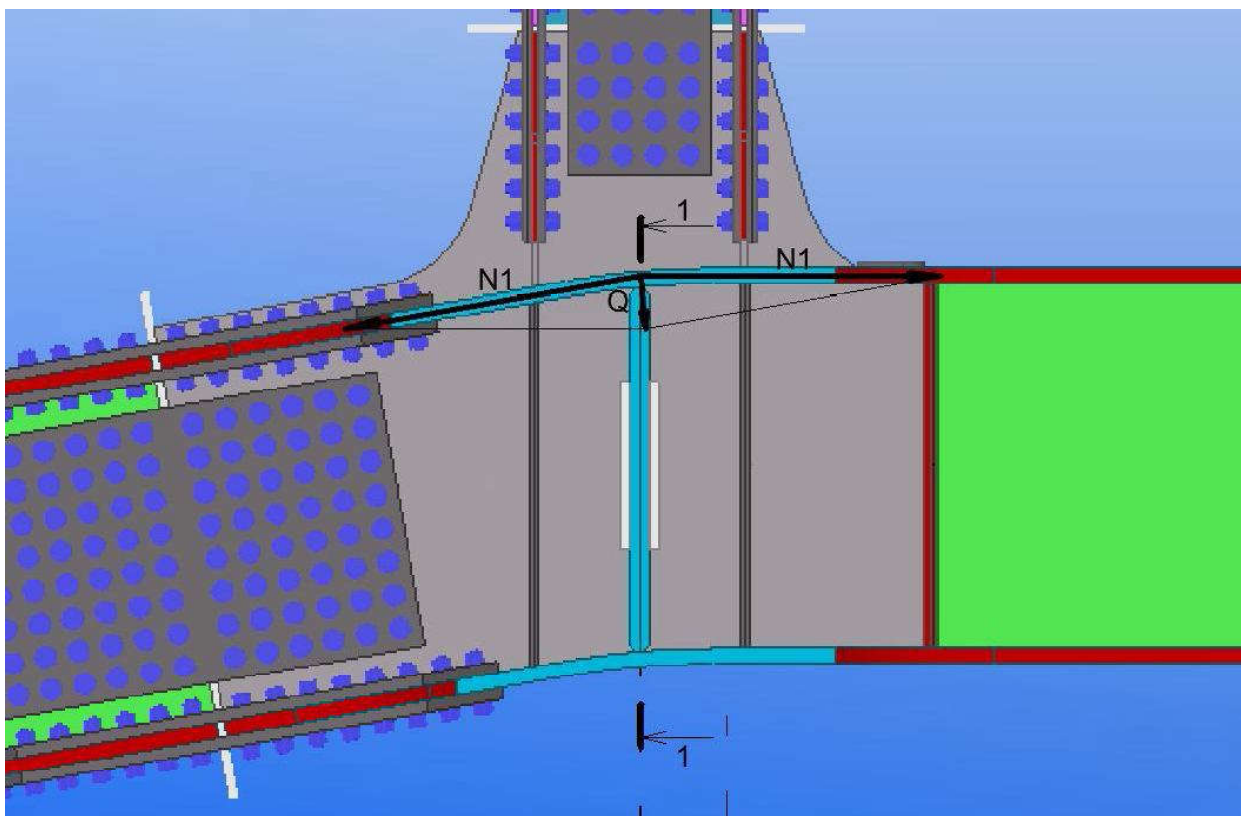


Рис. 12.

1. Определяем площади сечений A частей полок пояса, которые воздействуют на ребро в переломе расположенное с одной стороны узловой фасонки согласно рис. 14:

$$A = t_{\text{полки}} \cdot (b - t_{\text{ст}}) / 2$$

2. Определяем продольное усилие $N1$ в рассматриваемом сечении A по равнопрочности:

$$N1 = A \cdot R_y$$

3. Определяем усилие от перелома Q как геометрическую сумму векторов $N1$ согласно рис.13.

4. Усилие приходящееся на ребро Q_r определяем геометрически, как вектор соответствующий гипотенузе соответствующего треугольника согласно рис 13.

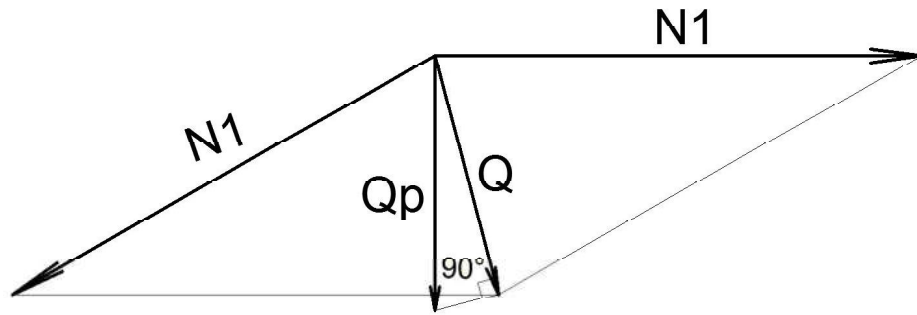


Рис. 13

5. Прикладываем Q_p в центр тяжести сечений А соответственно для верхней и нижней полок пояса.

6. Эксцентриситет поперечных сил Q_p принимаем до грани стенки:

$$e = \frac{b - t_{ст}}{2}$$

Сечение 1-1.

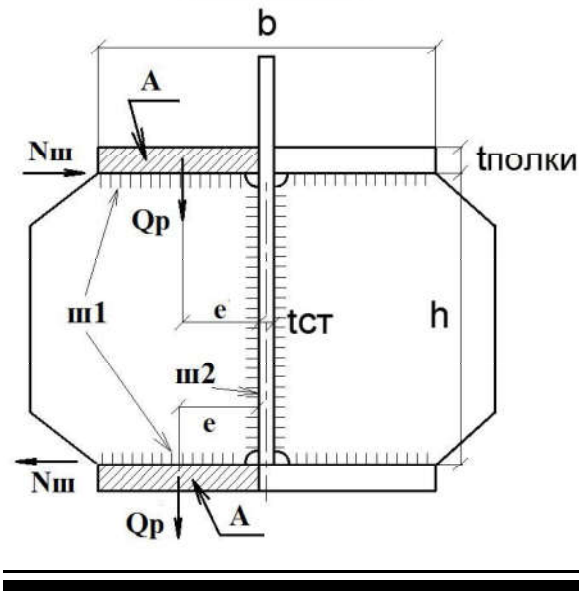


Рис. 14.

7. Из уравнения моментов определяем усилие приходящееся на поперечные швы приварки ребра к полкам $N_{ш}$:

$$N_{ш} = \frac{2 \cdot Q_p \cdot e}{h}$$

8. Напряжения в швах Ш1 вычисляем по формулам:

$$\sigma_{ш1} = \sqrt{(\sigma_{ш1}(N_{ш}))^2 + (\sigma_{ш1}(Q_p))^2}$$

где:

$$\sigma_{ш1}(N_{ш}) = \frac{N_{ш}}{2\beta \cdot k_{f1} \cdot l_{w1} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c}$$

$$\sigma_{ш1}(Q_p) = \frac{Q_p}{2\beta \cdot k_{f1} \cdot l_{w1} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c}$$

9. Напряжения в швах Ш2 вычисляем по формуле:

$$\sigma_{ш2} = \frac{2Q_p}{2\beta \cdot k_{f2} \cdot l_{w2} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c}$$

10. Аналогично вычисляем напряжения в швах Ш1 и Ш2 по границе сплавления.

11. Полученные напряжения в швах Ш1 и Ш2 от перелома должны быть учтены совместно с усилиями от прогона при определении суммарных напряжений в данных швах.