

5.2. Расчет сварного таврового соединения

Задача

Выполнить проектировочный и проверочный расчеты таврового соединения, предназначенного для крепления П-образного профиля к плоскости. Действующие на соединение силовые факторы изображены на рис. 5.2.1.

Материал, из которого изготовлены соединяемые детали — Сталь 20. Тип сварки: ручная сварка электродом Э42 по ГОСТ 9467-75*.

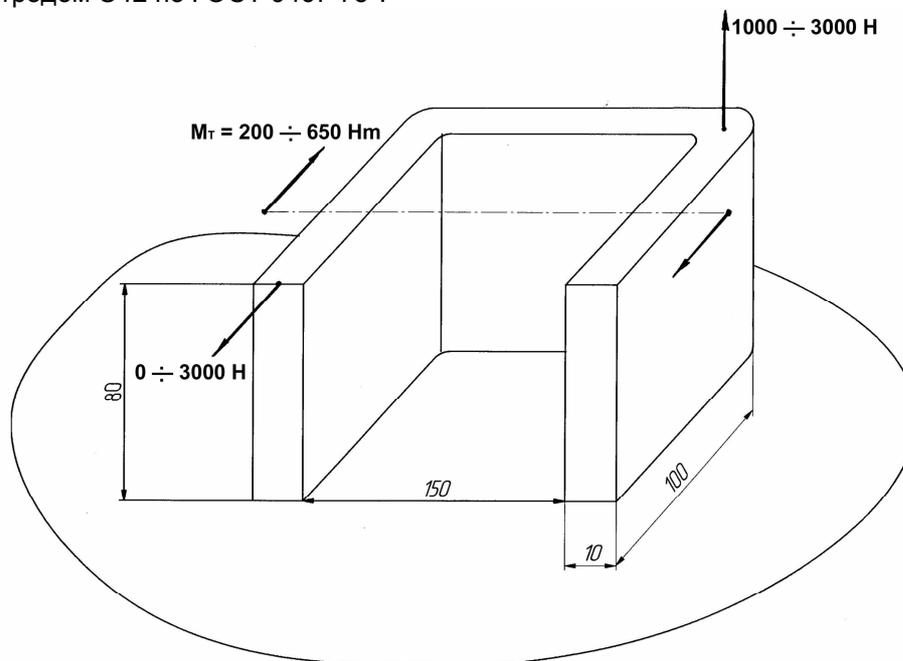


Рис. 5.2.1. Расчетная модель таврового сварного соединения

Общий порядок расчета

1. Выбор типа соединения
2. Создание конфигурации сварного шва
 - 2.1. Построение отрезков, совпадающих с внешним контуром поверхности
 - 2.2. Построение скруглений
 - 2.3. Импорт контура поверхности
3. Задание действующих на сварной шов силовых факторов
 - 3.1. Задание сил, действующих перпендикулярно плоскости сварного шва
 - 3.2. Задание сил, действующих параллельно плоскости сварного шва
 - 3.3. Задание момента, действующего вокруг вертикальной оси
4. Выбор стандарта и уточнение постоянных параметров для расчета
5. Выбор типа расчета: проектировочный или проверочный
6. Выполнение расчета
7. Просмотр результатов расчета
 - 7.1. Просмотр карты напряжений
 - 7.2. Просмотр числовых результатов расчета
8. Оптимизация конфигурация сварного шва по результатам расчета.
9. Проведение проверочного расчета

Решение

1. Выбор типа соединения

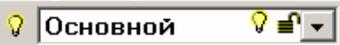
Выбираем тип соединения однократным щелчком левой кнопки мыши на картинке с изображением сварного одностороннего таврового шва (рис. 5.2.2). Это приведет к открытию окна **Соединения сваркой**.



Рис. 5.2.2. Выбор типа сварного соединения

2. Создание конфигурации сварного шва

Прежде чем создавать конфигурацию сварного шва, необходимо указать слой, в котором будут задаваться шов и действующие на него нагрузки. В различных слоях могут быть заданы различные сварные швы, расчет которых будет производиться одновременно и независимо. Текущий

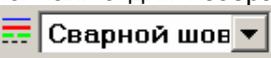
слой показывается в списке слоев  редактора, а нажатием кнопки **Менеджер слоев**, расположенной слева от списка слоев (меню **Формат/Слой...**), вызывается диалоговое окно **Список слоев**, с помощью которого можно создать новый слой для другого расчета.

Теперь нужно построить (или импортировать) конфигурацию сварного шва, которым П-образный профиль будет приварен к плоскости. В качестве первоначальной конфигурации сварного шва выберем сварку по внешнему контуру.

Поскольку в общем случае сварной шов может быть прерывистым, т.е. незамкнутым, то выделять контур сварного шва нет необходимости. Поэтому при сварке угловыми швами соответствующие кнопки команд будут неактивны.

2.1. Построение отрезков, совпадающих с внешним контуром поверхности

Тип линии для построения сварных швов выбирается из выпадающего списка типов линий. По умолчанию для изображения сварных швов используется специальный тип линии **Сварной шов**,

. Все объекты, изображенные этим типом линии, будут рассматриваться программой как сварные швы, а отрисованные другими типами линий – нет.

При необходимости тип линии, которая будет интерпретироваться как сварной шов, можно изменить – для этого нужно обратиться к меню **Данные/Тип линий для сварного шва...** и выбрать из него желательный тип линии.

В рассматриваемом случае внешний контур сопрягаемой поверхности представляет собой П-образный профиль, который можно смоделировать тремя отрезками прямых. Для отрисовки первого вертикального отрезка следует поступить следующим образом:

- нажать на панели инструментов **Рисование**, выпадающая панель инструментов **Отрезок**, кнопку  **Через 2 точки** (меню **Рисовать/Отрезок/Через 2 точки**);
- вывести указатель мыши на рабочее поле и нажать клавишу **Пробел** на клавиатуре; в появившемся диалоговом окне **Первая точка** ввести координаты $X = 0, Y = 0$;
- смещая указатель мыши в вертикальном направлении (например, снизу вверх), нажать клавишу **Пробел** на клавиатуре для ввода параметров отрезка с клавиатуры;
- на вкладке **Длина и угол** открывшегося диалогового окна **Вторая точка** (рис. 5.2.3) задать длину создаваемого отрезка и угол его наклона относительно горизонтальной оси. При первоначальном открытии диалогового окна **Вторая точка** в его полях ввода записаны текущие значения длины и угла динамического объекта.

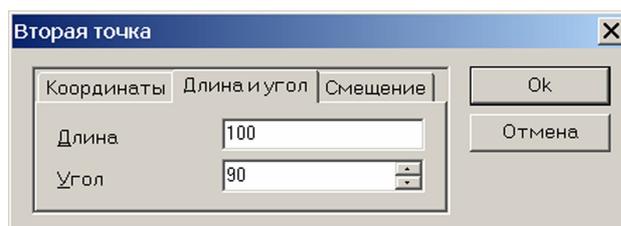


Рис. 5.2.3. Диалоговое окно **Вторая точка**

После ввода длины отрезка и его угла нажатием кнопки **Ок** в этом диалоговом окне или клавиши **Enter** на клавиатуре завершаем создание вертикального отрезка. Аналогичным образом соз-

даем остальные стороны П-образного профиля.

Для удаления уже построенного отрезка необходимо нажать кнопку  **Удаление** на панели инструментов **Модификация** (меню **Модификация/Удаление**) и щелкнуть на любой точки удаляемого отрезка.

2.2. Построение скруглений

Переходим в режим построения скруглений нажатием кнопки  **Скругление**, расположенной на выпадающей панели инструментов **Скругление**, панель инструментов **Модификация** (меню **Модификация/Скругление к двум объектам**). Затем последовательно щелкаем левой кнопкой мыши на скругляемых объектах и внутри образованного ими угла, а в открывшемся диалоговом окне вводим значение радиуса скругления: 20 мм.

2.3. Импорт контура поверхности

Контур поверхности может быть также импортирован через файл формата *.dxf. Для того чтобы произвести импорт, воспользуйтесь меню **Файл/Импорт...**, а затем в стандартном диалоговом окне укажите путь к импортируемому файлу формата *.dxf.

После вставки объекта из базы данных или импортирования контура сварного шва нужно изменить текущий тип линии контура на тип **Сварной шов**. Для этого следует перейти в режим **Модификация** нажатием кнопки  на панели инструментов **Модификация** (меню **Модификация/Модификация**), а затем, выделив весь сварной шов рамкой, в открывшемся диалоговом окне **Модификация атрибутов объектов** выбрать из выпадающего списка тип линии **Сварной шов**.

3. Задание действующих на сварной шов силовых факторов

В общем случае к сварному шву могут быть приложены силы, направленные как перпендикулярно к плоскости сварного шва, так и параллельно этой плоскости. В том случае, если по условию к сварному шву необходимо приложить момент, действующий относительно какой-либо из координатных осей, то следует задать соответствующую ему пару сил.

3.1. Задание сил, действующих перпендикулярно плоскости сварного шва

3.1.1. Задание сил. Переходим в режим **Нормальная сила** нажатием соответствующей кнопки  на панели инструментов **Силы** (меню **Данные/Нормальная сила**) и щелкаем левой кнопкой мыши в том месте окна программы, которое соответствует точке приложения этой силы. После этого откроется диалоговое окно **Нормальная сила**, в поля ввода которого **Приложена по x, mm** и **Приложена по y, mm** автоматически заносятся текущие координаты курсора. Пользователь имеет возможность их изменить в соответствии с условием задачи. В рассматриваемом случае в поля ввода диалогового окна **Нормальная сила** вводим:

- в поле ввода **Значение, Н** — заданное по условию максимальное значение этого силового фактора, а именно **3000**;
- в полях ввода **Обозначение** и **Индекс** — обозначение силы, например **F₁** (однако эти поля могут быть и незаполненными).

Завершаем ввод нажатием кнопки **Ок**. Если сила направлена «на нас», то она отрисовывается в виде окружности с точкой в центре, если наоборот — в виде окружности с крестиком.

3.1.2. Редактирование сил. Для редактирования заданной силы нужно перейти в режим **Модификация** нажатием кнопки  на панели инструментов **Модификация** (меню **Модификация/Модификация**), а затем щелкнуть левой кнопкой мыши на установленной ранее силе. Далее необходимо в поле появившегося диалогового окна **Модификация силы** нажать кнопку **Свойства** и с помощью открывшегося диалогового окна **Нормальная сила** отредактировать параметры силы.

Для изменения координат силы можно также воспользоваться режимом **Редактирование** (кнопка  на панели инструментов **Модификация** или меню **Модификация/Редактирование**). Перейдя в этот режим, нужно подвести указатель мыши к подлежащей редактированию силе и, нажав левую кнопку мыши, сместить указатель мыши в нужную точку. Величина смещения может задаваться с клавиатуры после нажатия на ней любой клавиши.

3.1.3. Удаление сил. Для удаления одной из нормальных сил следует воспользоваться режимом **Удаление** (см. п. 2.1.). Нажатием кнопки  **Удалить нормальные силы** (меню **Данные/Удалить нормальные силы**) можно удалить *все* введенные ранее нормальные силы.

3.2. Задание сил, действующих параллельно плоскости сварного шва

3.2.1. *Задание сил.* Переход в этот режим происходит нажатием кнопки  **Касательная сила** на панели инструментов **Силы** (меню **Данные/Касательная сила**). После перехода щелкаем левой кнопкой мыши в точке приложения силы. В полях ввода **Приложена по x, мм** и **Приложена по y, мм** открывшегося диалогового окна **Касательная сила** автоматически записываются текущие координаты курсора (рис. 5.2.4). В поле ввода **Приложена по z, мм** следует записать расстояние от плоскости контактной поверхности до точки приложения силы – в рассматриваемом случае оно равно **80 мм**.

В группе параметров **Данные** выбираем способ задания – **Проекция**.

Исходя из заданной по условию схемы нагружения, в поля ввода диалогового окна **Касательная сила** вводим следующие значения:

- в поле ввода **X, Н** — **0**;
- в поле ввода **Y, Н** — **-3000** (знак «-» показывает, что сила направлена в отрицательном направлении оси Y, т. е. вниз).

В поля ввода **Обозначение** и **Индекс** группы параметров **Символы** можно ввести название силы, например **F₂**, но они могут быть и пустыми. Завершаем ввод нажатием кнопки **Ок**. Сила изобразится в виде вектора, начало которого соответствует точке приложения силы.

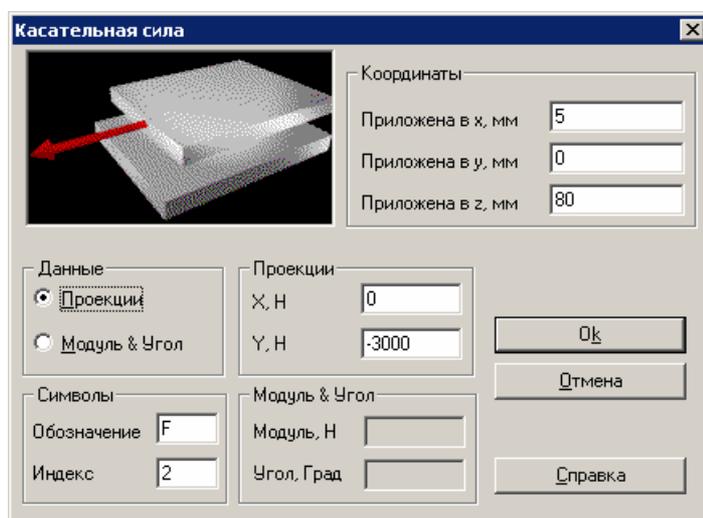


Рис. 5.2.4. Диалоговое окно **Касательная сила**

3.2.2. *Редактирование сил.* Для редактирования заданной силы нужно перейти в режим **Модификация** нажатием кнопки  на панели инструментов **Модификация** (меню **Модификация/Модификация**), а затем щелкнуть левой кнопкой мыши на установленной ранее силе. Далее необходимо в поле появившегося диалогового окна **Модификация силы** нажать кнопку **Свойства** и с помощью открывшегося диалогового окна **Касательная сила** отредактировать параметры силы.

Для изменения координат силы можно также воспользоваться режимом **Редактирование** (кнопка  на панели инструментов **Модификация** или меню **Модификация/Редактирование**). Перейдя в этот режим, нужно подвести указатель мыши к подлежащей редактированию силе и, нажав левую кнопку мыши, сместить указатель мыши в нужную точку. Величина смещения может задаваться с клавиатуры после нажатия на ней любой клавиши.

3.2.3. *Удаление сил.* Для удаления одной из касательных сил следует воспользоваться режимом **Удаление** (см. п. 2.1). Нажатием кнопки  **Удалить касательные силы** (меню **Данные/Удалить касательные силы**) можно удалить все введенные ранее касательные силы.

3.3. Задание момента, действующего вокруг вертикальной оси

Переход в режим задания момента осуществляется кнопкой  **Момент**, расположенной на панели инструментов **Силы** (меню **Данные/Момент**). В качестве точки приложения момента выбираем (приблизительно) центр тяжести построенных сварных швов. Щелкнув в этой точке правой кнопкой мыши, вызываем диалоговое окно **Момент** (рис. 5.2.5). В поле ввода **Значения вокруг Оси Z, Н*м** этого окна записываем **-650**, поскольку момент действует по часовой стрелке (т.е. отрицательный). В поля ввода **Обозначение** и **Индекс** группы параметров **Символы** при желании

можно ввести название момента, например M_T , но эти поля вполне могут остаться незаполненными. Остальные поля ввода оставляем незаполненными.

Завершаем ввод нажатием кнопки **Ок**. Момент изобразится в поле редактора в виде пиктограммы момента, точка приложения которого соответствует центральной точке момента, а направление — по часовой стрелке.

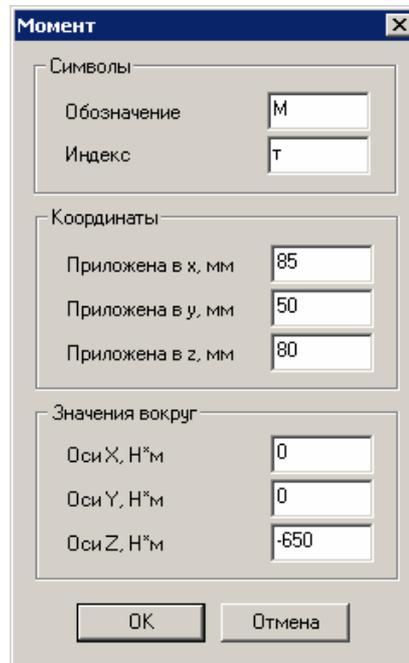


Рис. 5.2.5. Диалоговое окно **Момент**

Редактирование и удаление заданных ранее моментов производится аналогично редактированию и удалению сил (см. п.п. 3.2.2-3.2.3), только вместо кнопки **Удалить касательные силы** нужно нажать кнопку  **Удаление**. На этом подготовка модели и задание нагрузок завершено (рис. 5.2.6).

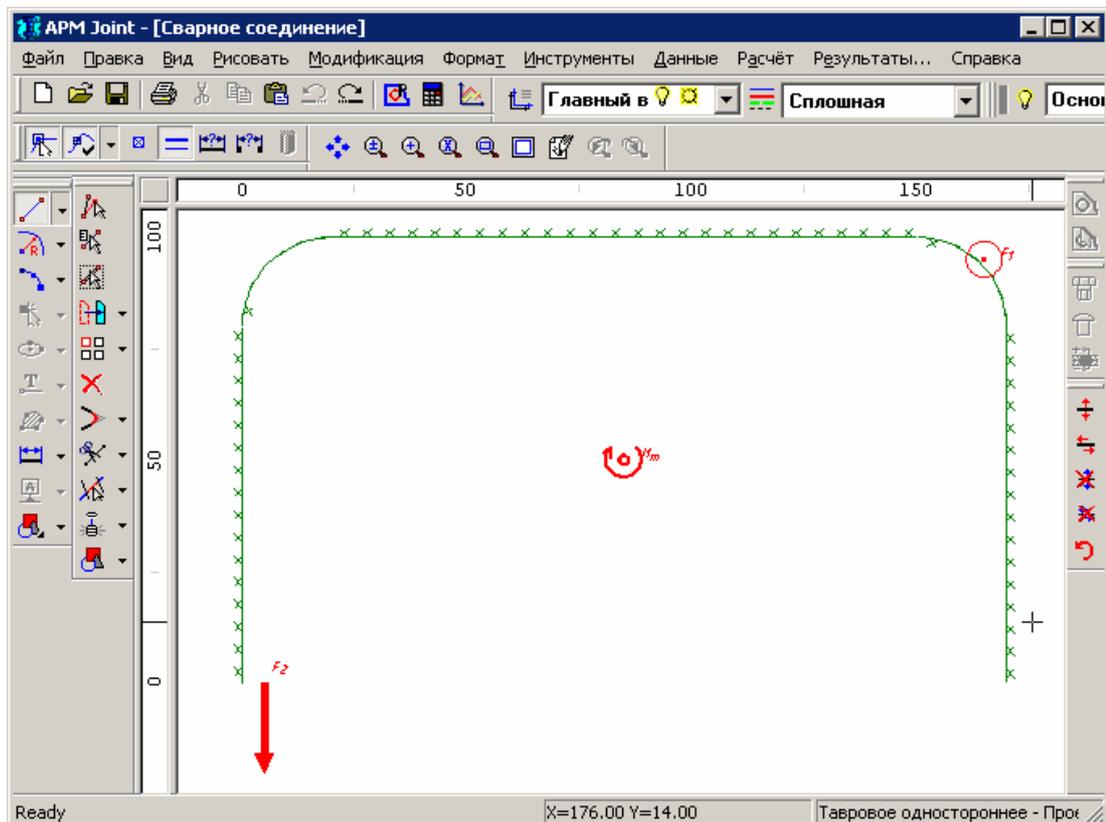


Рис. 5.2.6. Общий вид расчетной модели сварного соединения с нагрузками

4. Выбор стандарта и уточнение постоянных параметров для расчета

Расчет таврового сварного соединения может быть произведен как по строительным нормам и правилам (СНиП, СП), так и по машиностроительным стандартам (ГОСТ). Изменение стандарта расчета на СНиП (по умолчанию установлен стандарт ГОСТ) осуществляется с помощью меню **Расчет/Стандарт**. Установку стандарта следует производить до задания постоянных параметров, поскольку вид диалогового окна **Постоянные параметры** значения постоянных параметров зависят от выбранного стандарта расчета.

Для задания параметров нужно перейти в соответствующий режим, нажав кнопку  **Постоянные параметры** панели инструментов **Главная** (меню **Данные/Постоянные параметры....**). В появившемся окне введите постоянные параметры в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Постоянные параметры

Наименование параметра	Выбор значения по СП 53-102-2004
Расчетное сопротивление срезу по металлу шва, $R_{wm} = 180$ [МПа]	Согласно таблице Г.2, где $\gamma_{wm} = 1,25$ – коэффициент надежности по материалу шва. $R_{un} = 410$ МПа – временное сопротивление разрыву металла
Расчетное сопротивление срезу по металлу границы сплавления, $R_{wz} = 0,45R_{un} = 0,45 \cdot 360 = 185$ МПа	
Коэффициент глубины проплавления шва, $\beta_f = 0,7$.	Таблица 36, СП 53-102-2004
Коэффициент глубины проплавления границы сплавления, $\beta_z = 1$.	
Коэффициент условий работы шва, $\gamma_{wf} = 1$	Коэффициенты согласно п. 11.2 СНиП II-23-81*, учитывающие эксплуатацию в климатических районах I ₁ , I ₂ , II ₂ и II ₃ .
Коэффициент условий работы шва, $\gamma_{wz} = 1$	
Коэффициент условий работы конструкции, $\gamma_c = 0,95$	Таблица 1, СП 53-102-2004

5. Выбор типа расчета: проектировочный или проверочный

Для выбора типа расчета (проектировочный или проверочный) следует в меню **Расчет/Тип** выбрать **Проектировочный** или **Проверочный**. По умолчанию первым выполняется **Проектировочный** расчет.

Проектировочный расчет позволяет определить геометрию элементов соединения (величину катета сварного шва) по известным по условию параметрам, таким как количество и расположение сварных швов, свойства материала сварных швов, коэффициент запаса и величина внешней нагрузки. При этом расчет ведется при статическом характере нагружения.

Для выполнения **проверочного расчета** должна быть задана геометрия элементов соединения (величина катета и расположение сварных швов, дополнительные параметры). Основным результатов проверочного расчета является коэффициент запаса по расчетному сопротивлению.

6. Выполнение расчета

Для запуска на расчет нужно нажать кнопку  **Расчет** на панели инструментов **Главная** (меню **Расчет/Расчет!**).

7. Просмотр результатов расчета

7.1. Просмотр карты напряжений

После завершения расчета на экране монитора открывается окно **Карта напряжений** (рис. 5.2.7) с изображением сварного шва, окрашенного в различные цвета. Цветовая гамма шва отвечает цветовой шкале **Касательные напряжения, МПа**, расположенной в левой верхней части окна.

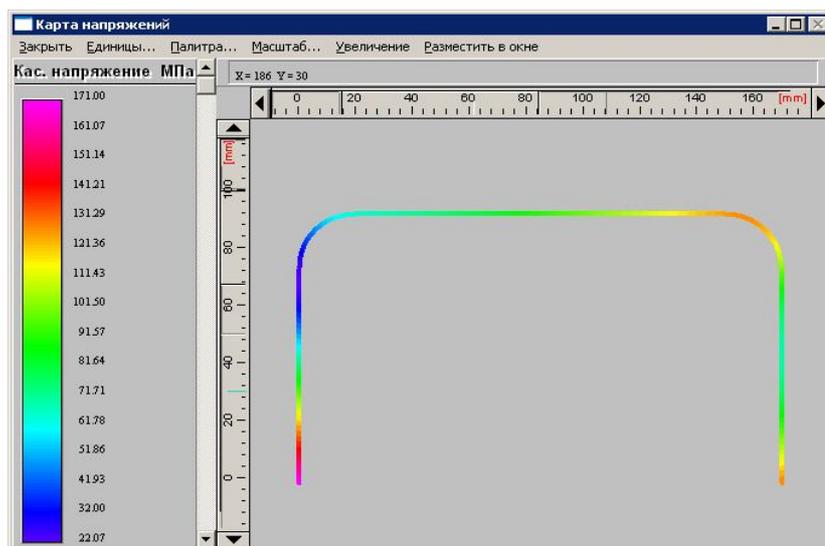


Рис. 5.2.7. Карта напряжений

7.2. Просмотр числовых результатов расчета

Для просмотра числовых результатов расчета обращаемся к меню **Результаты...** и открываем диалоговое окно **Результаты расчета**. Убеждаемся, что в рассматриваемом случае для обеспечения прочности, программа предлагает значение катета сварного шва **0,5 мм**. Однако согласно таблице 35 СП 53-102-2004 минимальный катет для таврового соединения ручной дуговой сваркой составляет **7 мм**. Основываясь на результатах расчета, можно провести некоторую оптимизацию конфигурации сварного шва.

8. Оптимизация конфигурация сварного шва по результатам расчета.

На карте напряжений видно, что наиболее нагруженными являются горизонтальный и правый вертикальный участки сварного шва, а наименее нагруженным — левый участок. Следовательно, шов можно сделать прерывистым. При редактировании учтем, что расчетная длина углового шва (согласно п. 15.1.7 СП 53-102-2004) должна быть и не менее 40 мм.

Для отрисовки сварного шва выбираем специальный тип линии **Сварной шов** и, используя команду **Через 2 точки** (меню **Рисовать/Отрезок/Через 2 точки**) отрисуем поверх имеющегося сварного шва два отрезка по 40 мм (рис. 5.2.8). Нажмите кнопку **Удалить** панели инструментов **Модификация**, и, затем, щелкните левой кнопкой мыши по «лишним» сварным швам для их удаления оставив лишь стежки по 40 мм.

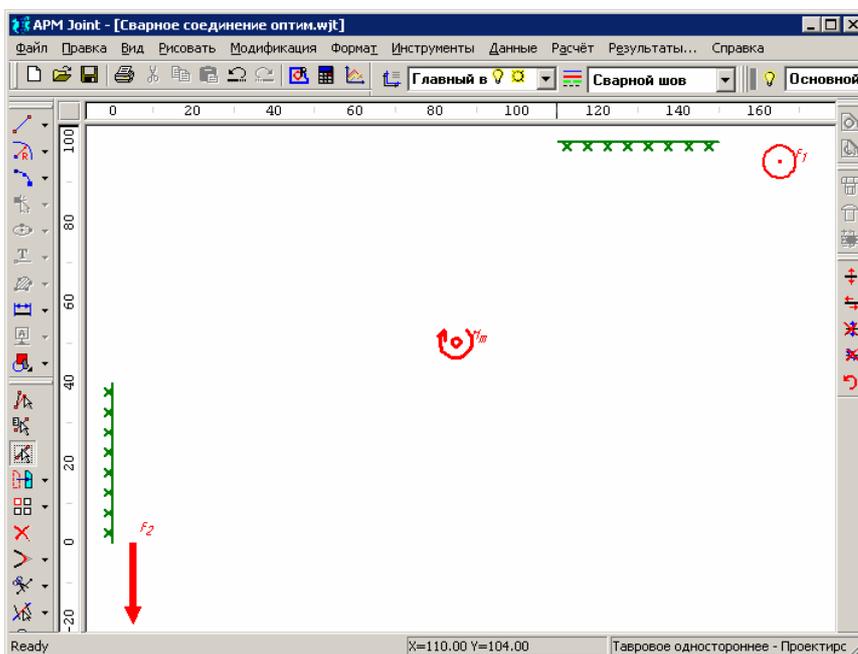


Рис. 5.2.8. Сварной шов после оптимизации

Снова проводим расчет и видим, что распределение напряжений по участкам сварного шва снова изменилось, а значение катета сварного шва увеличилось и стало равным **3,9 мм**. Следовательно, делаем вывод о том, что в результате оптимизации конфигурации сварного шва, т. е. при замене сплошного шва прерывистым, катет не превышает требуемого минимального при значительном сокращении общей длины шва.

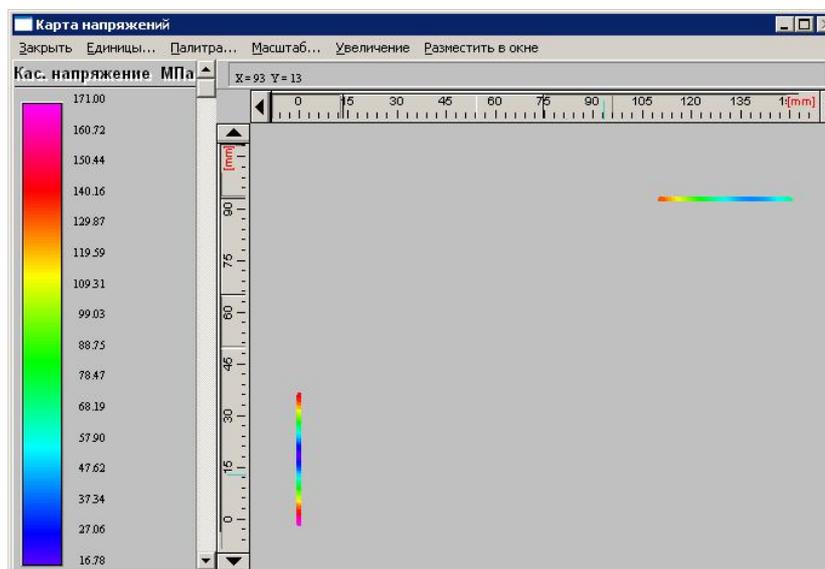


Рис. 5.2.9. Карта напряжений после оптимизации

9. Проведение проверочного расчета

При проведении проверочного расчета можно задать катет сварного шва и определить коэффициент запаса статической прочности. Для перехода в режим проверочного расчета в меню **Расчет/Тип** выбираем **Проверочный**. При этом открывается окно с изображением конфигурации сварного шва. Это окно аналогично тому, с которым мы работали при проведении проектировочного расчета. Значения сил также автоматически переносятся из проектировочного расчета, но с одной особенностью — для выполнения проверочного расчета нужно задавать дополнительные параметры, а именно минимальное значение каждого силового фактора. По умолчанию эти параметры равны нулю, и пользователь должен задать их значения в соответствии с расчетной схемой.

Для задания минимальных значений силовых факторов переходим в режим редактирования сил нажатием кнопки **Модификация**  на панели инструментов **Модификация** (меню **Модификация/Модификация**), а затем щелкаем левой кнопкой мыши на уже заданной ранее силе или моменте. Далее необходимо в поле появившегося диалогового окна **Модификация силы** нажать кнопку **Свойства** и с помощью открывшегося диалогового окна **Нормальная сила** (или **Касательная сила**, или **Момент**) отредактировать параметры силы.

В рассматриваемом случае в этих полях ввода записываем:

- для нормальной силы (окно **Нормальная сила**) в поле ввода **Min значение, Н** — **1000**;
- для момента (окно **Момент**) в поле ввода **Min Z, Н*м** — **-200**;
- для касательной силы (окно **Касательная сила**) в поле ввода **Min Y, Н** оставляем значение, заданное по умолчанию, т. е. **0**.

Для ввода катета сварного шва выберете команду меню **Данные/Дополнительные параметры....** В данном случае удобно ввести минимальный катет сварного шва **7 мм**. Величину эффективного коэффициента концентрации напряжений оставляем равной 3 (значение по умолчанию).

После задания минимальных значений сил и используемого катета производим проверочный расчет, выбрав команду меню **Расчет/Расчет**.

Для просмотра числовых результатов проверочного расчета выбираем меню **Результаты...** и находим, что при величине катета сварного шва **7 мм**, полученного из проектировочного расчета, коэффициент запаса прочности **1.77**.

Практическое задание

Произвести расчет сварного шва, предназначенного для соединения горизонтальной балки и вертикальной колонны с прямоугольными сечениями (рис. 5.2.10).

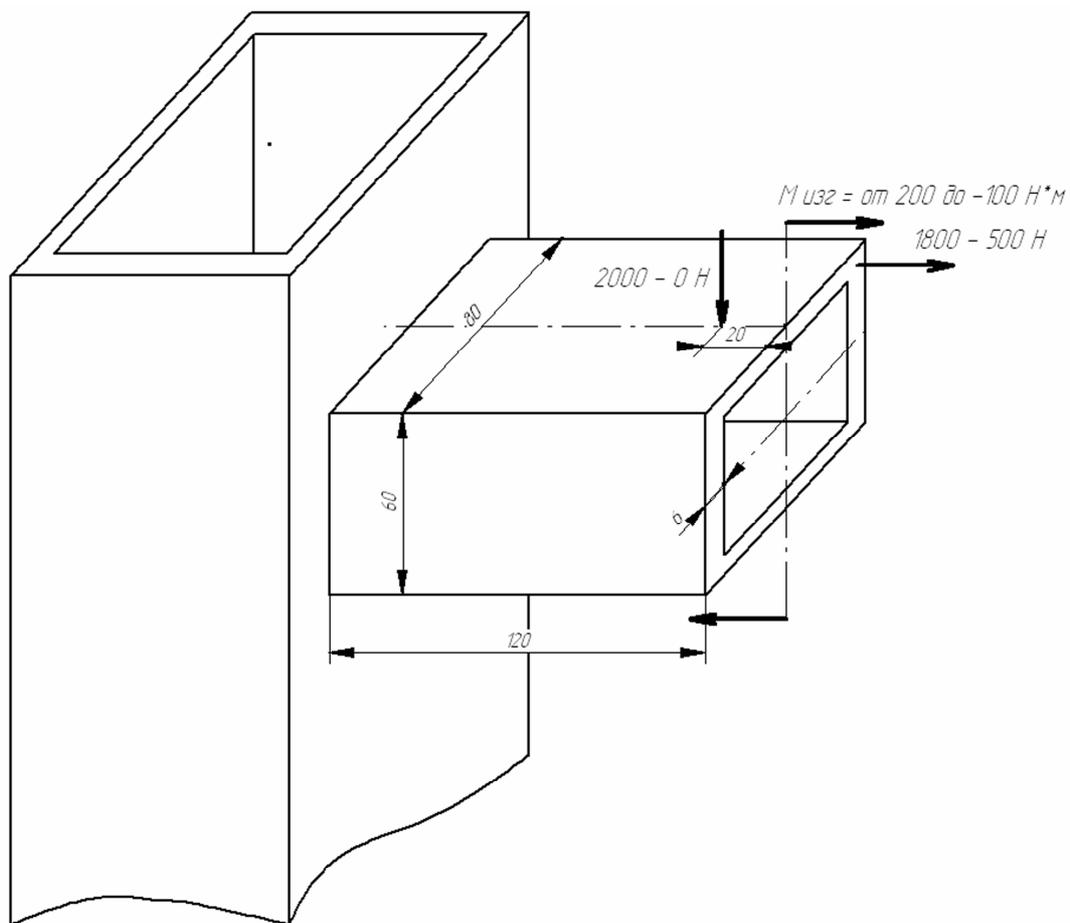


Рис. 5.2.10. Расчетная схема для практического задания