

## 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\*.

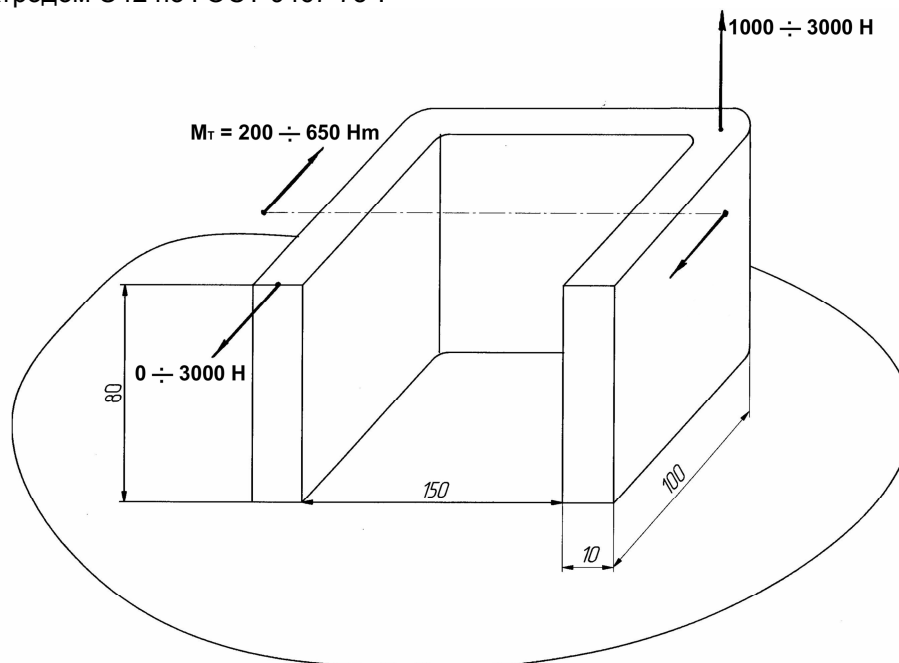


Рис. 5.2.1. Расчетная модель таврового сварного соединения

### 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**.

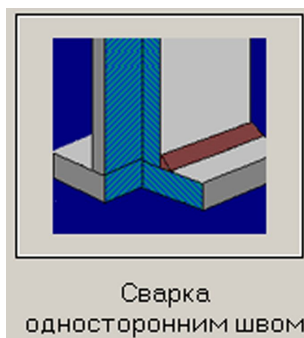




Рис. 5.2.2. Выбор типа сварного соединения

## 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  **Основной**  редактора, а нажатием кнопки **Менеджер слоев**, расположенной слева от списка слоев (меню **Формат/Слои...**), 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**.

 **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.

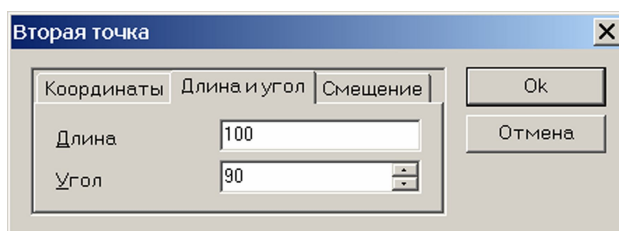



Рис. 5.2.3. Диалоговое окно **Вторая точка**

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 **F<sub>1</sub>** (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 **F<sub>2</sub>**, но они могут быть и пустыми. Завершаем ввод нажатием кнопки **Ок**. Сила изобразится в виде вектора, начало которого соответствует точке приложения силы.

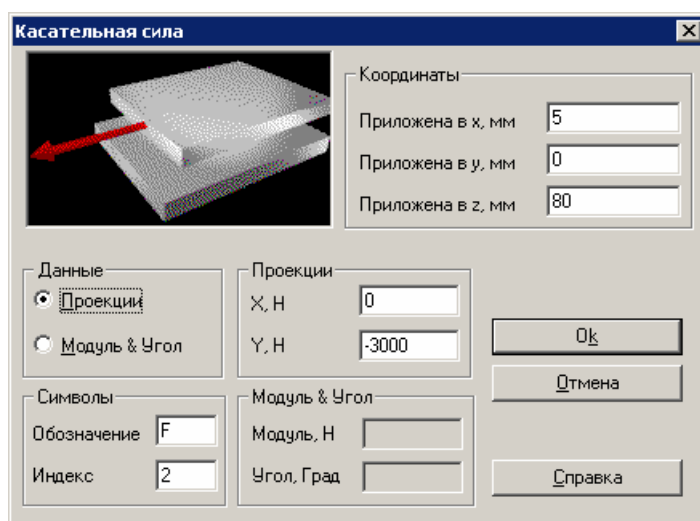






Рис. 5.2.4. Диалоговое окно **Касательная сила**

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, смещать 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.

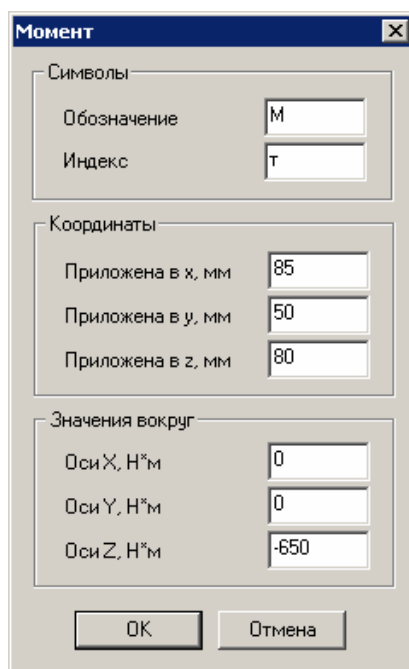



Рис. 5.2.5. Диалоговое окно **Момент**

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).

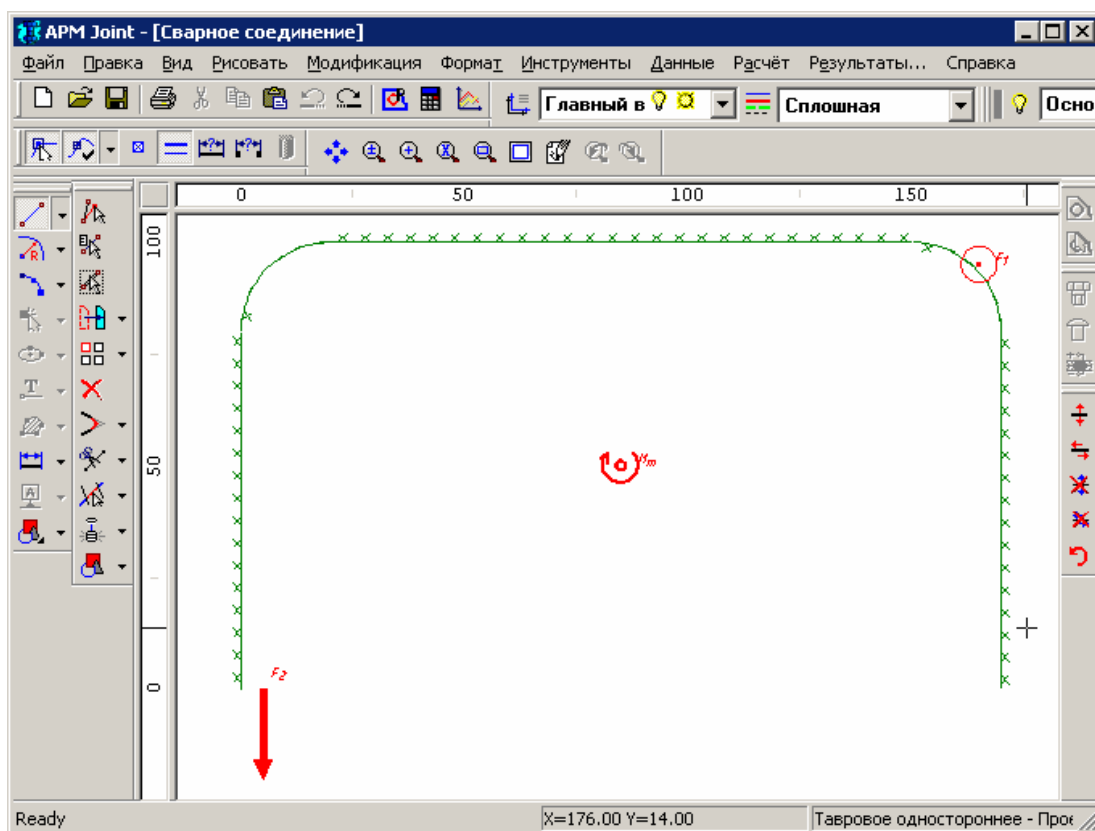


Рис. 5.2.6. Общий вид расчетной модели сварного соединения с нагрузками

#### 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 <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> , II <sub>2</sub> и II <sub>3</sub> .
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 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 результатом 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.

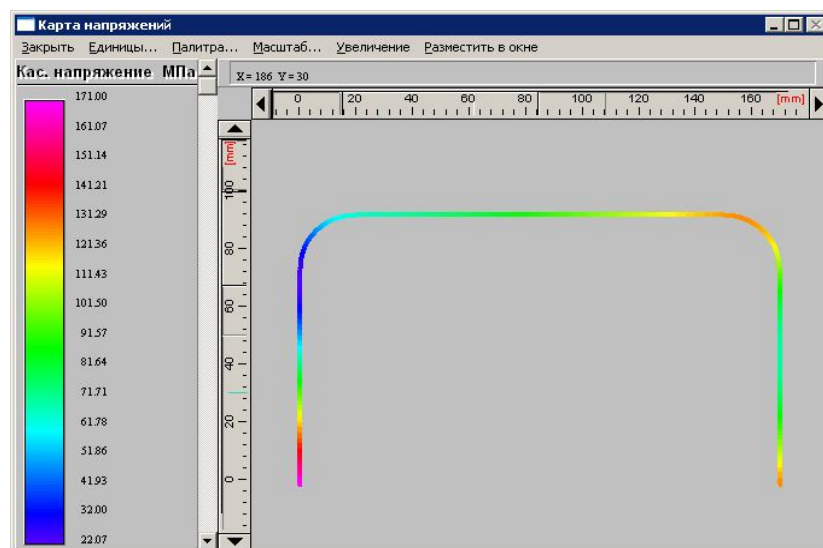


Рис. 5.2.7. Карта напряжений

## 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.

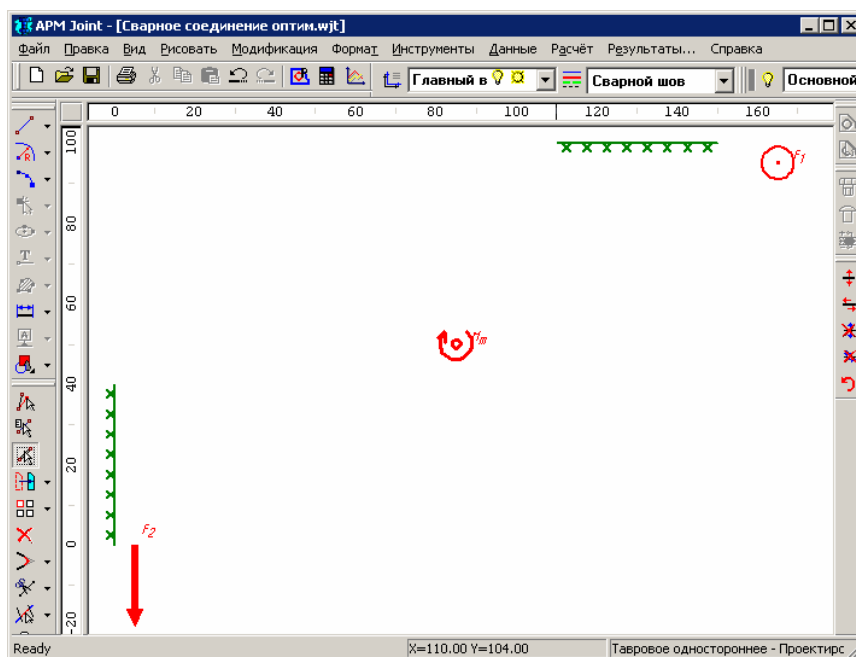


Рис. 5.2.8. Сварной шов после оптимизации

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.

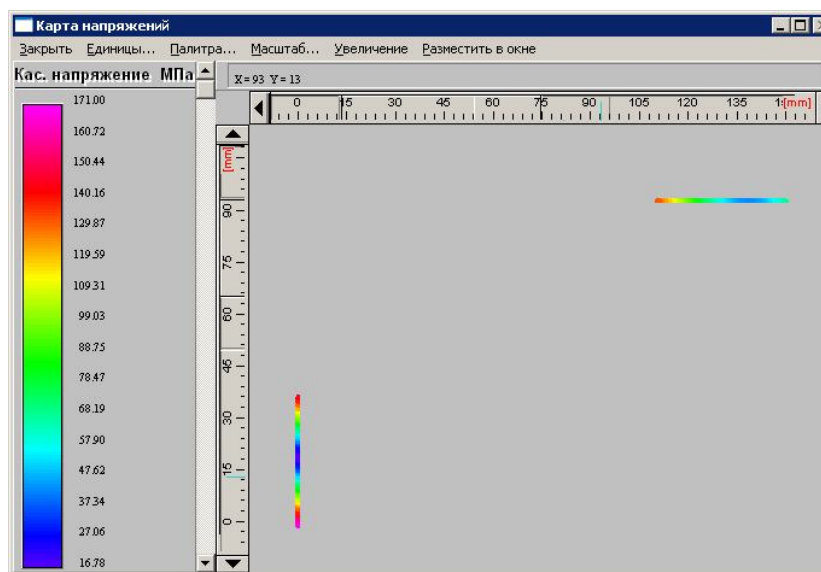



Рис. 5.2.9. Карта напряжений после оптимизации

## 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).

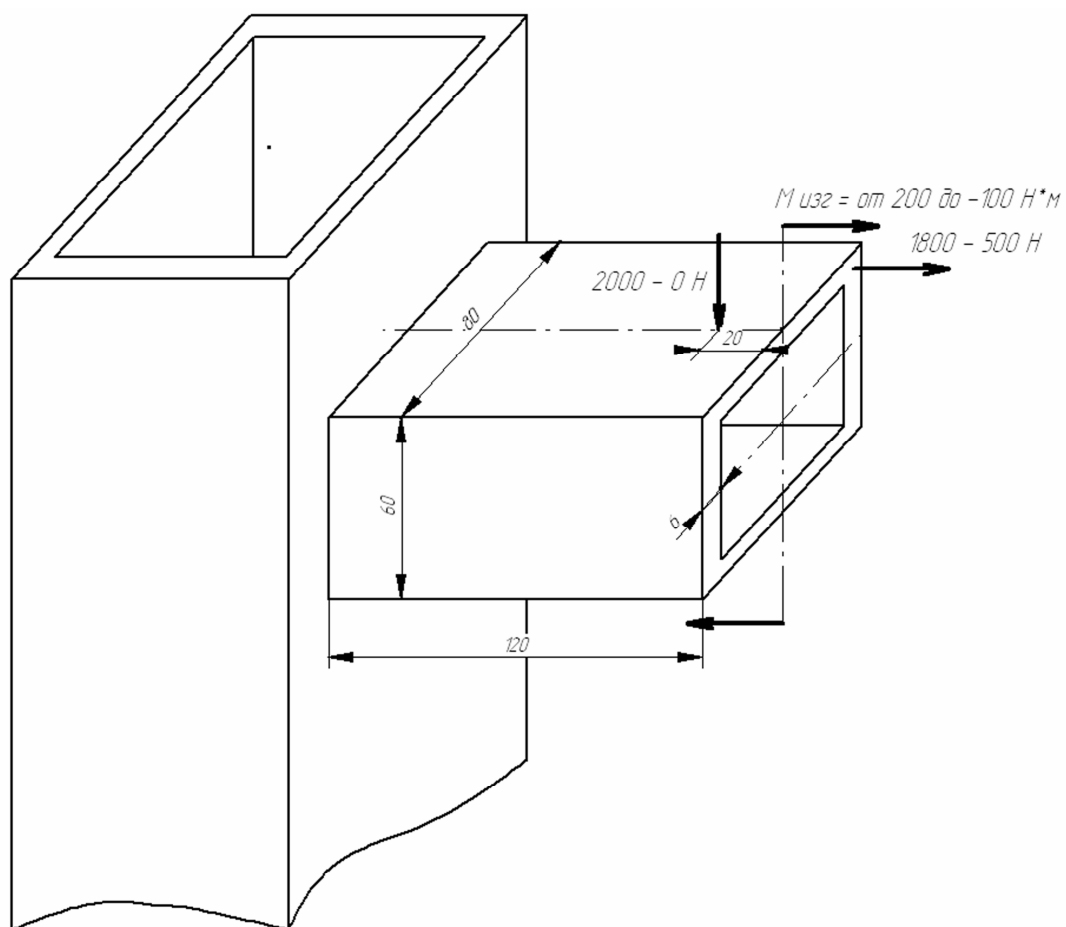


Рис. 5.2.10. Расчетная схема для практического задания