Семинар 1 ДМ.

Расчет сварных соединений

Содержание:

1. Введение. Общие методические указания

2. Сварные соединения.

2.1. Общие сведения

2.2. Расчет стыковых швов

2.3. Расчет угловых швов

2.4. Расчет нахлесточных швов при контактной сварке

2.5. Допускаемые напряжения

2.6. Обозначения сварных швов

2.7. Порядок расчета при статической нагрузке

2.8. Пример расчета сварного соединения

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Общие методические указания

Цель задания — практическое освоение методов расчета различных видов соединений деталей машин и приобретение навыков по выбору их оптимальных параметров.

В семинаре приняты следующие обозначения и размерности основных величин. Линейный размер — l в мм; площадь — A, мм^2; сила — F, Н; напряжения — σ и τ, Н/мм^2 (численно равный мегапаскалю или МПа); момент изгибающий, отрывающий — M; момент крутящий (вращающий), сдвигающий — T, Н • м; мощность — P ,кВт.

Домашние задания выполняют на листах формата А4. С левой стороны оставляют поле, равное 25-30 мм, справа 10-15 мм, остальные поля должны быть не менее 20 мм. Используют только одну сторону листа, пишут четко, без помарок; страницы нумеруют.

Задание снабжают титульным листом, образец оформления которого приведен в приложении 1.

Содержание задания разбивают на отдельные разделы (части), их обозначают цифрами. В свою очередь, каждый раздел разбивают на отдельные пункты. Пункты нумеруют в пределах каждого раздела или части.

Каждый пункт оформляют по следующему плану:

- заголовок с указанием рассчитываемой детали (параметра) и критерия работоспособности (прочность, жесткость, износостойкость и т. п.);
- расчетная схема с указанием всех необходимых размеров, величины, направления и обозначения сил, эпюр сил, моментов и напряжений с указанием их значений;
- наименование выбранного материала с указанием вида термообработки и используемых в расчете характеристик механических свойств;
- определение допускаемых напряжений;
- расчет;
- вывод о полученных результатах.

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Общие методические указания

Расчет оформляют так: записывают расчетную формулу; приводят расшифровку входящих в формулу символов (каждого с новой строки) в той последовательности, в которой они приведены в формуле, с указанием размерности (в пределах задания каждый символ расшифровывают один раз); затем вместо символов в том же порядке, в каком они записаны в расчетной формуле, подставляют их числовые значения; промежуточные вычисления опускают и приводят окончательный результат расчета с указанием размерности.

Для применяемых в расчете формул, коэффициентов и справочных данных делают ссылку на литературный источник, записывая в квадратных скобках порядковый номер источника, под которым он помещен в списке использованной литературы.

В конце выполненного задания дают список использованной литературы.

Сокращение слов в тексте задания не допускается, за исключением общепринятых, например: и т. д., и др.

Полученные при расчете размеры деталей необходимо округлять. При наличии соответствующих стандартов (на резьбу, крепежные детали, шпонки, шлицы и т. д.) размеры деталей округляют до значения, соответствующего стандарту. Если специальных стандартов на рассчитываемый параметр не существует, то линейные размеры деталей необходимо округлять до ближайшего значения из стандартного ряда чисел *Ra*40 (ГОСТ 6636—69), приведенного в приложении 2.

Объектами заданий являются сборочные единицы, характерные для машиностроения общего назначения, сравнительно небольшие по габаритам и состоящие из разнотипных соединений.

Приведенные в пособии рекомендации по выбору материалов, расчетных схем и другие соответствуют указанному характеру представленных сборочных единиц. Более полная информация по этим вопросам содержится в работах [1 — 4].

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Общие методические указания

Во всех заданиях силы, действующие на соединения, следует считать постоянными. Расчет деталей необходимо проводить на статическую прочность. Особенности расчета при переменных нагрузках описаны в работах [1 — 5].

Приведенные допускаемые напряжения и коэффициенты безопасности (запаса) соответствуют средним условиям (по степени ответственности конструкции, требуемой точности расчета и т. п.).

Расчет деталей соединения следует проводить, предварительно выделив соединение из сборочной единицы и составив для него расчетную схему.

Рекомендуется применять следующие материалы:

а) для литых деталей (станины, корпуса, кронштейны, траверсы и т. п.) — чугун СЧ20;

б) для механически обработанных деталей типа фланцев, осей и других — сталь 35 горячекатаную;

в) для деталей сварных соединений (листы, прокат, трубы) — сталь Ст.3;

г) для крепежных деталей — сталь;

д) для шпонок — сталь 45 и др.;

е) для штифтов — сталь;

ж) для валов — сталь 45 термически улучшенную;

з) для винтов и гаек передач винт — гайка скольжения (см. далее подразд. 4.1);

и) для воротков домкратов и прессов — сталь 45 горячекатаную;

к) для заклепок — сталь.

Механические свойства материалов, полученные при испытании гладких стандартных образцов, приведены в табл. 1.1.

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Таблица 1.1

Механические свойства материалов

Материал	Термообработка или состояние	Предел текучести $\sigma_т$, МПа	Временное сопротивление $\sigma_{вр}$, МПа	Модуль упругости E, МПа	Коэффициент Пуассона μ	Твердость, не менее
Ал 4	Отливка в песчаную форму	100	150	$0{,}75 \cdot 10^5$	0,33	50 НВ
СЧ 20		–	200	$1 \cdot 10^5$	0,25	170 НВ
Бр. А9ЖЗЛ		200	400		0,33	100 НВ
Бр. 010Ф1		140	220	$1{,}1 \cdot 10^5$	0,35	80 НВ
Сталь 35 Л	Нормализация	280	500	$2{,}1 \cdot 10^5$	0,3	–
Сталь 50 Л		340	580			–
Сталь Ст.3	Горячекатаная	220	380			–
Сталь Ст.6		300	600			–
Сталь 35		320	540			207 НВ
Сталь 45		360	610			220 НВ
Сталь 45	Улучшенная	650	890			270 НВ
Сталь 45	Закаленная	800	1000			45 HRC
Сталь 40Х	Улучшенная	750	900			270 НВ
Сталь 40Х	Закаленная	1300	1500			45 HRC

Расчет сварных соединений

Общие сведения

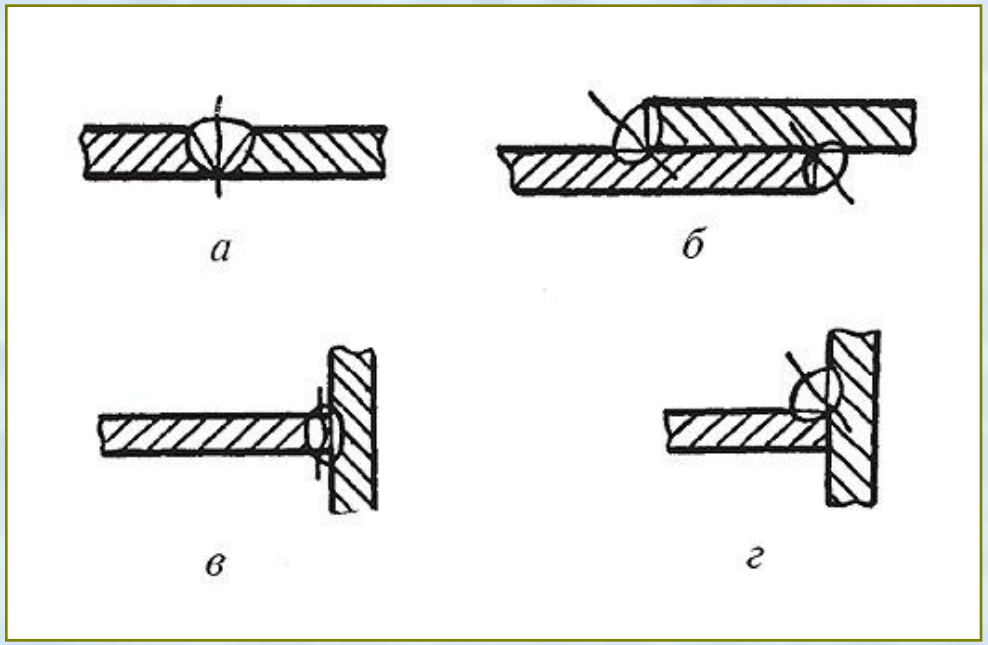
В заданиях представлены малогабаритные сварные соединения стальных деталей для машиностроения общего назначения, выполненные с применением электродуговой или контактной сварки. Сведения об иных сварных соединениях представлены в работах [1 — 4].

Сварные швы выполняют равнопрочными с соединяемыми деталями. Способы достижения равнопрочности также описаны в работах [1 — 4].

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Общие сведения



При действии статической нагрузки разрушение сварного соединения обычно происходит по сечению шва, имеющему наименьшие размеры. Такое сечение называют опасным. На рисунке это сечение отмечено волнистой линией (соединения: *а* — стыковое, шов стыковой; *б* — нахлесточное, шов угловой; *в* — тавровое, шов стыковой; *г* — тавровое, шов угловой).

Расчет стыковых швов

Расчет стыковых швов ведут по номинальному сечению (без учета наплывов) и номинальным напряжениям, для вычисления которых используют известные из курса сопротивления материалов зависимости для сплошных балок. При одновременном действии нормальных σ и касательных τ напряжений в наиболее нагруженной точке сечения определяют эквивалентное напряжение $\sigma_э$ согласно четвертой теории прочности:

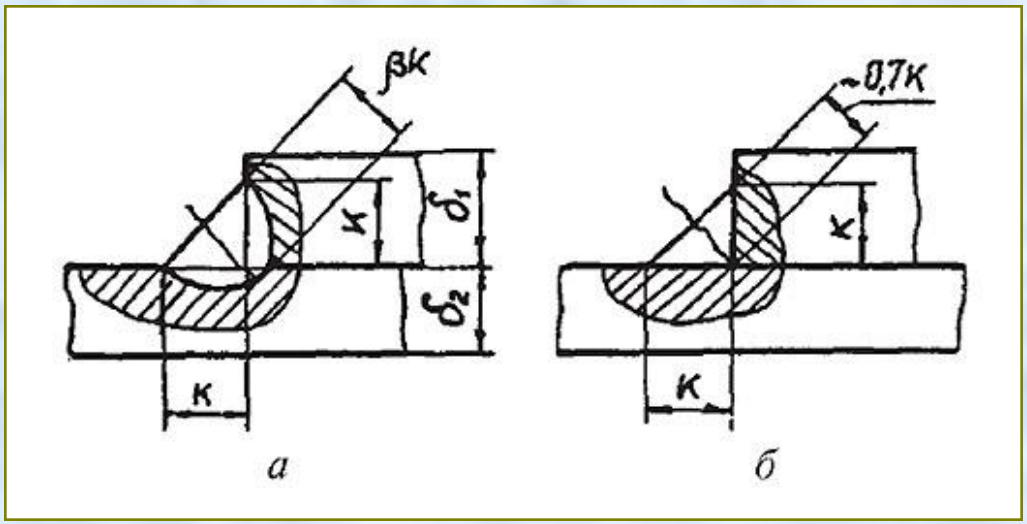
$$\sigma_э = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

Условие прочности имеет вид $\sigma_э \le [\sigma']_р$, где $[\sigma']_р$ находят по табл. 2.1.

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Расчет угловых швов



Угловые швы наиболее часто выполняют с нормальным поперечным сечением с соотношением сторон 1:1 (см. рис.). Сторону сечения шва называют катетом и обозначают к. Разрушение углового шва происходит по наименьшему сечению по плоскости, проходящей через биссектрису прямого угла. Размер шва в этом сечении $\beta \cdot k$, второй размер — длина шва (а).

При многопроходной автоматической и полуавтоматической сварке, а также при ручной сварке принимают $\beta = 0{,}7$, считая шов равнобедренным прямоугольным треугольником (б). Для двух- и трехпроходной полуавтоматической сварки $\beta = 0{,}8$; для такой же, но автоматической сварки $\beta = 0{,}9$, а для однопроходной автоматической $\beta = 1{,}1$. Следует принимать $k < \delta_{min}$. В машиностроении общего назначения обычно $k \geq 3$ мм.

Иные формы поперечного сечения углового шва, фактические законы распределения напряжений и их учет при необходимости высокой точности расчета представлены в [1 — 4].

Расчет угловых швов ведут условно по касательным напряжениям τ. Суммарное касательное напряжение в наиболее нагруженной точке сечения определяют геометрическим сложением составляющих напряжений.

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

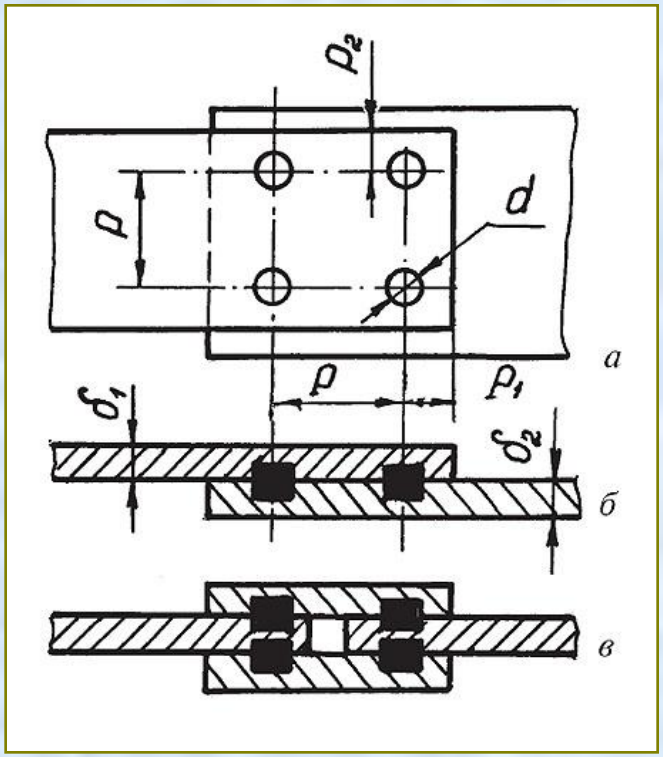
Расчет угловых швов

Напряжения, вызванные центральными силами, считают равномерно распределенными по сечению. Исключение составляют напряжения, вызванные центральной поперечной силой в коротких швах, расположенных перпендикулярно линии действия силы. Ими пренебрегают.

Напряжения, вызванные моментом, считают пропорциональными расстояниям до центра масс (при действии момента в плоскости стыка) или расстояниям до нейтральной линии, проходящей через этот центр (при действии момента в плоскости, перпендикулярной стыку). Поэтому наиболее нагруженной будет одна из наиболее удаленных точек опасного сечения шва.

Условие прочности имеет вид $\tau_\Sigma \le [\tau']_{ср}$, где $[\tau']_{ср}$ находят по табл. 2.1.

Расчет нахлесточных соединений, при точечной сварке



При точечной сварке рекомендуют (см.рис.): $\delta_2 / \delta_1 \le 3$; при $\delta_{min} \le 3$ мм, $d = 1{,}25 \cdot \delta_{min} + 4$ мм; при $\delta_{min} > 3$ мм, $d = 1{,}55 \cdot \delta_{min} + 5$ мм; $P_1 = 2 \cdot d$; $P_2 = 1{,}5 \cdot d$; при сварке двух элементов $P = 3 \cdot d$; при сварке трех элементов $P = 4 \cdot d$.

Расчет ведут на предотвращение среза сварных точек. При действии центральной сдвигающей силы полагают, что все сварные точки нагружены одинаково, а при действии момента в плоскости стыка нагрузка на сварные точки пропорциональна их расстояниям до центра масс точек.

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Расчет нахлесточных соединений, при точечной сварке

Расчет проводят по максимально нагруженной точке (одной из наиболее удаленных от центра), находя действующую на нее суммарную силу $F_{1\,max}^{\Sigma}$ геометрическим сложением. Зависимости для определения силы $F_{1\,max}^{\Sigma}$ (совпадающие с таковыми для группового резьбового соединения, нагруженного в плоскости стыка) приведены в подразд. 3.2, пример определения — в подразд. 3.7.

Напряжение среза для наиболее нагруженной точки

$$\tau_{ср} = \frac{F_{1\,max}^{\Sigma}}{(\pi d^2 \cdot i)/4}$$

Здесь d — диаметр сварной точки, i — число плоскостей среза, $i = n$ —1, где n — число состыкованных деталей. Для соединения, показанного на рис.б, $i = 1$, а для соединения на рис. в, $i = 2$.

Условие прочности имеет вид $\tau_{\Sigma} \le [\tau']_{ср}$, где $[\tau']_{ср}$ находят по табл. 2.1.

Допускаемые напряжения

Таблица 2.1

Допускаемые напряжения для сварных швов при статической нагрузке

Метод сварки	Допускаемые напряжения		
	При растяжении $[\sigma']_р$	При сжатии $[\sigma']_{сж}$	При сдвиге $[\tau']_{ср}$
Автоматическая, ручная электродами Э42А и Э50А	$[\sigma]_р$	$[\sigma]_р$	$0{,}65\,[\sigma]_р$
Ручная электродами обычного качества	$0{,}9\,[\sigma]_р$	$[\sigma]_р$	$0{,}6\,[\sigma]_р$
Контактная точечная	–	–	$0{,}5\,[\sigma]_р$

Допускаемые напряжения для сварных швов отмечают штрихом $[\sigma']$; $[\tau']$. Допускаемые напряжения для сварных соединений из низкоуглеродистых и низколегированных сталей представлены в табл. 2.1.

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Допускаемые напряжения

Допускаемое напряжение на растяжение для основного металла $[\sigma]_p$ можно принять

$$[\sigma]_p \cong \frac{\sigma_T}{1{,}35\ldots1{,}6} \cong (0{,}74\ldots0{,}62)\,\sigma_T ,$$

где $\sigma_т$ — предел текучести основного металла (см. табл. 1.1).

Обозначения сварных швов

От сварного шва проводят выносную линию, оканчивающуюся полустрелкой.

Обозначают:

C — шов стыкового соединения; *H* — шов нахлесточного соединения;

T — шов таврового соединения;

— надпись над горизонтальной чертой характеризует видимый шов;

— надпись под чертой — невидимый шов;

— шов по замкнутому контуру;

k — угловой шов с катетом *k*.

Порядок расчета сварных соединений при статической нагрузке

Расчет сварного соединения ведут в такой последовательности.

1) определяют положение, форму и размеры опасного сечения;

2) поворачивают опасное сечение на плоскость соприкосновения свариваемых деталей (плоскость стыка деталей); поворот проводят в случае, когда опасное сечение шва не совпадает с плоскостью стыка деталей; сечение, полученное после поворота, называют расчетным;

3) находят положение центра масс расчетного сечения;

4) переносят приложенную внешнюю нагрузку в центр масс расчетного сечения;

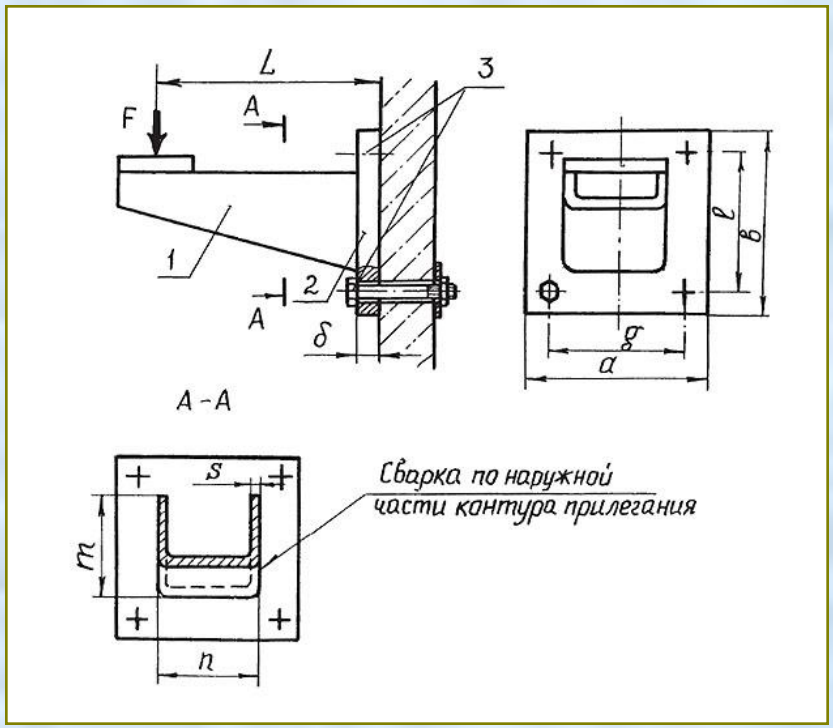
© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Вперед

Порядок расчета сварных соединений при статической нагрузке

5) определяют напряжения, возникающие в расчетном сечении от действия отдельных силовых факторов (нормальной и поперечной сил, изгибающего и крутящего (вращающего) моментов);
6) находят суммарное напряжение для наиболее опасно нагруженной точки расчетного сечения;
7) рассчитывают допускаемое для сварного шва напряжение;
8) сопоставив суммарное напряжение с допускаемым, определяют необходимые для обеспечения работоспособности размеры сечения (проектный расчет) или дают заключение о правильности заданных размеров шва (проверочный расчет).

Пример расчета сварного соединения



Сварной кронштейн (см. рис.) прикреплен к бетонной стене с помощью четырех болтов, поставленных с зазором. Детали кронштейна 1 и 2 выполнены из стали Ст.3, сварены угловым швом с катетом шва k = 5 мм. Сварка ручная электродом обычного качества. Болты 3 выполнены по классу прочности 4.6. Кронштейн нагружен постоянной силой F = 10000 Н.

Размеры: L = 200 мм; δ = 20 мм; $a = b$ = 200 мм; $l = g$ = 150 мм; $m = n$ = 100 мм; s =10мм.

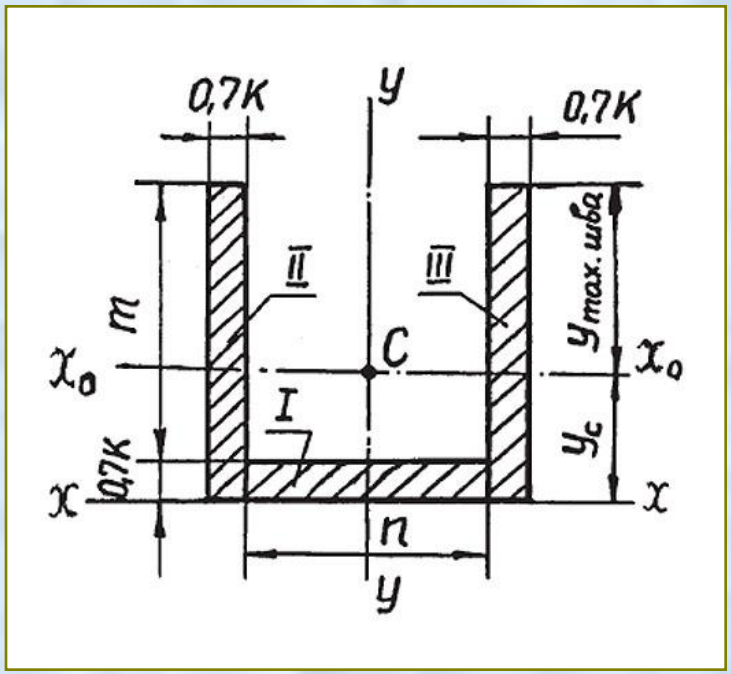
Требуется дать заключение о прочности сварных швов.

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Пример расчета сварного соединения

Решение.



1. Положение, форма и размеры опасного сечения. Сварное соединение тавровое, швы угловые, их рассчитывают по условным касательным напряжениям. Один из размеров опасного сечения шва — биссектриса в равнобедренном прямоугольном треугольнике с катетом k ; второй — суммарная длина швов. На каждом из трех участков сварного шва опасное сечение наклонено под углом 45° к плоскости стыка деталей 1 и 2 (см. рис.).

2. Расчетное сечение (см. рис.). Оно получено поворотом опасного сечения швов на плоскость стыка деталей 1 и 2.

3. Положение центра масс расчетного сечения. Центр масс расчетного сечения (точка *C)* находится на оси симметрии *y—y,* его координата в принятой системе координат *xy*

$$y_C = \frac{S_{x\text{шва}}}{A_{\text{шва}}},$$

где $S_{x\text{шва}}$ — статический момент расчетного сечения шва относительно оси *x—x*;

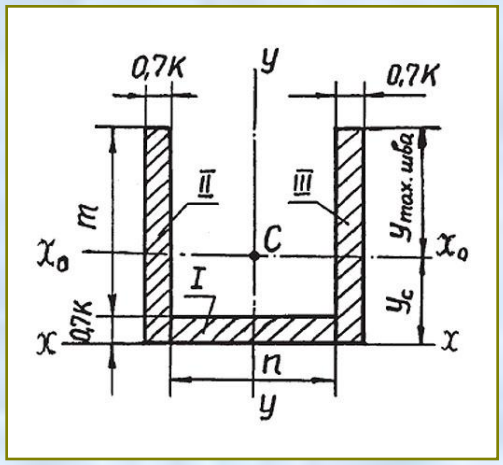
$A_{\text{шва}}$ — площадь расчетного сечения шва.

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Пример расчета сварного соединения

Фигуру, образованную расчетным сечением, разбиваем на три прямоугольника I, II, III. Определяем статические моменты каждого прямоугольника как произведение его площади на его же координату центра масс:



$$S_{x\,\text{шва}} = (n \cdot 0{,}7k)\frac{0{,}7 \cdot k}{2} + 2[(m + 0{,}7k) \cdot 0{,}7k]\frac{m + 0{,}7k}{2} =$$

$$= 100 \cdot 0{,}7 \cdot 5\,\frac{0{,}7 \cdot 5}{2} + 2\,(100 + 0{,}7 \cdot 5) \cdot 0{,}7 \cdot 5\frac{100 + 0{,}7 \cdot 5}{2} =$$

$$= 38105{,}375 \text{ мм}^3;$$

$$A_{\text{шва}} = n \cdot 0{,}7k + 2\,(m + 0{,}7k) \cdot 0{,}7k =$$

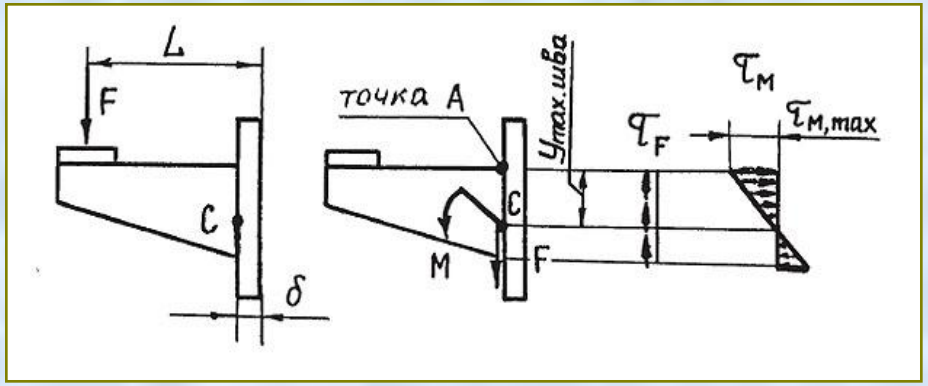
$$= 100 \cdot 0{,}7 \cdot 5 + 2\,(100 + 0{,}7 \cdot 5) \cdot 0{,}7 \cdot 5 = 1074{,}5 \text{ мм}^2;$$

$$y_C = \frac{38105{,}375}{1074{,}5} = 35{,}46 \text{ мм}.$$

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Пример расчета сварного соединения



4. Силовые факторы, действующие на соединение. При параллельном переносе внешней силы в точку C — центр масс расчетного сечения шва (см. рис.) — получаем центральную сдвигающую силу F = 10000 Н и отрывающий момент

$$M = F(L - \delta) = 10000\ (200 - 20) = 1800000\ \text{Н}\cdot\text{мм}.$$

5. Напряжения в расчетном сечении шва (см. эпюры напряжений):

а) от центральной сдвигающей силы F равномерно распределены по сечению

$$\tau_F = \frac{F}{A_{\text{шва}}} = \frac{10000}{1074{,}5} = 9{,}31\ \text{МПа};$$

б) от отрывающего момента M пропорциональны расстоянию до нейтральной линии, проходящей через центр масс; максимальное напряжение в наиболее удаленных точках A

$$\tau_{M,\max} = \frac{M}{W_{\text{шва}\,x_0}} = \frac{M \cdot y_{\max\ \text{шва}}}{I_{\text{шва}\,x_0}},$$

где $W_{\text{шва хо}}$ — момент сопротивления расчетного сечения шва относительно нейтральной оси x_0- x_0, проходящей через центр масс (точку C); $I_{\text{шва хо}}$ — момент инерции расчетного сечения шва относительно этой оси; $y_{\max\ \text{шва}}$ — расстояние от наиболее удаленной точки шва до нейтральной оси.

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Пример расчета сварного соединения

При определении $I_{\text{шва } x_0}$ фигуру, образованную расчетным сечением сварного шва, разбиваем, как и ранее, на три прямоугольника — I, II, III. Используем формулы преобразования моментов инерции при параллельном переносе осей, когда одна из осей является центральной:

$$I_{\text{I}\,x_0} = \frac{n(0{,}7k)^3}{12} + (n \cdot 0{,}7k)\left(y_C - \frac{0{,}7k}{2}\right)^2 = \frac{100(0{,}7 \cdot 5)^3}{12} +$$

$$+100 \cdot 0{,}7 \cdot 5\left(35{,}46 - \frac{0{,}7 \cdot 5}{2}\right)^2 = 39808{,}72 \text{ мм}^4;$$

$$I_{\text{II}\,x_0} = I_{\text{III}\,x_0} = \frac{0{,}7k \cdot (m + 0{,}7k)^3}{12} + 0{,}7k(m + 0{,}7k)\left(\frac{m + 0{,}7k}{2} - y_C\right)^2 =$$

$$= \frac{0{,}7 \cdot 5(100 + 0{,}7 \cdot 5)^3}{12} + 0{,}7 \cdot 5(100 + 0{,}7 \cdot 5)\left(\frac{100 + 0{,}7 \cdot 5}{2} - 35{,}46\right)^2 =$$

$$= 419504{,}8 \text{ мм}^4;$$

$$I_{\text{шва}\,x_0} = I_{\text{I}x_0} + 2 \cdot I_{\text{II}x_0} = 39808{,}72 + 2 \cdot 419504{,}8 = 1237094{,}3 \text{ мм}^4;$$

$$y_{\max \text{ шва}} = m + 0{,}7k - y_C = 100 + 0{,}7 \cdot 5 - 35{,}46 = 68{,}04 \text{ мм}.$$

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Пример расчета сварного соединения

Тогда

$$\tau_{M,\max} = \frac{1800000 \cdot 68{,}04}{1237094{,}3} = 99 \text{ МПа}.$$

6. Суммарные напряжения для наиболее опасно нагруженной точки *A*. Составляющие напряжений в точке *A* взаимно перпендикулярны, поэтому

$$\tau_{\Sigma} = \sqrt{(\tau_F)^2 + (\tau_{M,\max})^2} = \sqrt{9{,}31^2 + 99^2} = 99{,}44 \text{ МПа}.$$

7. Допускаемое напряжение для сварного шва. Так как сварка ручная, электрод обычного качества, то по табл. 2.1 найдем

$$[\tau']_{ср} = 0{,}6 \cdot [\sigma]_p.$$

Допускаемое напряжение на растяжение для основного металла $[\sigma]_p = 0{,}7 \cdot \sigma_т$. Для стали Ст.3 $\sigma_т = 220$ МПа (см. табл. 1.1). Тогда

$$[\tau']_{ср}\ ср = 0{,}6 \cdot 0{,}7 \cdot 220 = 92{,}4 \text{ МПа}.$$

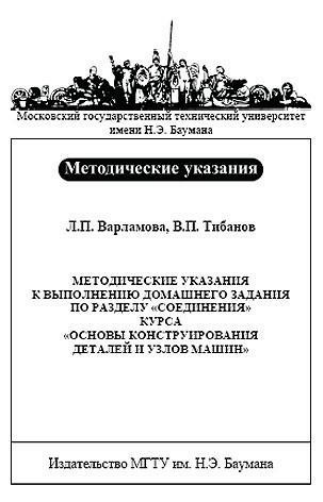
8. Заключение о прочности сварных швов. Так как возникающие в швах напряжения $\tau_{\Sigma} = 99{,}44$ МПа превышают допускаемые $[\tau']_{ср} = 92{,}4$ МПа, то прочность сварного шва недостаточна. Выполним сварку электродом улучшенного качества, в этом случае прочность шва обеспечивается, так как

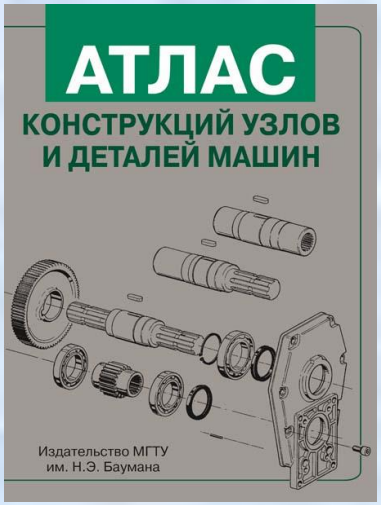
$$[\tau']_{ср} = 0{,}65 \cdot [\sigma]_p; \qquad [\tau']_{ср} = 0{,}65 \cdot 0{,}7 \cdot 220 = 100{,}1 \text{ МПа}.$$

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу Механика ДМ»-2013 МГТУ

Литература к разделу «Расчет сварных соединений»





СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Детали машин /Под ред. О.А. Ряховского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 544 с.
2. Решетов Д.Н. Детали машин. М.: Машиностроение, 1989. 496 с.
3. Иванов М.Н. Детали машин. М.: Высш. шк., 2000. 382 с.
4. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчеты на прочность деталей машин: Справочник. М.: Машиностроние, 1993. 639 с.
5. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т. 1. М.: Машиностроение, 1999. 912 с.
6. Детали машин: Атлас конструкций. В 2 ч.: Ч. 1. /Под ред. Д.Н. Решетова М.: Машиностроение, 1992. 352 с.
7. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. М.: Высш. шк., 2000. 447 с.
8. Иванов В.И. Расчет шлицевых соединений: Метод. указания. М.: МВТУ, 1985. 24 с.

Назад

Вперед

© В.Б. Тарабарин «Семинары по курсу ТММ»-2010 МГИУ ИДО