УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор колледжа
_____ С.Н. Козлов
11.11.2025_____

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ИЗУЧЕНИЮ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА,
ЗАДАНИЯ НА ДОМАШНЮЮ КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ № 1
ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 5-04-0714-07
«ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ
СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

2025

Автор: Селиванова Ю. В., преподаватель высшей квалификационной категории

Рецензент: Рецензент: Луковская Е.О., преподаватель высшей квалификационной категории

Разработано на основании учебной программы учреждения образования по учебному предмету «Проектирование сварных конструкций» профессионального компонента учебного плана учреждения образования по специальности 5-04-0714-07 «Техническая эксплуатация оборудования и технология сварочного производства» для реализации образовательной программы среднего специального образования, обеспечивающей получение квалификации специалиста со средним специальным образованием, утвержденной директором колледжа, 2025

Обсуждено и одобрено на заседании
цикловой комиссии специальностей
в области сварочного производства
Протокол № _ от _____
Председатель цикловой комиссии
_____ Ю.В.Селиванова

Пояснительная записка

Учебная программа учебного предмета «Проектирование сварных конструкций» предусматривает изучение особенностей сварных конструкций и работы отдельных элементов сварных конструкций, а также приобретение навыков конструирования и расчета сварных соединений при статической и динамической нагрузке.

Изучение программного учебного материала базируется на знаниях, полученных учащимися при изучении таких учебных предметов, как «Инженерная графика», «Материаловедение и технология материалов», «Техническая механика», «Стандартизация и сертификация в сварочном производстве», «Техническая эксплуатация оборудования сварки плавлением», «Информационные технологии», «Технология и техническая эксплуатация оборудования газопламенной обработки металлов» и др.

В ходе проведения учебного предмета необходимо соблюдать единство терминологии и обозначения физических, геометрических и технических величин в соответствии с действующими нормами и Международной системой единиц (СИ), обращать внимание учащихся на достижения науки и техники в области технологии сварочного производства.

В результате изучения учебного предмета учащиеся должны знать на уровне представления:

- масштабы производства сварных конструкций в мире и в Республике Беларусь;
- перспективы развития сварных конструкций, значение их для технического прогресса строительной и машиностроительной отраслей;
- возможности компьютерного моделирования при расчете сварных конструкций с использованием программ Ansys, SysWeld;
- знать на уровне понимания:
- виды сварных конструкций;
- основные требования, предъявляемые к сварным швам и конструкциям;
- методы рационального проектирования сварных конструкций, обеспечивающие наименьшую материалоемкость;
- материалы, применяемые в сварных конструкциях;
- основные виды сварных соединений, типы сварных швов, их условное обозначение на чертежах;
- работу сварных соединений при различных нагрузках и воздействиях;

- методы расчета сварных соединений и конструкций;

уметь:

- пользоваться нормативной правовой и справочной литературой;
- выбирать материал для сварных конструкций;
- выполнять расчеты и конструирование сварных соединений и конструкций.

В период экзаменационной сессии проводятся обзорные и практические занятия. На обзорных занятиях освещаются наиболее сложные вопросы учебного предмета, излагается материал, недостаточно полно отраженный в учебных пособиях, сообщаются сведения о новых достижениях науки и техники в области проектирования сварных конструкций. На практических занятиях учащиеся закрепляют теоретические знания, полученные в результате самостоятельного изучения программного материала, и приобретают необходимые практические навыки.

В результате изучения учебного предмета учащиеся выполняют курсовой проект и сдают экзамен.

Общие методические рекомендации по выполнению домашней контрольной работы № 1

Цель методических рекомендаций - помочь учащимся в изучении и систематизации знаний по данного учебного предмета.

Основным методом изучения учебного предмета является самостоятельная работа, которая должна быть обязательно систематической и производиться в последовательности, предусмотренной программой учебного предмета.

Согласно учебному плану учащиеся выполняют одну домашнюю контрольную работу. Задания составлены в 100 вариантах. Вариант домашней контрольной работы определяется по двум последним цифрам шифра учащегося по таблице вариантов и состоит из двух теоретических вопросов и двух задач.

Домашняя контрольная работа выполняется в отдельной тетради четким и разборчивым почерком без исправлений и помарок, в объёме 12-14 страниц. На обложке тетради указываются название учебного предмета, фамилия и инициалы учащегося, номер учебной группы и шифр.

На первой странице следует указать номер варианта и перечислить номера вопросов. Содержание каждого вопроса нужно переписывать полностью из задания непосредственно перед ответом. Каждый ответ необходимо начинать с новой страницы. В конце тетради необходимо оставлять 2-3 страницы для рецензии преподавателя.

В конце работы указывается список используемых источников, оформленный в соответствии с СТУ 01-32-2019, ставится дата окончания работы и подпись учащегося.

В процессе самостоятельной работы над учебным предметом для прочности усвоения теоретических положений и приобретения первичных навыков расчета сварных конструкций рекомендуется вести конспект, в котором должны быть отражены теоретические положения и решены типовые задачи.

При выполнении вычислений необходимо следить за тем, чтобы единицы измерения физических величин, входящих в формулы, были согласованы между собой и соответствовали Международной системе единиц (СИ).

Расчетные формулы, приведенные в методических рекомендациях к решению задач, и входящие в них коэффициенты преобразованы к виду, пригодному для использования, размерность всех параметров согласована.

Работа предоставляется на заочное отделение в срок, установленный учебным графиком.

Домашняя контрольная работа, которая оценена отметкой «не зачтено», должна быть исправлена и до начала лабораторно-экзаменационной сессии предоставлена на заочное отделение.

Критерии оценки домашней контрольной работы № 1

Домашняя контрольная работа оценивается отметкой «зачтено», если правильно выполнено 75% задания, но имеются недоработки, а именно:

- не по существу дан ответ на один теоретический вопрос или на два вопроса даны ответы по существу, но раскрыты не в полном объеме (с существенными замечаниями);
- ход решения задач верный, но имеется математическая ошибка в одной задаче или отсутствует ее логическое завершение.

Домашняя контрольная работа оценивается отметкой «не зачтено» если:

- она выполнена не в соответствии с вариантом;
- не решена одна из задач или есть существенные замечания в двух задачах;
- нет ответа на два вопроса;
- не раскрыт один вопрос и не решена одна задача;
- есть существенные замечания в двух задачах и не раскрыт один вопрос.

Учебная программа учебного предмета и методические рекомендации по его изучению

Введение

Задачи учебного предмета, ее связь с другими учебными предметами. История развития сварных конструкций, их достоинства и недостатки. Вклад отечественной науки и техники в совершенствование сварных конструкций. Перспективы развития сварных конструкций

Литература: [4], с. 5-8; [5], с. 9-14

Методические рекомендации

Необходимо проследить связь между уровнем развития сварных конструкций и потребностями в них народного хозяйства, с одной стороны, а с другой - возможностями технической базы: развитием металлургии, металлообработки, науки и техники.

Необходимо обратить внимание на сущность основных периодов развития сварных конструкций, особо отметив влияние совершенствования сварочных процессов и оборудования на дальнейшее развитие производства и применения сварных конструкций в различных отраслях промышленности.

Проведите сравнительный анализ конструкций из различных металлов, сплавов и полимеров. Сравните конструкции, изготовленные с применением различных способов соединения деталей (сварки, клепки). На основании анализа выясните, какими достоинствами и недостатками обладают металлические конструкции, а чем заключаются основные преимущества сварных конструкций перед клепаными и литыми.

Обратите внимание на характерные особенности прогресса сварных конструкций (применение новых материалов, поиск новых конструктивных форм и видов соединений, совершенствование методов расчета конструкций, внедрение вычислительной техники с системами автоматизированного проектирования).

Раздел 1 Общие сведения о сварных конструкциях
Тема 1.1 Классификация сварных конструкций

Строительные сварные металлические конструкции - решетчатые и листовые сплошностенчатые (каркасы зданий, высотные сооружения,

рамные и балочные конструкции доменного производства, галереи, площадки, лестницы, резервуары, воздуховоды)

Машиностроительные сварные конструкции (емкости, сосуды и аппараты, работающие под давлением, сварные рамы, станины, шестерни)

Трубопроводы всех назначений

Литература: [4], с. 13-14; [5], с. 319-321; [6], с. 3-24

Методические рекомендации

В современной учебной литературе нет единого подхода к классификации сварных конструкций. Поэтому лучше воспользоваться источником литературы 10 и, в соответствии с изложенным в нем принципами классификации рассмотрите основные типы сварных элементов и конструкций, их конструктивные особенности.

Принято разделение конструкций на три группы - строительные металлоконструкции (подкрановые балки, балки рабочих площадок, стропильные фермы, колонны, резервуары и др.), машиностроительные металлоконструкции (тормозные резервуары, автоклавы, бензовозы, рамы вагонов, клетей прокатных станов) и трубопроводы.

Более целесообразной является классификация конструкций в зависимости от характерных особенностей их работы.

Тема 1.2 Материалы, применяемые в сварных конструкциях

Классификация сталей. Влияние химических элементов на свойства стали. Применение в строительных и машиностроительных конструкциях различных марок сталей. Алюминиевые, титановые и медные сплавы, их состав и свойства. Применение алюминиевых, титановых и медных сплавов в сварных конструкциях. Применение новых сплавов и пластических масс в сварных конструкциях. Сортамент стального листового и профильного проката, проката из алюминиевых сплавов. Гнутые профили. Нормативные требования к сортаменту. Конструкционные стали, применяемые в тепловой и атомной энергетике, их марки.

Литература: [4], с. 15-35; [5], с. 33-50; [6], с. 33-61; [7], с. 13-39

Методические рекомендации

Рациональный выбор материала для изготовления сварных

конструкций, наиболее полно удовлетворяющего конкретным требования эксплуатации и простоте выполнения технологического процесса сварки, является одним из основных факторов, обеспечивающих надежность работы сварной конструкции, влияющих на ее массу и стоимость.

Перед изучением темы необходимо повторить материал дисциплины «Материаловедение с основами термообработки».

Низкоуглеродистые и низколегированные стали, например, Ст3сп и 09Г2, чаще применяют в строительных конструкциях, среднеуглеродистые - в машиностроительных, высокоуглеродистые - в инструментальном производстве (таблица 8).

В последнее время расширяется применение прочных сталей (15ХСНД, 16Г2АФ к др.), легированных марганцем, кремнием, никелем, хромом, молибденом и другими элементами.

Большое значение в производстве приобретают стали, обладающие специальными свойствами: повышенной сопротивляемостью коррозии при работе в агрессивных средах (14Х18Н10, 12Х18Н8 и др.), жаропрочностью при работе в условиях высоких температур (12Х2МФБ, 15ХМФ).

Широкое распространение в промышленности наряду со сталью получили цветные металлы и сплавы. Обладая значительно меньшей плотностью по сравнению со сталями, способностью хорошо работать в условиях низких температур, сплавы на основе алюминия и титана применяются в авиации, судостроении, строительстве.

Использование полимеров и композитных материалов для изготовления конструкций (трубопроводов, оболочковых конструкций и др.) является одним из путей экономии металла и более рационального его использования.

Применение сталей повышенной прочности, легких сплавов и пластмасс наряду с эффективными методами расчета позволит решить один из наиболее важных вопросов повышения технологичности сварных конструкций, а именно уменьшить их материалоемкость за счет уменьшения массы конструкций.

В сварных конструкциях металл применяют в виде проката: листовою, сортового, фасонного, а также гнутых и прессованных профилей. Каталог прокатываемых, холодногнутых или прессованных полуфабрикатов и изделий с указанием их основных геометрических размеров, формы сечения, значений допусков и массы, единицы длины - называется сортаментом. Он оформляется в виде государственного стандарта. Например: ГОСТ 19903-74 с изм. Сталь прокатная

толстолистовая. ГОСТ 8509-93 с изм. Сталь прокатная угловая, равнополочная.

Тема 1.3 Основы расчета сварных конструкций на прочность и выносливость

Классификация нагрузок на сварные конструкции. Нормативные и расчетные сопротивления стали. Методика расчета сварных конструкций по предельным состояниям. Основные расчетные формулы. Методика расчета сварных конструкций по допускаемым напряжениям. Определение значений допускаемых напряжений в стали

Сопротивление усталости. Понятие о пределе выносливости

Концентрация напряжений, причины ее возникновения. Меры предупреждения и снижения концентрации напряжений в сварных конструкциях

Литература: [4], с. 37-46; [5], с. 20-33; [6], с. 20-33, 117-125

Методические рекомендации

Общей задачей расчета является обеспечение прочности, жесткости, устойчивости элементов конструкций и конструкций в целом при одновременном удовлетворении требований долговечности и экономичности.

При проектировании сварных конструкций оценка их прочности производится на основании расчетов, которые сводятся в основном к определению напряжений, возникающих в отдельных элементах и частях конструкций под действием различных нагрузок, и проверке условий прочности, гарантирующих безопасность эксплуатации. Условия прочности выражают связь между прочностными характеристиками материала и вычисляемыми при расчете напряжениями. Поэтому, усвоив основные положения расчета на прочность и выносливость отдельных элементов конструкций, Вы сможете разобраться в основах проектирования, конструирования и расчета сварных конструкций, полностью отвечающих эксплуатационным требованиям, экономичных и надежных, успешно решать конкретные задачи по производству сварных конструкций различного назначения.

Приступая к изучению основ расчета на прочность и выносливость, необходимо разобраться, каким нагрузкам могут подвергаться различные конструкции в процессе их эксплуатации.

Необходимо определить, какие нагрузки называют нормативными, какие - расчетными, в какой зависимости они находятся между собой, как определяются.

В соответствии с различными условиями работы конструкций выбираются и методы их расчета. В настоящее время существует два основных метода расчета конструкций: по допускаемым напряжениям и по предельным состояниям. По допускаемым напряжениям рассчитывают машиностроительные конструкции, по предельным состояниям - все строительные конструкции, монтажные приспособления за исключением узлов и деталей, относящихся к области машиностроительных конструкций.

Предельными являются такие состояния, при которых конструкции перестают удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям. Расчет конструкций по предельным состояниям направлен на предотвращение наступления любого из предельных состояний (потеря устойчивости формы, вязкое, хрупкое, усталостное разрушение, недопустимые прогибы и колебания) в течение всего срока эксплуатации конструкции. Нормами проектирования установлены две группы предельных состояний: первая группа - по потере несущей способности или непригодности к эксплуатации; вторая группа - по непригодности к нормальной эксплуатации.

Условие прочности при расчете конструкций по первому предельному состоянию заключается в том, что усилие в элементе конструкции, вызванное расчетным сочетанием нагрузок, не должно превышать минимальной несущей способности элемента, определяемой геометрическими характеристиками сечения и свойствами материала.

Для продольной силы условие прочности можно записать в виде формулы

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \gamma_c \times R_{и(у)}, \qquad (1)$$

где N – нагрузка, кН;

A – площадь сечения, см^2;

γ_c– коэффициент условий работы. Устанавливается на основе экспериментальных и теоретических знаний.

[4], с.39, таблица 3.1.

Для изгибающего момента M условие прочности можно записать в виде формулы

$$\sigma_w^M = \frac{M}{W_w} \leq R_{w(y)}, \qquad (2)$$

где W_w – момент сопротивления сечения сварного шва, см^3.

Расчет производят по расчетной нагрузке, а расчетное сопротивление, в основном, устанавливается нормами проектирования по пределу текучести ($\sigma_т$) следующим образом

$$R = \frac{\gamma \times \sigma_т}{\gamma_m \times \gamma_н}, \qquad (3)$$

гдеγ, γ_m, $\gamma_н$– соответственно коэффициенты: условий работы, надежности по материалу, надежности по назначению.

Условие прочности по второму предельному состоянию ограничивает эксплуатационными требованиями жесткость конструкции, а расчет производят по нормативной нагрузке. Сварные конструкции рассчитывают на жесткость главным образом при изгибе

$$\frac{f}{l} \leq \left[\frac{f}{l}\right], \qquad (4)$$

где $\frac{f}{l}$ – наибольший по абсолютному значению относительный прогиб;

$\left[\frac{f}{l}\right]$ – предельное значение прогиба, устанавливается СНиП II-23-81.

При расчете конструкций по допускаемым напряжениям условие прочности заключается в том, что напряжения (σ или τ) в элементе конструкции от нагрузок нормальной эксплуатации (нормативных нагрузок $N^н$ или$F^н$) не должно превышать допустимого напряжения [σ] или [τ], и имеет вид

$$\sigma = \frac{N^н}{A} \leq [\sigma] \qquad (5)$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \gamma_C \times R_{\text{И(У)}},$$

или

$$\tau = \frac{F^{\text{н}}}{A} < [\tau]$$

(6)

Допускаемые напряжения устанавливаются нормами проектирования как некоторая часть от предела текучести $\sigma_{\text{т}}$ или, для хрупких материалов, от предела прочности $\sigma_{\text{в}}$ и определяются отношениями

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{т}}}{K_1} \qquad (7)$$

или

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{в}}}{K_2}, \qquad (8)$$

где $К_1$, $К_2$ –коэффициенты запаса прочности,

$К_1$>1,3…1,5; $К_2$>2,0…2,4.

Необходимо уяснить основные расчетные формулы, с помощью учебной литературы сравнить и проанализировать методы расчета конструкций по предельным состояниям и по допускаемым напряжениям. На основании анализа сделать вывод, в чем отличие этих методов и какой из них более эффективен. Особое внимание следует обратить на определение допускаемых напряжений и расчетных сопротивлений для конкретных материалов.

Расчетные сопротивления и допускаемые напряжения некоторых марок сталей приведены в таблице 6 и таблице 5 соответственно.

Если расчет на прочность производится при действии на конструкции постоянных нагрузок, то расчетом на выносливость проверяют конструкции, подвергающиеся воздействию многократно действующих подвижных и вибрационных нагрузок.

Необходимо изучить основные понятия: «усталость», «выносливость», «предел выносливости», «цикл напряжений»,

«эффективный коэффициент концентрации напряжений». Зарисуйте графики изменения напряжений, характеризующие различные виды циклов.

Разберитесь с явлением концентрации напряжений, с причинами, ее вызывающими. Ответьте на вопрос. Почему концентрация напряжений особенно опасна при воздействии на конструкцию переменных нагрузок.

Уясните условие выносливости и другие расчетные формулы, необходимые для его проверки.

Раздел 2 Сварные соединения

Тема 2.1 Общие сведения о проектировании сварных конструкций

Основные положения проектирования сварных конструкций. Этапы проектирования. Организация проектирования и изготовления сварных конструкций. Основные требования, предъявляемые к сварным конструкциям: заводские и монтажные

Понятие о технологичности сварных конструкций. Основные направления улучшения технологичности: экономия металла, снижение трудоемкости, экономия времени

Нормативные документы на проектирование, изготовление, монтаж и приемку сварных конструкций

Последовательность выполнения основных сборочно-сварочных работ

Литература: [4] с. 140-148; [5] с. 20-33

Методические рекомендации

Тема включает изучение основных требований к технологичности сварных конструкций, устанавливающих взаимозависимость между технологией изготовления и их конструктивными решениями.

Задача создания конструкций машин или механизмов, предназначенных для выполнения каких-либо новых или известных функций, но новым способом, в практике проектирования встречается довольно редко. В большинстве случаев создаваемая конструкция представляет собой итог работы проектировщиков нескольких поколений. Однако разнообразие назначений, форм и размеров сварных конструкций, а также прогресс техники и технологии не позволяют конструктору просто повторить готовые решения. Оптимальными

являются такие конструктивные формы, которые отвечают служебному назначению изделия, обеспечивают надежную работу в пределах заданного ресурса, позволяют изготовить изделие при минимальных затратах материалов, труда и времени. Эти признаки определяют понятие технологичности конструкции. Кроме того, необходимо, чтобы конструкция отвечала требованиям технической эстетики. Эти требования должны соблюдаться на всех стадиях проектирования конструкции и в процессе ее изготовления.

Проектирование сварных конструкций проходит три этапа: этап эскизного проектирования: создание технического проекта и этап рабочего проектирования.

Необходимо обратить внимание на то, что основные вопросы технологичности сварных конструкций решаются уже на первом этапе проектирования путем умелого использования богатых возможностей компоновки из отдельных заготовок и применения наиболее прогрессивных приемов изготовления с помощью сварки. Технолог не в состоянии эффективно использовать передовую технологию там, где конструкция проработана без учета технологичности. Поэтому на всех стадиях проектирования сварной конструкции при отработке технологичности конструктивных решений обязательно участие технологов -сварщиков.

Только комплексный метод проектирования конструкции и разработки технологии изготовления дает возможность создавать технологичные сварные конструкции.

Особое внимание при изучении данной темы необходимо уделить основным направлениям работы по улучшению технологичности сварных конструкций, а именно: экономии металла, снижению трудоемкости изготовления, экономии времени, т.к. режим экономии является одним из важнейших факторов интенсификации производства.

Основными нормативными документами на проектирование, изготовление, монтаж и приемку сварных конструкций являются: Государственные стандарты; Строительные нормы и правила (СНиП Ш-18-75, СНиП П-6-74, СНиП П-24-74 и другие); технические условия. Ознакомьтесь с содержанием этих документов и сущностью требований, которые они предъявляют к основным этапам проектирования и изготовления сварных конструкций.

Необходимо обратить внимание на то, что именно вариант членения сварной конструкции на отдельные узлы, подузлы, детали определяет последовательность сборочно-сварочных операций. Запомните основные рекомендации, обеспечивающие оптимальный

вариант такого членения.

Особого внимания требует изучение основных направлений совершенствования производства сварных конструкций, так как широкие возможности технологии открывают путь к созданию совершенных и оригинальных конструктивных форм.

Тема 2.2 Сварные соединения и сварные швы

Сварные соединения, выполненные дуговой и контактной сваркой; их виды, основные требования, предъявляемые к ним, их достоинства и недостатки

Типы сварных швов

Сварные соединения, выполненные специальными способами сварки

Понятие о сварных соединениях, получаемых при сварке пластмасс. Клеесварные соединения

Литература: [4] с. 46-65; [5], с. 71-77; [6], с.48-92; [7],с. 22-55

Методические рекомендации

Прочность сварных соединений во многом зависит от их вида. Поэтому изучение данной темы является очень важным этапом для более глубокого понимания условий работы сварных швов под действием различных нагрузок.

Из курсов «Технология сварки плавлением» и «Технология и оборудование сварки давлением» известно, что сварные швы, в зависимости от вида соединения, в котором они применяются, классифицируют таким образом: швы угловых соединений, швы стыковых соединений, швы тавровых соединений и швы нахлесточных соединений, а также еще по многим признакам: по способу, виду и методу сварки, по форме поперечного сечения, по форме подготовленных кромок, по форме наружной поверхности, по положению в пространстве, по расположению относительно действующих усилий и т.д.

Для расчета сварных соединений наибольшее значение имеют различия по форме поперечного сечения (стыковые, угловые), по расположению относительно действующих усилий (фланговые, лобовые, косые, комбинированные), по условиям работы (рабочие и связующие).

Основные типы и конструктивные элементы сварных швов, выполненных дуговыми способами сварки, установлены соответствующими стандартами: ГОСТ 5264-80, ГОСТ 8713-79, ГОСТ 14771-76 и др.

К специальным способам сварки относят: электрошлаковую, диффузионную, холодную, ультразвуковую, электронно-лучевую, сварку трением, взрывом, лазером. Сварные швы соединений, выполненных указанными методами, имеют различные конструктивные элементы и размеры, свойства шва и зоны термического влияния. Это обуславливает и различия при прочностных расчетах сварных соединений.

Для будущего техника-технолога сварочного производства важными будут знания о целесообразности применения различных типов сварных соединений в разных по назначению конструкциях с точки зрения удобства их сборки и сварки, использования физических методов контроля, характерных условий работы.

Необходимо изучить классификацию сварных соединений и швов, установить основные конструктивные элементы для сварных швов, выполненных различными способами сварки.

Обратите внимание на различия условных обозначений сварных швов на чертежах машиностроительных конструкций (ГОСТ 2.312-72) и на чертежах строительных конструкций (ГОСТ 21.107-78).

Тема 2.3 Работа сварных соединений при различных нагрузках и воздействиях

Работа сварных соединений, выполненных стыковыми и угловыми швами. Распределение напряжений на швах

Термическое влияние сварки на соединение. Температурные напряжения и деформаций при сварке

Литература: [4], с. 89-105; [5], с. 99-117; [6], с. 106-128

Методические рекомендации

При изучении данной темы необходимо рассмотреть, как распределяются напряжения в различных видах сварных соединений под действием растягивающих усилий. Распределение напряжений даже в таком благоприятном по своей форме сварном соединении, как стыковое, является неравномерным. Здесь следует обратить внимание, в каких точках рассматриваемых сечений напряжения имеют

максимальные значения, как изменяются по сечению.

Знание этой темы поможет понять различия в работе разных видов сварных соединений, правильно оценивать их прочность и учитывать концентрацию напряжений и ее влияние в зависимости от вида нагрузки (статической, динамической, вибрационной).

Необходимо изучить эпюры распределения напряжений в различных видах сварных соединений, причины возникновения концентрации напряжений в сварных швах и методы их предупреждения.

Тема 2.4 Расчет и проектирование сварных соединений

Расчетные сопротивления сварных соединений. Понятие о равнопрочности сварных швов с основным металлом. Расчет сварных соединений на растяжение, сжатие, срез, изгиб и сложное сопротивление

Расчет стыковых, угловых соединений и соединений внахлестку. Особенности расчета сварных соединений из цветных металлов и сплавов.

Основы проектирования сварных соединений. Принципы выбора рационального вида сварного соединения в зависимости от назначения конструкции

Литература: [4] с. 105-139; [5] с. 117-155; [6] с. 41-79; [7] с. 17-46

Методические рекомендации

Принципы расчета и конструирования сварных соединений те же, что и основных конструктивных элементов. Все сварные швы, разрушение которых может привести к выходу всей конструкции из строя, обязательно рассчитывают по действующему усилию на прочность, а, в необходимых случаях, на выносливость.

Прочность наплавленного металла зависит от свойств сварочных материалов, применяемых методов контроля качества и может быть ниже, такой же или выше прочности основного. Сварные швы должны быть по возможности равнопрочными с основным металлом элементов конструкций. Равнопрочные сварные соединения отвечают требованиям экономичности. Усиление сварного соединения по сравнению с целым элементом удорожает конструкцию и не улучшает ее эксплуатации. Недостаточная прочность сварного соединения понижает несущую способность всей конструкции, не позволяет полностью использовать

рабочее сечение ее элементов.

Таким образом, в соответствии с основными положениями расчета сварных конструкций на прочность, для получения сварного соединения равнопрочного с основным металлом, необходимо сконструировать его так, чтобы напряжения, возникающие под действием усилий в рассматриваемом сечении сварного шва не превышали значений допускаемых напряжений [σ′], [τ′] (при расчете по допускаемым напряжениям) или расчетных сопротивлений R (при расчете по предельному состоянию). Причем, допускаемые напряжения и расчетные сопротивления сварных швов в большинстве случаев отличаются от тех же величин для основного металла.

Так же, как и для основного металла конструкций, расчетные сопротивления наплавленного металла швов устанавливают, в основном, по пределу текучести в соответствии со СНиП 11-23-81*. Изучите значения расчетных сопротивлений стыковых и угловых швов в зависимости от вида нагрузки, способа сварки, вида контроля.

Допускаемые напряжения в швах машиностроительных конструкций устанавливаются в зависимости от допускаемых напряжений основного металла с учетом надлежащего подбора присадочного материала - электродов, проволоки, флюсов. Это позволяет проектировать сварные соединения, равнопрочные основному металлу, не производя определения величины усилий, действующих на них.

При этом необходимо знать, как определяются величины расчетных сопротивлений и допускаемых напряжений сварных швов и от каких факторов зависит их значение.

Формулы для определения расчетных сопротивлений стальных конструкций, установленные главой СНиП 11-23-81, представлены в таблице 6. Рекомендуемые допускаемые напряжения для швов низкоуглеродистых сталей обыкновенного качества и низколегированных приведены в таблице 5.

Рассмотрите характерные особенности расчета стыковых, угловых, нахлесточных соединений при различных видах нагрузок (при действии осевого растягивающего или сжимающего усилия N, изгибающего момента $M_{и}$, поперечной силы F, совместного действия названных усилий). Обратите внимание на вид напряжений (нормальные, касательные), которые возникают под действием различных нагрузок в стыковых угловых швах. Следует помнить, что при расчетах на прочность сварных швов, испытывающих сложное напряженное

состояние (в результате действия различных силовых факторов), определяется результирующее напряжение, равное алгебраической или геометрической сумме напряжений от каждого силового фактора в отдельности.

В общем виде конструирование сварных соединений заключается в установлении, исходя из условия прочности, минимально допустимых размеров сварного шва, удовлетворяющего эксплуатационным требованиям. Здесь учитываются конструктивные и технологические требования, свойства основных и сварочных материалов, вид напряженного состояния шва. Пользуясь условиями прочности для различных видов соединений, необходимо без затруднений определять необходимую длину сварного шва, катет шва, максимальную нагрузку, которую выдержит заданное сварное соединение.

Раздел 3 Сварные конструкции

Тема 3.1 Каркасы промышленных зданий

Понятие о каркасах промышленных зданий. Основные элементы каркаса одноэтажного производственного здания: рамы, колонны, фермы, подкрановые конструкции. Их назначение

Общая устойчивость каркаса здания. Вертикальные и горизонтальные связи

Литература:[4] с. 148-153; [6],с. 255-400

Методические рекомендации

Каркас промышленного здания - это комплекс несущих конструкций, воспринимающих нагрузки от веса ограждающих конструкций (кровля, стены), атмосферные нагрузки, нагрузки от кранов, технологического оборудования и др. Необходимо уяснить общую характеристику каркасов производственных зданий, особенностью которых являются большие пролеты и высота, оборудование их мощными мостовыми электрическими кранами.

Рассмотрите традиционную конструктивную схему каркаса, выясните основное назначение конструкций, входящих в каркас. Обратите внимание на особенности компоновки конструктивной схемы каркаса (расстановку колонн, компоновку поперечных рам, продольную компоновку, расположение связей).

Тема 3.2 Сварные балки

Классификация сварных балок, их назначение и область применения. Требования, предъявляемые к сварным балкам. Расчетные нагрузки, действующие на балки. Основные принципы конструирования сварных балок. Составные сварные балки и их компоновка. Размещение ребер жесткости. Стыки балок и опорные узлы. Типы сварных соединений, встречающихся в балках составного сечения. Понятие об общей и местной устойчивости балок

Принципы расчета сварных балок на прочность, жесткость и устойчивость. Расчет сварных швов балок составного сечения

Основные требования, предъявляемые к подкрановым балкам. Особенности конструирования и расчета подкрановых балок

Литература: [4],с. 153-174;[5],с. 155-225

Методические рекомендации

Балками называются конструктивные элементы сплошного сечения, работающие на изгиб. Балки являются наиболее распространенными элементами конструкций благодаря простоте и малой стоимости изготовления, удобной конструктивной форме. Они входят в состав мостов, вагонов, самолетов, кранов, станков, каркасов, зданий и многих других сооружений.

Изучение этого материала необходимо начать с рассмотрения типов балок, применяемых в сварных конструкциях, и влияния формы поперечного сечения балки на работоспособность конструкции в зависимости от конкретных условий работы балки (прямой чистый изгиб, прямой поперечный изгиб, кручение и т.п.).

При расчете балок встречаются с тремя видами задами:

- заданы размеры балки, известны расчетные усилия - изгибающие моменты и поперечные силы. Требуется проверить прочность балки. В этом случае определяют нормальные и касательные напряжения и сравнивают их с допускаемыми напряжениями или расчетными сопротивлениями;

- заданы балка и допускаемые напряжения (расчетные сопротивления). Требуется определить допускаемую нагрузку на балку. Эта задача также решается с использованием известных из курса «Техническая механика» формул;

- требуется спроектировать балку, обеспечивающую требуемую грузоподъемность. Эта задача решается следующим образом:

- от заданной нагрузки определяют опорные реакции;

- строят эпюры поперечных сил F, изгибающих моментов $M_и$ по их длине;

- находят опасное сечение, т.е. сечение, в котором усилия имеют максимальные значения F_{max}, M_{max};

- вычисляют требуемый момент сопротивления$W_x^{тр}$ поперечного сечения;

- устанавливают высоту балки h исходя из условий требуемой жесткости балки и наименьшего расхода металла;

- устанавливают толщину стенки $S_{ст}$;

- компонуют пояса.

Для экономии материала в составных балках изменяют сечения по длине в соответствии с эпюрой изгибающих моментов. Необходимо обратить внимание на то, что от правильного решения задачи компоновки сечения сварной составной балки во многом зависят экономичность и технологичность балок.

Сечение составной балки, подобранное по максимальному изгибающему моменту, можно уменьшить в местах снижения моментов. Но здесь необходимо учитывать то, что от правильного решения задачи компоновки сечения сварной составной балки во многом зависят экономичность и технологичность балок.

Сечение составной балки, подобранное по максимальному изгибающему моменту, можно уменьшить в местах снижения моментов. Но каждое изменение сечения, дающее экономию материала, несколько увеличивает трудоемкость изготовления балок, и поэтому оно экономически целесообразно только для балок пролетом 10-12 м и более.

После подбора поперечного сечения сваркой составной балки, в связи с тем, что при этом принимались некоторые упрощения и допущения, необходимо производить проверочный расчет для того, чтобы окончательно подтвердить правильность принятых решений. Проверяют прочность, общую и местную устойчивость. Жесткость балки.

Горизонтальные листы (пояса) соединяются с вертикальными (стенкой), как правило, угловыми поясными швами. При работе балки на поперечный изгиб в поясных швах, вследствие совместной деформации шва и основного металла, возникают связующие нормальные напряжения σ, которые в учет не принимаются, и рабочие касательные напряжения τ. Поясные швы обеспечивают работу на изгиб

всего сечения как единого целого. Расчет прочности стыковых балок производится обычно на изгиб.

Подкрановые балки находятся в особо сложных условиях работы. Они испытывают вертикальное давление катков мостовых кранов, горизонтальные поперечные воздействия при торможении тележки и других факторов. Поэтому к расчету и проектированию сварных подкрановых балок Госгортехнадзором предъявляются особые требования.

Расчет подкрановых балок во многом аналогичен расчету обычных балок, но имеет ряд особенностей (связанных с наличием подвижной нагрузки).

Тема 3.3 Сварные колонны

Классификация сварных колонн, их назначение и область применения. Требования, предъявляемые к сварным колоннам. Расчетные нагрузки, действующие на колонны. Основные принципы конструирования сварных колонн сплошного и сквозного сечения. Центральное и нецентральное приложение сил. Типы сечений сварных колонн. Конструкция базовой (опорной части) и оголовков колонн. Узлы сопряжения колонн с балками и фермами. Типы сварных соединений в сварных колоннах

Принципы расчета сварных колонн на прочность и устойчивость. Расчет сварных швов колонн

Литература: [4] с. 174-200; [5] с. 245-280; [6] с. 226-280; [7], с. 305-322

Методические рекомендации

Колонны представляют собой вертикально расположенные стержневые элементы, по которым нагрузка от вышележащих конструкций передается на фундаменты. Они применяются в качестве промежуточных опор перекрытий больших пролетов, вертикальных элементов каркасов зданий, опор эстакад, трубопроводов и т.п.

Поперечные сечения колонн имеют различную форму. Она зависит от значения усилия, наличия эксцентриситета, длины колонны, конструкции опорных закреплений, общей компоновки объекта. Сжатые элементы должны быть не только прочны, но и устойчивы. Поэтому поперечные сечения сжатых элементов должны обладать, возможно, большей жесткостью по всем направлениям.

Сплошные сечения, составленные из комбинации прокатных профилей; швеллеров, двутавров и полос, являются сравнительно простыми, но менее экономичными по расходу материала. Наиболее экономичным типом сечений для центрально сжатых колонн являются трубчатые сечения. Они обладают равной устойчивостью, одинаковой жесткостью по всем направлениям, но применяются редко из-за конструктивных неудобств и высокой стоимости. Сварные колонны, состоящие из трех листов, также достаточно экономичны по затрате материала, так как могут иметь развитое сечение, обеспечивающее колонне необходимую жесткость.

Сварной двутавр является основным типом сечения сжатых колонн. Автоматическая сварка обеспечивает дешевый индустриальный способ изготовления таких колонн.

Расчет колонн, как и балок, включает предварительный подбор сечения и его окончательную проверку.

Подбор сечения стержня сплошной колонны производят в такой последовательности:

- определяют расчетную сжимающую нагрузку N;
- определяют требуемую площадь поперечного сечения А;
- находят радиусы инерции r_x и r_y, используя приближенные зависимости радиусов инерции от конфигурации сечения;
- определяют требуемые высоту и ширину сечения;
- компонуют сечение;
- после компоновки, вычислив геометрические характеристики сечения, производят проверку прочности, устойчивости и гибкости колонны;
- наибольшая гибкость колонны определяется из соотношений.

$$\lambda_x = \frac{l_x}{r_x}$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{r_y},$$

(9)

где l_x и l_y; r_x и r_y – соответственно расчетные длины и радиусы инерции сечения для осей х-х и у-у.

Значение наибольшей гибкости не должно превышать предельного

значения, установленного главой СНиП 11-23-81*.

Далее, по большей из гибкостей находят коэффициент продольного изгиба φи проверяют устойчивость колонны, по формуле

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \times A} \leq R \qquad (10)$$

Кроме этого следует производить проверку местной устойчивости стенки и поясов. Если условия не выполняются, то прибегают к различным конструктивным мероприятиям, таким как, например, укрепление стенки парным продольным ребром жесткости, поперечными ребрами;

Расчет стержня сквозной колонны на продольный изгиб относительно материальной оси производится аналогично расчету стержня сплошной колонны. При расчете стержня относительно свободной оси коэффициент продольною изгиба φ находят в зависимости от приведенной гибкости зависящей от конструкции соединения ветвей.

При этом необходимо ознакомиться с конструктивными требованиями, предъявляемыми к сварным швам колонны.

Тема 3.4 Сварные фермы

Классификация сварных ферм, их назначение. Стропильные и подстропильные фермы, фермы мостов, эстакад, галерей. Расчетные нагрузки, действующие на стропильные фермы. Определение усилий в стержнях ферм графическим и аналитическим методами. Принципы расчета стержней ферм на прочность и устойчивость. Расчет и конструирование фасонок

Конструкция монтажных стыков большепролетных ферм. Опорные узлы ферм

Литература: [4] с. 197-249; [5] с. 280-319; [6] с. 342-371; [7] с. 244-261

Методические рекомендации

Фермами называются решетчатые конструкции, работающие, как и балки, на изгиб. По назначению фермы бывают стропильные, крановые, мостовые и т.д. Конструкция фермы состоит из отдельных стержней, которые соединяются в узлах и образуют геометрически неизменяемую

систему. Нагрузки на ферму действуют, как правило, в узлах, поэтому во всех ее стержнях возникают только продольные усилия сжатия или растяжения при работе в целом на изгиб. Благодаря этому металл в фермах используется более рационально, чем в балках, и они экономичнее балок по массе, но более трудоемки в изготовлении.

При изучении материала следует обратить внимание на исходные данные для выбора типа ферм, на методику определения расчетных нагрузок на ферму, усилий в отдельных ее элементах, выбор поперечных сечений стержней ферм.

Усилия в стержнях ферм определяют графическим (построением диаграммы усилий Максвелла-Кремоны) или аналитическим способом (способом вырезания узлов). В фермах с наклонными поясами проще находить усилия графическим способом, с параллельными - достаточно просто определить аналитическим.

Расчет фермы производят в такой последовательности:

- определяют нагрузку на ферму и вычисляют узловые силы F;
- находят расчетные усилия во всех стержнях фермы и подбирают их сечения;
- рассчитывают и конструируют соединения, узлы и детали.

При подборе сечений растянутых элементов фермы должно быть выполнено условие прочности

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq R \times \gamma, \qquad (11)$$

где N – расчетное усилие в рассматриваемом стержне фермы;

A – площадь сечения стержня;

γ– коэффициент условий работы.

Сжатые элементы, кроме расчета на прочность, проверяются на устойчивость по формуле

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \times A} \leq R \times \gamma, \qquad (12)$$

где φ- коэффициент продольного изгиба.

При этом гибкость и растянутость сжатых элементов не должна превышать предельных значений.

Особое внимание при изучении темы уделите конструктивным особенностям промежуточных, опорных и монтажных узлов фермы. Изучите порядок конструирования узлов, требования к сварным швам,

соединяющим элементы фермы в узлах.

Тема 3.5 Трубопроводы

Классификация и область применения трубопроводов. Магистральные, промысловые, технологические трубопроводы. Нефте- и газопроводы. Межцеховые и внутрицеховые трубопроводы. Структура трубопроводов: узлы, элементы, секции и плети. Детали трубопроводов. Проектирование трубопроводов. Конструкции трубопроводов. Выбор материалов для трубопроводов

Сварные соединения трубопроводов. Сварные детали трубопроводов. Расчет сварных соединений трубопроводов

Литература: [4] с. 318-349; [6], с. 371-400; [7],с. 261-282

Методические рекомендации

Трубопроводы представляют собой устройства для транспортирования жидких, газообразных и сыпучих веществ при различных давлениях и температурах. Большей частью трубопроводы являются сварными конструкциями.

Необходимо рассмотреть классификацию трубопроводов по назначению и особое внимание уделить изучению магистральных, промысловых и технологических трубопроводов. Магистральные трубопроводы транспортируют жидкости и газы от места их добычи к месту переработки или потребления. Отличительной особенностью магистральных трубопроводов является их большая протяженность и постоянный диаметр, достигающий 1420 мм и более. Промысловые трубопроводы предназначены для сбора нефти и газа от скважин и доставки нефти к нефтесборным пунктам, а газов к компрессорным станциям. Они имеют сравнительно небольшой диаметр (100 – 377 мм) и малую протяженность. К технологическим трубопроводам относят трубопроводы промышленных предприятий, по которым транспортируют сырье, полуфабрикаты, готовую продукцию, а также обеспечивающие технологический процесс производства.

Несмотря на большое разнообразие трубопроводов по назначению, рабочим параметрам и размерам, на их сложную, не похожую одна на другую конфигурацию, любой трубопровод можно разложить на подобные составляющие. Рассмотрите назначение, конструктивные особенности, способы соединения структурных составляющих трубопроводов: труб и патрубков, приварных деталей и фланцев, компенсаторов и арматуры и т.д.

Рассматривая трубопроводы как сварные конструкции, можно выделить следующие составные части: линия, деталь, элемент, узел трубопровода, блок, секция, плеть. Необходимо знать их назначение и характерные особенности. Одной из важных особенностей конструкции трубопроводов является то, что, несмотря на многообразие форм и конфигурации, различие в размерах и т.д., сварные соединения трубопроводов ограничены по форме и характеру выполнения.

К конструкциям трубопроводов, кроме общих для всех сварных конструкций требований, предъявляется ряд специфических. Необходимо изучить эти требования, рассмотреть основные принципы конструирования и расчета трубопроводов, обратив внимание на то, что расчет производится по допускаемым напряжениям.

Тема 3.6 Листовые конструкции

Классификация листовых конструкций. Область применения. Листовые конструкции промышленных сооружений. Резервуары вертикальные цилиндрические низкого и повышенного давления. Газгольдеры мокрые и сухие. Бункеры и силосные резервуары. Толстостенные металлоконструкции реактора РБМК-1000. Трубные конструкции теплоэлектростанций, их особенности. Нормативно-техническая документация на изготовление и монтаж листовых и трубных конструкций АЭС и ТЭС

Литература: [4] с. 249-288; [5] с. 319-339; [6] с. 371-400; [7] с. 261-282

Методические рекомендации

Листовыми называются конструкции, состоящие в основном из металлических листов и предназначенные для хранения или транспортирования жидкостей, газов, сыпучих материалов.

К листовым конструкциям относятся: резервуары для хранения нефтепродуктов, воды и других жидкостей; газгольдеры для хранения и распределения газов; бункеры и силосы для хранения и перегрузки сыпучих материалов. Трубопроводы больших диаметров для транспортирования жидкостей, газов, размельченных и разжиженных твердых веществ, специальные конструкции металлургической, химической и других отраслей промышленности (кожухи доменных печей, воздухонагревателей, пылеуловителей, сосуды химической и нефтегазовой аппаратуры, емкости и баки АЭС и т.д.) и другие

конструкции.

Условия работы листовых конструкций весьма разнообразны: они могут воспринимать статические и динамические нагрузки, работать под низким, средним и высоким давлением, под вакуумом, под воздействием низких, средних и высоких температур, нейтральных или агрессивных сред и т.д.

Оболочковые конструкции разделяют на две основные группы. К первой группе относят конструкции, предназначенные для хранения невзрывоопасных и неядовитых жидкостей и газов при давлении $P < 0{,}05$ МПа и температуре $T < 100°C$. Эти конструкции изготовляют согласно общим правилам проектирования и требования эксплуатации промышленных сооружений. Ко второй группе относят конструкции (котлы и другие сосуды), работающие под высоким давлением. Эти конструкции проектируют и изготовляют согласно специальным техническим условиям.

Листовые конструкции, как правило, испытывают двухосное напряженное состояние. При изготовлении листовых конструкций необходимы операции, не требующиеся при производстве обычных металлических конструкций: фасонный раскрой листового проката, вальцовка обечаек из листового и колец из фасонного проката, изготовление рулонных заготовок, штамповка и др. Листовые конструкции имеют большую протяженность сварных швов, что способствует более широкому применению механизированных способов сварки. К сварным швам листовых конструкций предъявляются повышенные требования, поскольку они должны быть не только прочными, но и плотными.

Сварные соединения выполняются стыковыми, нахлесточными, тавровыми. Наиболее целесообразно стыковое соединение, обуславливающее наименьший расход металла и высокую надежность соединения.

Специфика работы и эксплуатации листовых конструкций учитываются принятыми в нормах коэффициентами условий работы.

Рассмотрите основные расчетные формулы для определения напряжений в оболочках простейших форм (шаровой, цилиндрической, конической). Ознакомьтесь с особенностями проектирования и эксплуатации различных листовых конструкций (цилиндрических вертикальных и горизонтальных резервуаров, шаровых и цилиндрических газгольдеров, бункеров и силосов, тонкостенных сосудов).

Тема 3.7 Сварные детали и узлы машин

Применение сварки при изготовлении машиностроительных конструкций. Замена литых и кованых деталей машин сварными

Особенности проектирования и изготовления сварных деталей и сборочных единиц машин. Обеспечение прочности и жесткости конструкции

Барабаны грузоподъемных машин, корпуса и крышки редукторов, сварные рамы, валы, зубчатые колеса, их конструктивные решения и основы расчета

Литература: [4], с. 311-315; [6], с. 283-305

Методические рекомендации

В настоящее время большое количество разнообразных деталей и узлов машин изготавливаются сварными. Изделия тяжелого машиностроения - станины, прессы, валы, различные тепловые установки большой мощности - выпускаются индивидуально или мелкими сериями. Сварные рамы, барабаны имеют толщину стенок до 100 мм и более, часто свариваются электрошлаковым способом сварки. Крупногабаритные толстостенные конструкции производятся в судостроении, атомном машиностроении и других видах химического машиностроения. Сварные элементы столь больших толщин заменяют крупногабаритные поковки, отливки. Из проката, отливок, поковок меньших габаритов сваривают крупногабаритные объекты, создание которых единым металлургическим процессом оказалось бы трудноосуществимым или даже невозможным.

Сварка находит широкое распространение при изготовлении приборов - механических, оптических, радиотехнических, электронных. В основном это микроплазменная, контактная, лазерная сварка.

Необходимо уяснить особенности изготовления сварных деталей в массовом и единичном производстве.

При проектировании деталей машин следует учитывать следующие факторы:

- широкий диапазон применяемых марок сталей - низкоуглеродистые, низколегированные, высоколегированные;

- в деталях машин размеры элементов нередко определяются условиями не прочности, а жесткости. В этом случае рабочие напряжения принимаются значительно ниже допускаемых;

- большое значение имеет точность изготовления. Так как остаточные напряжения с течением времени могут менять свое значение, в сварных конструкциях появляются деформации. Поэтому сварные изделия, изготавливаемые и обрабатываемые по высшим квалитетам точности, необходимо после сварки подвергать термической обработке.

Ознакомьтесь с расчетами прочности различных сварных деталей машин: сварных барабанов, корпусов и крышек редукторов, рам, зубчатых колес, и с основными положениями их расчета.

Список используемых источников

Основная литература

1 СНиП II-23-81. Стальные конструкции. Нормы проектирования.

2 СНиП II-24-74. Алюминиевые конструкции. Норма проектирования.

3 СТУ СМК 4.04-2011 Стандарт учреждения. Общие требования к оформлению текстовых документов.

4 Блинов, А.Н. Сварные конструкции / А.Н. Блинов, К.В. Лялин. М., 1990.

5 Куркин С.А., Ховов В.М. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций : учеб. пособие для вузов / С.А. Куркин, В.М. Ховов. М., 2002.

6 Михайлов, А.М. Сварные конструкции: Учеб. пособие / А.М. Михайлов. М., 1983

7 Овчинников, В.В. Расчет и проектирование сварных конструкций / В.В. Овчинников. М., 2010.. Расчет и проектирование / Г.А.Николаев, В.А.Винокуров. – М.: Высшая школа, 1990.

8 Николаев, Г.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций / Г.А.Николаев, С.А.Куркин, В.А.Винокуров. – М.: Высшая школа, 1982.

9 Николаев, Г.А. Сварные конструкции. Технология изготовления. Автоматизация производства и проектирования сварных конструкций / Г.А.Николаев, С.А.Куркин, В.А.Винокуров. – М.: Высшая школа, 1983.

10 Овчинников, В.В. Расчет и проектирование сварных конструкций / В.В.Овчинников. – Москва: Издательский центр «Академия», 2010. – 256 с.: ил

Дополнительная литература

1 Винокуров, В.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / В.А. Винокуров, С.А. Куркин, Г.А. Николаев ; под ред. Б.Е. Патона. М., 1996.

2 Копельман, Л.А. Основы теории прочности сварных конструкций : учеб. пособие / Л.А. Копельман. 2е изд., испр. СПбГПУ., 2010.

3 Куркин, С.А. Проектирование сварных конструкций в машиностроении / С.А. Куркин. М., 1975.

4 Куркин, С.А. Технология, механизация и автоматизация производства сварных конструкций. Атлас сварных конструкций / С.А.

Куркин, В.М. Ховов. М., 1989.

6 Николаев Г.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций : учеб. пособие / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. М., 1971.

7 Николаев Г.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций : учеб. пособие / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. М., 1982.

8 Николаев Г.А. Сварные конструкции. Технология изготовления. Автоматизация производства и проектирование сварных конструкций : учеб. пособие / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. М., 1983.

9 Овчинников, В.В. Расчет и проектирование сварных конструкций. Практикум и курсовое проектирование / В.В. Овчинников. М., 2010.

10 Поповский, Б.В. Изготовление и монтаж крупногабаритных листовых конструкций / Б.В. Поповский, В.Н. Дикун. М., 1983.

11 Сварка в машиностроении : справ. / редкол. : Г.А. Николаев [и др.] ; под ред. В.А. Винокурова. М., 1979.

12 Сварка и резка в строительстве : учеб. пособие / С.Н. Жизняков, В.И. Мельник. М., 1995.

13 Сварка. Резка. Контроль : справ. / под общ. ред. Г.Г. Алешина, Г.Г. Чернышова. М., 2004.

Перечень примерных вопросов к экзамену по учебному предмету «Проектирование сварных конструкций»

1 Назовите типы сварных соединений и швов.

2 Назовите назначение колонн. Перечислите и охарактеризуйте основные элементы сварных колонн.

3 Дайте классификацию сварных конструкций.

4 Объясните методику расчета сварных конструкций по предельным состояниям.

5 Укажите применяемый сортамент для стальных конструкций.

6 Объясните методику расчета сварных конструкций по допускаемым напряжениям.

7 Дайте общие сведения о сварных конструкциях.

8 Опишите основные принципы расчета и конструирования сварных балок.

9 Охарактеризуйте низколегированные стали, назовите область их применения, приведите пример маркировки.

10 Опишите методику расчета сварных угловых швов, воспринимающих осевую и поперечную силы.

11 Охарактеризуйте среднелегированные стали, назовите область их применения, приведите пример маркировки.

12 Опишите методику выбора толщины стенки сварной балки.

13 Охарактеризуйте высоколегированные стали, назовите область их применения, приведите пример маркировки.

14 Опишите методику расчета сварных швов, соединяющих пояса со стенкой сварных балок.

15 Охарактеризуйте применение пластических масс для изготовления сварных конструкций.

16 Опишите каркасы промышленных зданий. Дайте характеристику основных элементов одноэтажного производственного здания.

17 Дайте определение технологичности сварных конструкций. Назовите основные направления по улучшению технологичности.

18 Опишите методику расчета стержня центрально-сжатой сплошной колонны.

19 Перечислите и охарактеризуйте нагрузки, действующие на сварные конструкции.

20 Охарактеризуйте углеродистые качественные стали, назовите область их применения, приведите пример маркировки.

21 Объясните, как устанавливают нормативные и расчетные

сопротивления стали.

22 Приведите классификацию типов сечения сварных и прокатных балок. Сделайте сравнительный анализ.

23 Опишите методику расчета сварных угловых швов, воспринимающих осевую силу и изгибающий момент.

24 Опишите методику подбора сечений растянутых стержней ферм.

25 Назовите основные элементы трубопровода.

26 Приведите расчетные длины стержней колонн.

27 Охарактеризуйте углеродистые стали обыкновенного качества, назовите область их применения, приведите пример маркировки.

28 Опишите методику расчета сварных стыковых швов, воспринимающих осевую силу.

29 Опишите методику расчета сварных стыковых швов, воспринимающих осевую и поперечную силы.

30 Назовите и охарактеризуйте типы сечений стержней ферм.

31 Как обеспечить местную устойчивость элементов сварных балок.

32 Объясните назначение и дайте классификацию сварных ферм.

33 Объясните, как выбирается высота сварной балки.

34 Опишите расчет сварных угловых швов, воспринимающих поперечную силу и изгибающий момент.

35 Назовите и опишите типы сечений центрально-сжатых сплошных стержней колонн.

36 Объясните методику расчета сварных угловых швов, воспринимающих осевую силу.

37 Объясните причины возникновения сварочных напряжений и деформаций их влияния на прочность сварных конструкций.

38 Объясните конструкцию сквозных колонн и опишите расчет стержня центрально-сжатых сквозных колонн.

39 Объясните, как устанавливают расчетные сопротивления сварных швов.

40 Опишите методику определения усилий в стержнях ферм методом сечений.

41 Как обеспечить общую устойчивость сварной балки.

42 Объясните методику подбора сжатых стержней ферм.

43 Объясните, как проверить сварную балку двутаврового сечения на прочность.

44 Опишите методику расчета соединительных планок сквозных

колонн.

45 Опишите причины, вызывающие концентрацию напряжений в сварных соединениях.

46 Объясните методику расчета базы колонн.

47 Опишите расчет сварных соединений, выполненных контактной точечной сваркой, воспринимающих осевую силу.

48 Объясните методику проверки сварной балки двутаврового сечения на жесткость.

49 Объясните методику расчета и конструирования узлов ферм.

50 Объясните, в чем отличие между рабочими и собственными напряжениями.

51 Укажите, в чем сходство и различие между фермой и балкой.

52 Опишите методику подбора сечений растянутых стержней ферм.

53 Дайте классификацию ферм по системе решетки.

54 Опишите конструкцию и принцип действия мокрого газгольдера.

55 Объясните методику определения толщины стенки балки.

56 Опишите конструкцию вертикального цилиндрического резервуара с плоским днищем.

57 Опишите конструкцию и принцип действия сухого газгольдера.

58 Опишите конструкцию горизонтального цилиндрического резервуара.

59 Опишите конструкцию силосного резервуара.

60 Опишите конструкцию шарового резервуара.

Задания на домашнюю контрольную работу № 1 по учебному предмету «Проектирование сварных конструкций»

1 Объясните достоинства и недостатки сварных металлических конструкций.

2 Объясните перспективы развития сварных конструкций.

3 Дайте классификационную характеристику сварных конструкций, применяемых в строительстве и машиностроении.

4 Опишите основные марки углеродистых, низколегированных сталей, применяемых для изготовления сварных конструкций в строительстве, машиностроении, приборостроении.

5 Назовите, какие цветные сплавы применяются для изготовления сварных конструкций? Опишите их состав и основные свойства. Охарактеризуйте применение полимеров и композиционных материалов в сварных конструкциях.

6 Укажите применяемый сортамент проката для изготовления сварных стальных конструкций и сортамент для конструкций из алюминиевых сплавов.

7 Дайте характеристику нагрузок, действующих на строительные конструкции. Назовите нормативные документы, регламентирующие нагрузки.

8 Охарактеризуйте нормативные и расчетные сопротивления стали. Объясните, как их устанавливают.

9 Дайте характеристику групп предельных состояний и объясните методику расчета строительных конструкций по предельным состояниям.

10 Назовите, в зависимости, от каких факторов устанавливают допускаемые напряжения? Объясните методикурасчета машиностроительных конструкций по допускаемым напряжениям.

11 На основании сравнения методов расчета конструкций по предельным состояниям и по допускаемым напряжениям объясните, почему строительные конструкции рассчитывают по предельным состояниям.

12 В чем особенность работы стали при переменных нагрузках? Объясните основные понятия (усталость, выносливость, предел выносливости, цикл, характеристики цикла).

13 Поясните, как производится расчет сварных конструкций на выносливость.

14 Дайте классификацию сварных соединений и швов, выполненных дуговой сваркой, по всем признакам.

15 Дайте характеристику сварных соединений, выполненных контактной сваркой (назначение, виды, основные требования).

16 Дайте характеристику сварных соединений, выполненных специальными способами сварки.

17 Опишите особенности сварных соединений, полученных при сварке пластмасс. Клеесварные соединения.

18 Опишите причины, вызывающие концентрацию напряжений в сварных соединениях. Как распределяются напряжения в стыковых сварных соединениях?

19 Укажите, как распределяются напряжения в нахлесточных и тавровых соединениях, назовите меры, применяемые для снижения их концентрации.

20 Назовите основные меры предупреждения и снижения концентрации напряжений в сварных конструкциях.

21 Объясните причины возникновения сварочных деформаций и напряжений, их влияние на прочность сварных конструкций.

22 Поясните, как производится выбор расчетных сопротивлений и допускаемых напряжений сварных соединений.

23 Объясните в чем особенность расчета сварных стыковых (прямых и косых) швов на прочность при действии осевой нагрузки.

24 Опишите основные типы балок и область их применения.

25 Опишите методику предварительного подбора сечения сварных балок.

26Объясните, как выбирается высота сварной балки.

27Опишите методику выбора толщины стенки сварной балки.

28Опишите, как определяются основные размеры поясов сварных балок.

29Опишите методику проверки балки на прочность, жесткость и устойчивость.

30Объясните, как обеспечивается общая устойчивость балки.

31 Опишите, как производится проверка и обеспечивается местная устойчивость сжатых элементов балки.

32Объясните, как выполняется конструктивное оформление сварных стыков балок (заводских и монтажных).

33Дайте общую характеристику и классификацию трубопроводов.

34 Приведите характеристику составных частей трубопроводов: линия, деталь, элемент, узел, блок, секция, плеть.

35 Дайте общую характеристику и укажите особенности а также, классификацию конструкций оболочкового типа и область их применения.

36 Назовите и охарактеризуйте особенности и эффективность применения сварки при изготовлении машиностроительных конструкций.

37 Назовите и охарактеризуйте основные преимущества сварных деталей машин перед литыми и коваными, особенности изготовления сварных деталей и сборочных единиц машин.

38 Назовите основные типы колонн и область их применения

39 Объясните особенности конструирования центрально-сжатых сплошных колонн.

40Объясните методику расчета на прочность и устойчивость центрально-сжатых сплошных колонн.

41 Объясните методику расчета на прочность и устойчивость центрально-сжатых сквозных колонн.

42 Объясните особенности расчета на прочность и устойчивость сквозных колонн.

43 Назовите основные типы ферм и область их применения.

44 Опишите методику определения усилий в стержнях ферм методом вырезания узлов.

45-58 Задача

Проверьте прочность стыкового сварного соединения листов сечением bxS на совместное действие расчетных изгибающего момента M и продольной силы N в соответствий с рисунком 1.

Материал листов - сталь, сварка ручная с полным проваром и визуальным контролем качества. Шов выводится на выводные планки ($L_ш = b$).

Расчеты выполнить по предельному состоянию.

Данные для задачи взять из таблицы 1.

Рекомендации по решению задачи приведены в методических указаниях ниже.

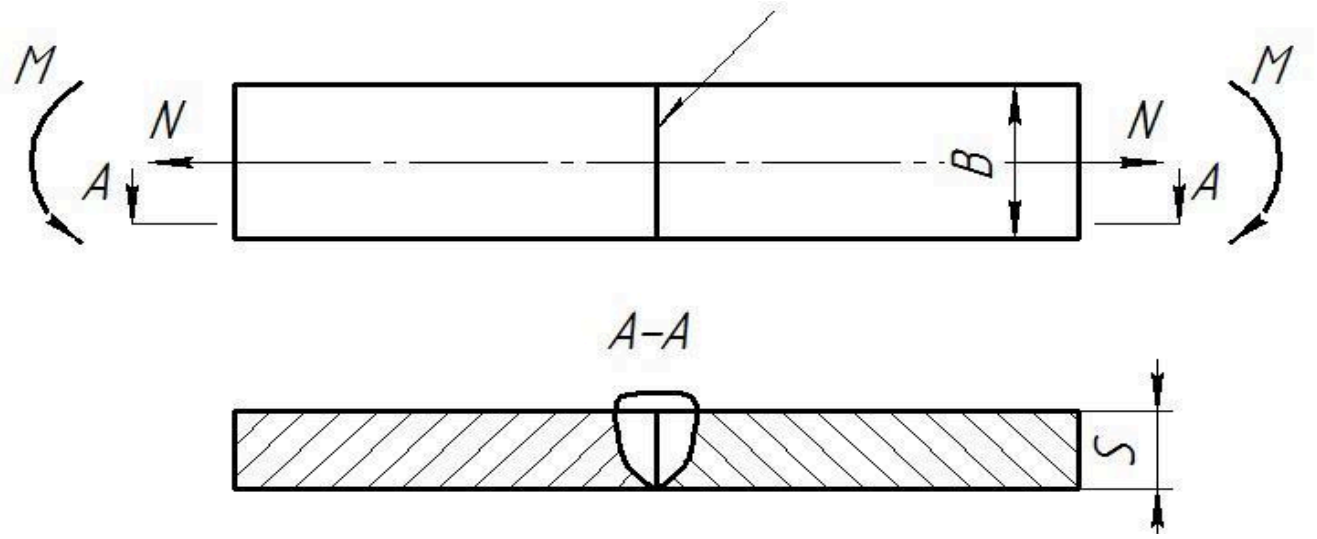


Рисунок 1

Таблица 1 - Исходные данные для решения задачи 45-58

Номер задачи	Размер сечения, мм × мм	Изгибающий момент, кН × м	Продольная сила, кН	Материал
45	250х8	10	125	18кп
46	200х8	6	120	Ст3пс6-1
47	300х8	15	245	09Г2
48	220х10	20	110	10Г2С1
49	250х10	23	180	15ХСНД
50	320х10	35	410	14Г2АФ
51	180х12	14	175	10ХСНД
52	200х12	12,5	135	18сп
53	240х8	15	165	14Г2
54	230х10	24	140	14Г2АФ
55	160х8	7,5	120	15ХСНД
56	300х10	32	255	10Г2С1
57	380х8	27	320	09Г2
58	250х12	18	280	Ст3кп2

59-78 Задача

Балка пролета L свободно установлена концами на опоры и нагружена сосредоточенными силами и равномерно распределенной нагрузкой q .

Подберите поперечное сечение сварной составной балки,

проверьте его прочность по нормальным напряжениям.

Материал балки – сталь марки Ст3. Допускаемое напряжение для основного металла при растяжении $[\sigma]_p = 160$ МПа. Предельный прогиб $\left[\frac{f}{l}\right] = \frac{1}{500}$.

Данные для решения задачи взять из таблицы 2 и рисунка 3.

Пример решения аналогичной задачи приведены в методических указаниях ниже.

Таблица 2 - Исходные данные для решения задачи 59-78

Номер задачи	q, кН/м	F_1, кН	F_2, кН	L, м	a, м	b, м	Номер схемы по рисунку 2
59	15	80		6	2	2	I
60		100	120	6	2	3	II
61		120	80	10	4	4	III
62		110	100	12	2	6	IV
63	40	80		15	4	6	V
64	80	70		8	4		VI
65	20	50		9	3	2	V
66		10	80	12	2	2	IV
67		20	50	9	3	3	III
68		40	30	10	3	6	II
69	25	28		12	2	6	I
70	60	80		18	4	4	V
71	40	20		18	6		VI
72		10	20	9	2,5	2,5	IV
73		60	40	10	4	2	III
74		100	80	18	6	6	II
75	35	40		11	4	4	I
76		90	70	12	3	3	II
77	100	80		12	2	2	V
78	50	40		16	4		VI

79-92 Задача

Подберите двутавровое сечение сварной колонны высотой H и

проверьте его прочность при действии расчетной силы N, приложенной в центре сечения.

Материал конструкции - сталь марки Ст3пс6-1.Предельная гибкость [λ]=120.

Данные для решения задачи взять из таблицы 3 и рисунка 2. Пример решения аналогичной задачи приведен в методических указаниях ниже.

Таблица 3 – Исходные данные для решения задачи 79-92

Номера задач	Высота колонны H, м	Величина усилия N, кН	Номер схемы закрепления (по рисунку 3)
79	4,8	1300	1
80	4	1400	2
81	3,5	1500	3
82	3	1600	4
83	3	1700	1
84	4	1800	2
85	5	1900	3
86	6	2000	4
87	7	2100	1
88	8	2000	2
89	9	1800	3
90	10	1600	4
91	11	1400	1
92	12	1200	2

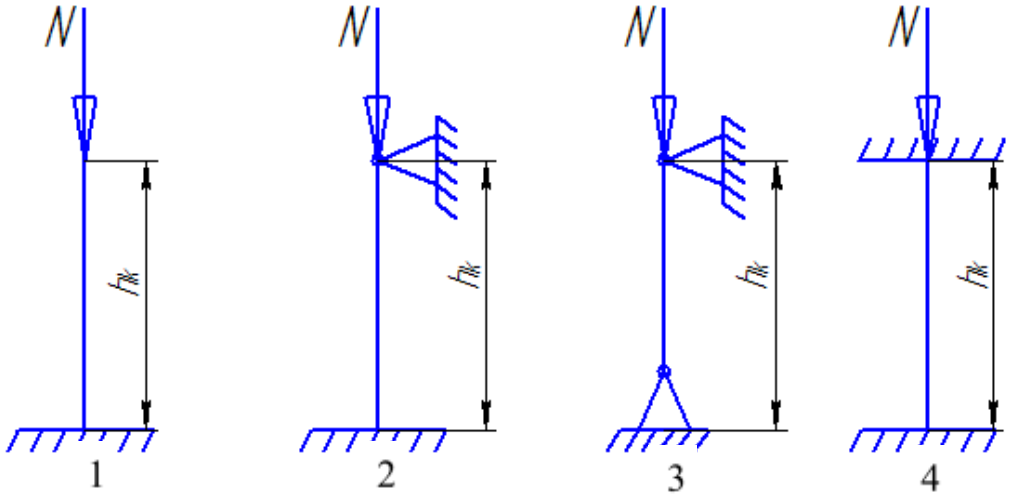


Рисунок 2

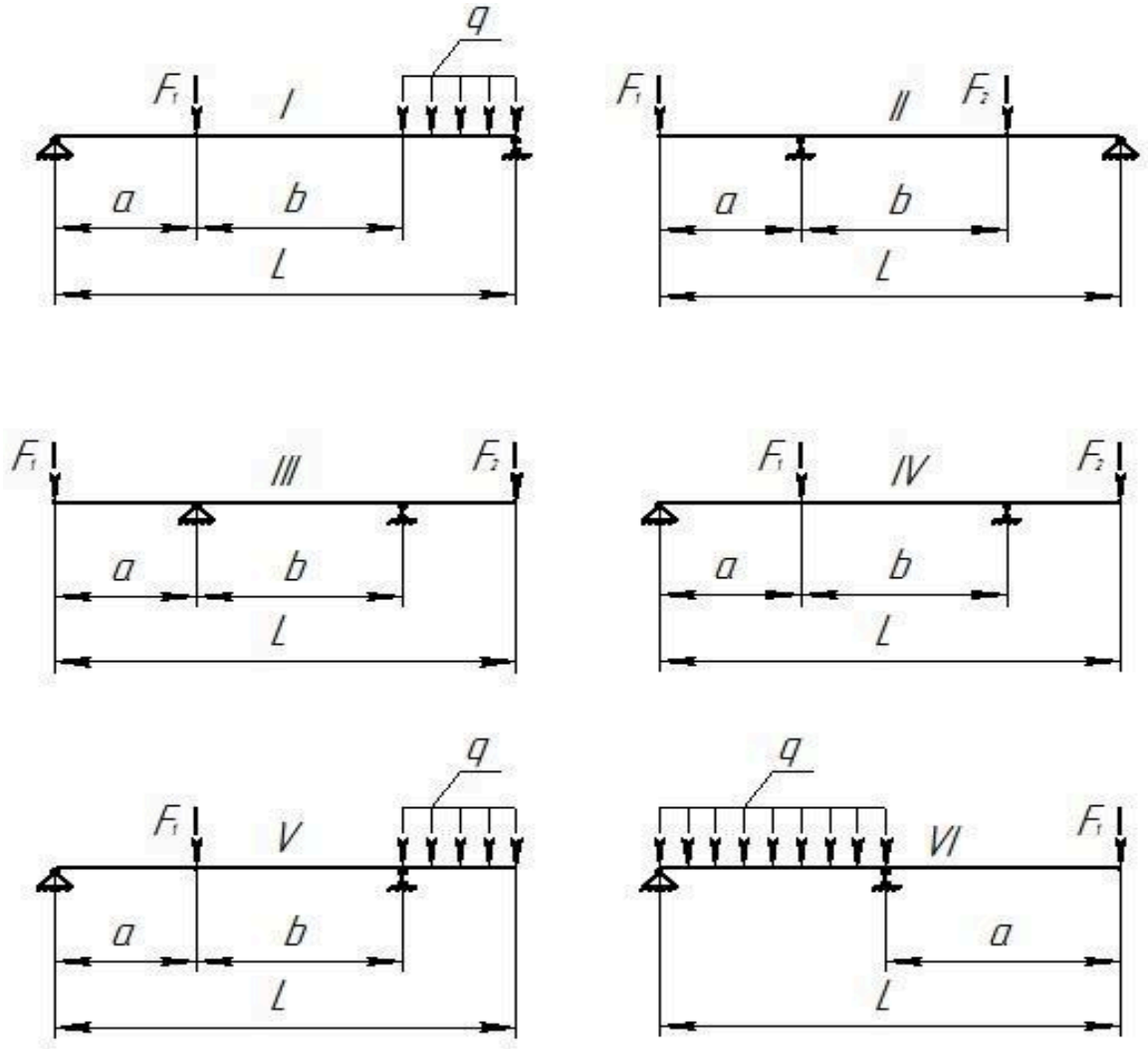


Рисунок 3

93-100 Задача

Определите усилия в стержнях плоской фермы способом

вырезания узлов. Данные для задачи взять из рисунка 4 и таблицы 4.

Пример решения аналогичной задачи приведен в методических указаниях ниже.

Таблица 4 – Исходные данные для решения задачи 93-100

Номера задач	Величина усилий F, кН
93	30
94	25
95	40
96	60
97	15
98	10

Продолжение таблицы 4

Номера задач	Величина усилийF, кН
99	5
100	8

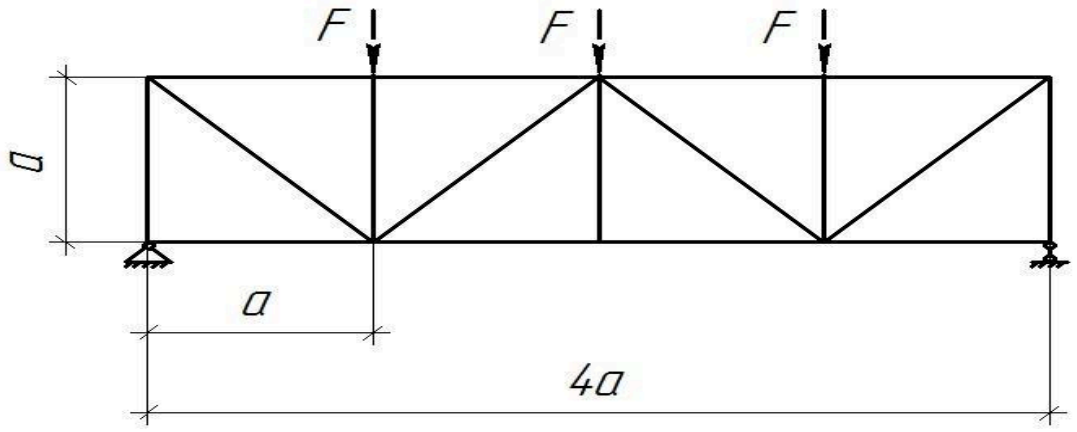


Рисунок 4

Методические рекомендации по решению задач домашней контрольной работы № 1

Примеры решения задач 45-58

1 Для заданной марки стали, в зависимости от толщины листового проката, выберите расчетное сопротивление в соответствии с таблицей 5.

2 По заданным условиям определите расчетное сопротивление $R_{\omega y}$ стыкового сварного шва в соответствии с таблицей 3 или таблицей 7.

При использовании других учебных пособий обратите внимание, что при решении задачи величина расчетного сопротивления должна быть выражена кН/см^2.

3 Определите нормальные σ^N, кН/см^2, напряжения в сварном шве от продольной силы N, кН, по формуле

$$\sigma^N = \frac{N}{A_ш}, \quad (13)$$

где $A_ш$–площадь поперечного сечения сварного шва, см^2.

$$A_ш = S_{min} \times l_ш \quad (14)$$

4 Определите нормальные напряжения в сварном шве $\sigma^м$, кН/см^2, от изгибающего момента, М, по формуле

$$\sigma^М = \frac{М}{W_ш}, \quad (15)$$

где $W_ш$– осевой момент сопротивления сечения шва, см^3.

$$W_ш = \frac{S_{min} \times l_ш^2}{6} \quad (16)$$

5 Напряжения от одновременного действия изгибающего момента М и продольной силы N просуммируйте алгебраически и проверьте прочность соединения σ_{max}, кН/см^2, по формуле

$$\sigma_{max} = \sigma^{N} + \sigma^{M} < R_{wy} \qquad (17)$$

6 Объясните, почему результирующие напряжения от совместного действия продольной силы и изгибающего момента на стыковое сварное соединение определяются как алгебраическая сумма напряжений от обоих силовых факторов.

Примеры решения задач 59-78

Подобрать сечение сварной составной балки и проверить его прочность по нормальным напряжениям. Материал - сталь. Допускаемое напряжение [σ] = 140 МПа. Предельный прогиб $\left[\frac{f}{l}\right] = 1/400$. Расчетная схема балки приведена на рисунке 5.

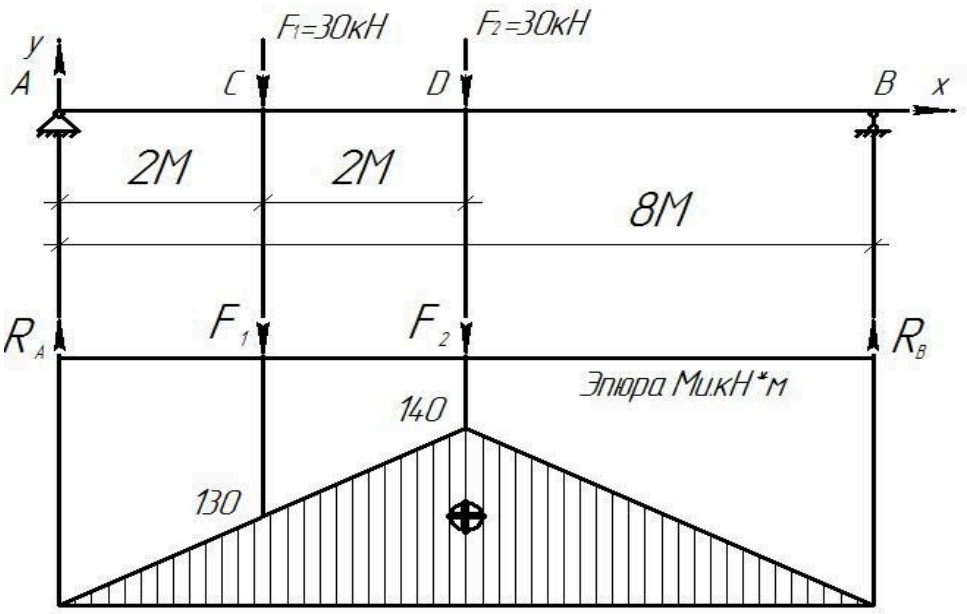


Рисунок 5

Решение

1 Определяем опорные реакции.

1.1 Составляем уравнения моментов относительно точки А

$$M_A = F_1 \times 2 + F_2 \times 4 - R_в \times 8 = 0 \qquad (18)$$

$$R_{в} = \frac{F_1 \times 2 + F_2 \times 4}{8} = \frac{60 \times 2 + 40 \times 4}{8} = 35 \text{ кН}$$

1.2 Составляем уравнение моментов относительно точки В

$$M_{в} = - F_2 \times 4 - F_1 \times 6 + R_A \times 8 = 0 \qquad (19)$$

$$R_A = \frac{F_2 \times 4 + F_1 \times 6}{8} = 65 \text{ кН}$$

1.3 Проверка У = 0;

$$R_A - F_1 - F_2 + R_B = 0$$

$$Y = 65 - 60 - 40 + 35 = 0$$

Следовательно, реакции определены правильно.
2 Определяем изгибающие моменты по характерным точкам
2.1 Изгибающий момент в точке А

$$M_A = 0$$

2.2 Изгибающий момент в точке С

$$M_C = R_A \times 2 = 65 \times 2 = 130 \text{ êÍ}$$

2.3 Изгибающий момент в точке Д

$$M_Ä = R_A \times 4 - F_1 \times 2 = 65 \times 4 - 60 \times 2 = 140 \text{ êÍ} \times ì$$

2.4 Изгибающий момент а точке В

$$M_B = 0$$

2.5 Строим эпюру изгибающих моментов (рисунок 5).

По характеру эпюры определяем опасное сечение. Опасное сечение будет в точке Д, в которой изгибающий момент имеет максимальное значение.

3 Определяем требуемый момент сопротивления из условия прочности на изгиб$W_x^{тр}$, см^3

$$W_{õ}^{òð} = \frac{Ì_{è(max)}}{[\sigma 1]} = \frac{140 \times 10^6}{40} = 1000 \times 10^3 ì\ ì\ = 1000\ ñì^{\ 3} \quad (20)$$

4 Определяем минимальную высоту профиля из условия жесткости балки,h_{min}, мм, но формуле

$$h_{min} = \frac{[\sigma 1] \times n \times\ _0}{10^6} \quad (21)$$

$$h_{min} = \frac{140 \times 8 \times 400}{10^3} = 448 ì\ ì$$

5 Определяем толщину стенки $S_{ст}$, мм, по формуле

$$S_{ñò} = 7 + 3 \times h_{ñò}\ , \quad (22)$$

где$h_{ст}$–высота стенки балки, м.

Высоту стенки балки принимаем

$$h_{ñò} = 0{,}955 \times h_{min}$$

$$h_{ñò} = 0{,}955 \times 0{,}448 = 0{,}428 ì$$

Тогда $S_{ñò} = 7+3\times0,428 = 8,28ì ì \approx 8ì ì$

Толщину стенки уточняем по таблице 9.

Высоту стенки желательно принимать равной ширине прокатного листа для исключения нетехнологичных операций резки и строгания продольных кромок. Поэтому по таблице 9 назначаем высоту стенки $h_{ст} = 420$ мм.

6 Определяем оптимальную высоту сечения $h_{опт}$, мм, из условия минимальной массы балки, по формуле

$$h_{îïò} = 1,23\times\sqrt{\frac{W_õ^{òð}}{S_{ñò}}} \quad (23)$$

$$h_{îïò} = 1,23\times\sqrt{\frac{1000\times10^3}{8}} = 434,87ì ì$$

Сравнивая полученные значения высоты балки h_{min} = 448 мм и $h_{опт}$ = 434,9 мм принимаем высоту балки h = 448мм.

7 Определяем размеры поясных листов

7.1 Вычисляем требуемую площадь сечения пояса An, см^2, по формуле

$$A_n = \frac{W_õ^{òð}}{h} - \frac{S_{ñò}\times h}{6} \quad (24)$$

$$A_n = \frac{1000}{44,8} - \frac{0,8\times44,8}{6} = 16,3ñì^3$$

7.2 Вычисляем толщину каждого пояса, S_n, мм, по формуле

$$S_n = \frac{h - h_{ñò}}{2} \qquad (25)$$

$$S_n = \frac{448 - 420}{2} = 14 \text{ мм}$$

7.3 Вычисляем требуемую ширину пояса $B_п$,см, по формуле

$$B_n > \frac{A_n}{S_n} \qquad (26)$$

$$B_n = \frac{16,3}{1,4} = 11,5 \text{ см}$$

7.4 Окончательные размеры поясов назначаем, учитывая следующие технологические и конструктивные требования Bn, см, по формуле

$$S_n < 3 \times S_{ñò} \qquad (27)$$

$$S_n = 3 \times 8 = 24 \text{ì ì}$$

$$14 \text{мм} < 24 \text{мм}$$

$$\hat{A}_n = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{5} \right) \times h$$

$$B_n = \frac{448}{3} \div \frac{448}{5} = 149{,}9 \div 89{,}6 \text{ì ì}$$

(28)

$$\frac{B_n}{S_n} < 30$$

Кроме этого необходимо, чтобы толщина и ширина пояса были равны соответственно толщине и ширине универсальной стали по ГОСТ 82-70 (таблица 9).

Таким образом, размеры окончательно принимаем по таблице 9

$$S_n = 14 \text{ мм}; B_n = 140 \text{ мм}$$

Скомпонованное сечение балки приведено на рисунке 6.

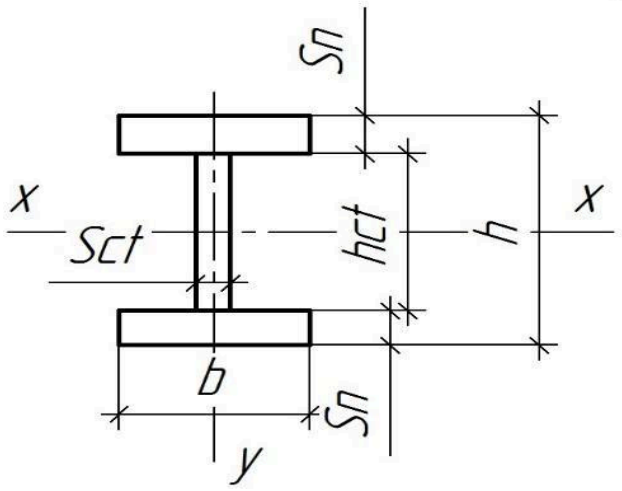


Рисунок 6

8 Проверяем прочность балки по нормальным напряжениям.

8.1 Вычисляем момент инерции сечения $J_{\text{ð}}$, см^4, по формуле

$$I_õ = I_{ñò} + 2 \times I_n = \frac{S_{ñò} \times h_{ñò}^3}{12} + 2 \times B_n \times S_n \times \left(\frac{h_{ñò} \times S_n}{2} \right)^2$$

(29)

$$I_õ = \frac{0{,}8 \times 42^3}{12} + 2 \times 14 \times 1{,}4 \times \left(\frac{448 + 1{,}4}{2} \right)^2 = 23398{,}1 ñì^4$$

8.2 Проверяем прочность по нормальным напряжениям σ_{max}, МПа, по формуле

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \times h}{2 \times I_õ} < [\sigma]$$

(30)

$$\sigma_{max} = \frac{140 \times 10^6 \times 448}{2 \times 23399{,}1 \times 10^4} = 134{,}0 \text{ Ì Ï à} \le 140 \text{ Ì Ï à}$$

Недонапряжение составляет

$$\Delta\sigma = \frac{[\sigma] - \sigma_{max}}{[\sigma]} \times 100\%$$

(31)

$$\Delta\sigma = \frac{140 - 134}{140} \times 100\% = 4{,}3\% < 5\%$$

Таким образом, сечение подобрано верно.

Если перенапряжение или недонапряжение составляет более чем 5%, то сечение считается подобранным неверно. В таком случае размеры сечения необходимо откорректировать с учетом всех конструктивных требований, определить его геометрические характеристики (площадь, момент инерции) и вновь произвести

проверку прочности.

Примеры решения задач к задачам 79-92

Требуется подобрать двутавровое сечение сварной колонны и проверить его прочность при расчетной силе N = 2 200кН. Высота колонны Н= 8м. Материал -сталь Ст3кп2. Предельная гибкость [λ] = 120.

Расчетная схема колонны приведена на рисунке 7.

Решение

1 По таблице 7 выбираем расчетное сопротивление стали R_y = 220 МПа.

Для заданной схемы закрепления колонны коэффициент расчетной длины μ = 1.

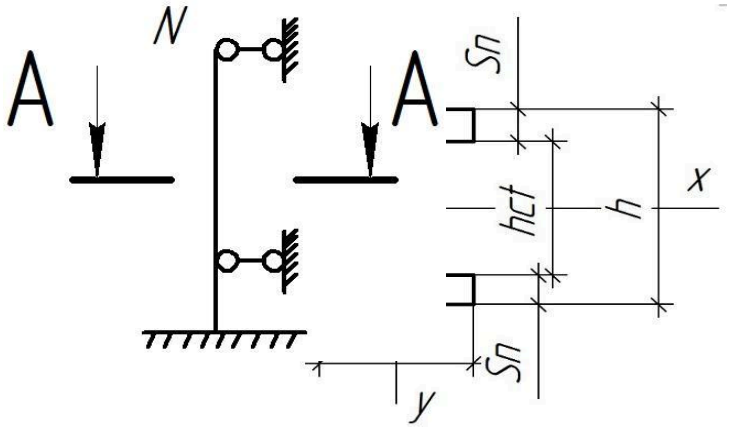


Рисунок 7

2 Определяем требуемую площадь сечения колонны А,см^2,условия ее общей устойчивости σ

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \times A} < R_y \qquad (32)$$

В первом приближении задаемся значением φ = 0,8, которому соответствует гибкость λ = 64. [12]

$$A = \frac{N}{\varphi \times R_y}$$

$$\text{À} = \frac{2\,200 \times 10^3}{0{,}8 \times 220} = 125 \times 10^3 = 125\,\text{ñì}^{\ 2} \qquad (33)$$

Определяем габариты сечения h и B,в мм, по формуле

$$h > \frac{L_x}{\delta_x \times \lambda}$$

$$B = \frac{L_y}{\delta_y + \lambda},$$

где L_{x} в L_Y – расчетные длины колонны относительно осей x-x и y-y;

δ_{x} и δ_Y – коэффициенты для двутаврового сечения соответственно равны 0,43 и 0,24.

Определяем расчетную длину колонны в обоих направлениях L_{x}, L_Y, м, по формуле

$$L_x = L_y = \mu \times H = 1 \times 8 = 8\ \text{см}$$

Тогда

$$\text{h} = \frac{8 \times 10^3}{0{,}43 \times 64} = 290{,}7\,\text{ì ì}$$

$$\hat{\text{A}} = \frac{8 \times 10^3}{0{,}24 \times 64} = 520{,}8\,\text{ì ì}$$

Так как ширину колонны Вне рекомендуется принимать больше высоты h, то принимаем B = $h_{ст}$ = 400мм (уточняем по таблице 9).

3 Подбираем толщину стенки и поясов.

При этом следует стремиться, чтобы около 80% площади сечения приходилось на долю поясов, т.е.

$$À_n \approx 0,8 \times A = 0,8 \times 125 = 100 ñì^2$$

$$À_{ÑÒ} \approx 0,2 \times A = 0,2 \times 125 = 25 ñì^2$$

Толщину стенки $S_{ñò}$, мм, определяем по формуле

$$S_{ñò} = \frac{À_{ñò}}{h_{ñò}}$$

(34)

$$S_{ñò} = \frac{25 \times 10^2}{400} = 6,25 ì ì$$

Толщину стенки желательно принимать в пределах 6 ÷ 14мм, при этом должно выполняться условие $h_{ст}/S_{ст} < 70$(уточняем по таблице 9).

$$\frac{h_{ñò}}{S_{ñò}} = \frac{400}{6} = 66,7 < 70$$

Поэтому назначаем $S_{ст} = 6$ мм.

Толщину пояса $S_п$, мм, определяем по формуле

$$S_n = \frac{A_n}{2 \times B}$$

$$S_n = \frac{100 \times 10^2}{2 \times 400} = 12{,}5 \text{ì ì}$$

(35)

Толщину пояса желательно принимать в пределах 8÷40мм, соблюдая условие: $\frac{B}{S_n} < 30$ (уточняем по таблице 9).

Назначаем $S_n = 14$ мм.

$$B/S_n = \frac{400}{14} = 28{,}6 < 30$$

Размеры подобранного сеченияh = 428см; $h_{ст}$ = 400 мм; B = 400 мм; $S_{ст}$ = 6 мм; $S_п$=14 мм.

4 Проверяем подобранное сечение.

Площадь сечения A, см^2, определяем по формуле

$$A = A_{ñò} + 2 \times À_n$$

(36)

$$A = 0{,}6 \times 40 + 240 \times 1{,}4 = 24 + 112 = 136 \text{ñì}^2$$

Определяем минимальный осевой момент инерции сечения I_{min}, см^4, по формуле

$$I_{min} = I_Ó = 2 \times I_n = \frac{2 \times S_n \times B^3}{12}$$

(37)

$$I_{min} = \frac{2 \times 1{,}4 \times 40^3}{12} = 14933{,}3 \text{ñì}^4$$

Определяем минимальный радиус инерции r_{min},см, по формуле

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} \quad (38)$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{14933,3}{136}} = 10,48 \text{ см}$$

Определяем наибольшую гибкость λ_{max}, по формуле

$$\lambda_{max} = \frac{L_x}{r_{min}} \quad (39)$$

$$\lambda_{max} = \frac{8 \times 10^2}{10,48} = 76,34 < 120$$

Коэффициент продольного изгиба определим в зависимости от значения λ_{max} (таблица [2], с. 348)

$$\varphi_{min} = 0,73$$

Проверяем прочность колонны σ,МПа, по формуле

$$\sigma = \frac{N}{\sigma_{min} \times A} \leq R_y \quad (40)$$

$$\sigma = \frac{2\,200 \times 10^3}{0,73 \times 136 \times 10^2} = 221,6 \text{ МПа}$$

Перенапряжение составляет

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma - R_y}{R_y} \times 100\% \qquad (41)$$

$$\Delta\sigma = \frac{221{,}6 - 220}{220} \times 100\% = 0{,}72\% < 5\%$$

что находятся в допустимых пределах.

Если условие прочности не выполняется, т.е. перенапряжение или недонапряжение $\Delta\sigma$ более 5% , то размеры сечения необходимо откорректировать с учетом всех конструктивных требований и произвести проверку его прочности.

Примеры решения задач к задачам 93-100

Определить усилия в стержнях плоской фермы методом вырезания узлов. Расчетная схема приведена на рисунке 8.

1 Освобождаемся от связей, заменяя опоры фермы их реакциями. Реакции направлены вертикально вверх и вследствие симметрии приложения нагрузок на фермы одинаковы

$$R_A = R_B = \frac{30 \times 3}{2} = 45\ \text{êÍ}$$

2 Нумеруем все стержни фермы и приступаем к определению усилий в них.

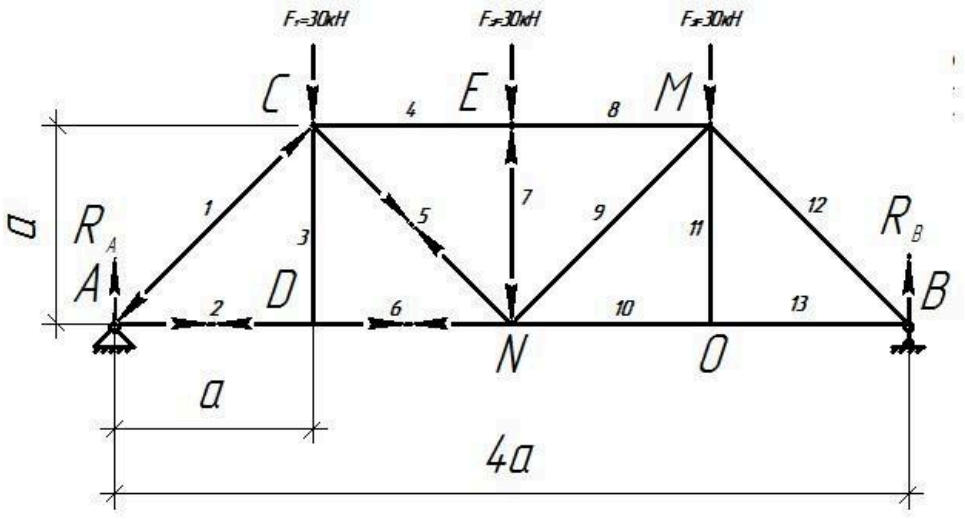


Рисунок 8

3 Первым вырезаем узел, в котором сходится только два стержня -узел А.

К этому узлу приложены три силы, под воздействием которых он находится в равновесии. Опорная реакция $R_A = 45$ кНи две неизвестные реакции S_1 и S_2 стержней 1 и 2, действующие вдоль этих стержней. Произвольно зададимся направлением этих реакций: предположим, что усилия S_1и S_2направленыот узла (смотри рисунок 9)

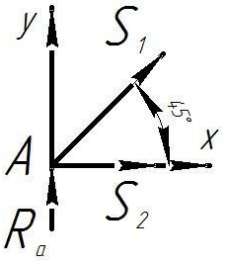


Рисунок 9

Условия равновесия узла имеют следующий вид

$$\sum X = 0; \quad \sum Y = 0;$$

$$\sum \tilde{O} = S_2 + S_1 \times \cos 45^o = 0;$$

$$\sum Y = S_1 \times \sin 45^o + R_A = 0$$

Из этих уравнений определяем усилияS_1иS_2

$$S_1 = \frac{-R_A}{\sin 45^o} = \frac{-45}{0,7} = -64,3$$

$$S_2 = -S_1 \cos 45^\circ = -(-64{,}3)$$

Знак «минус» указывает нато, что направление усилия S_1 выбрано неверно и S_1, направлено к узлу (т.е. стержень сжат). Усилие S_2 направлено от узла - стержень растянут. На геометрическую схему фермы (рисунок 8) необходимо перенести верные направления усилий S_1 и S_2.

4 Следующим вырезаем узел, в котором имеется только два неизвестных усилия. Таким будет узел Д с неизвестными усилиями в стержнях 3 и 6 и известным усилием $S_2 = 45$ кН (рисунок 10).

Задаемся произвольным направлением неизвестных усилий S_3 и S_6. Предположим, они направлены от узла.

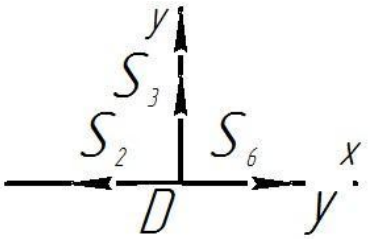


Рисунок 10

Из условий равновесия узла Д определяем величину и направление усилий S_3 и S_6

$$\sum \tilde{O} = S_6 - S_2 = 0; \quad \sum Y = S_3 = 0;$$

$$S_6 = S_2 = 45\ \hat{e}\acute{I}\ , \quad S_3 = 0$$

Стержень 3 не нагружен. Стержень 6 растянут, так как усилие направлено от узла. Перенесем направление найденного усилияна схему фермы.

5 Вырезаем узел С (рисунок 11). К нему сходятся четыре силы, две из которых - в стержнях 4 и 5 - неизвестны, а $S_1 = 64{,}3$ кН, $F_1 = 30$ кН, задаемся произвольным направлением неизвестных усилий, направим

S_4 к узлу, аS_5 от узла.

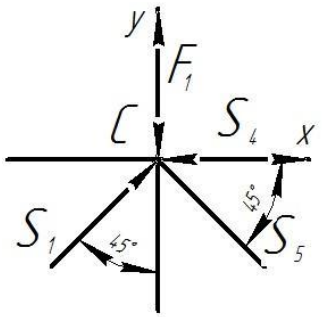


Рисунок 11

Составим условия равновесия узла и определим неизвестные усилия

$$\sum \tilde{O} = -S_4 + S_5 \times \cos 45^o + S_1 \times \cos 45^o = 0$$

$$\sum Y = -F_1 + S_1 \times \sin 45^o - S_5 \times \sin 45^o = 0$$

$$S_1 = S_5 = \frac{F_1}{\sin 45^o} = 64{,}3 - \frac{30}{0{,}7} = 21{,}4$$

$$S_4 = (S_5 + S_1) \times \cos 45^o = (21{,}4 + 64{,}3) \times 0{,}7 = 60\ \hat{e}\acute{I}$$

Так как значения усилий получены со знаком плюс, это значит, что направления усилий выбраны верно. Стержень 4 сжат (усилие направлено к узлу), стержень 5 растянут (направление усилия - от узла). Направления усилий перенесем на схему.

6 Вырежем узел Е (рисунок 12). К нему приложены четыре силы: известные.

F_2= 30 кН и S_4 = 60 кН и две неизвестные S_7 и S_8. Зададимся произвольным направлением неизвестных усилий и составим условия равновесия узла.

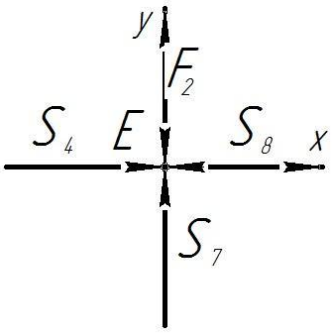


Рисунок 12

$$\sum X = S_4 - S_8 = 0$$

$$\sum Y = S_7 - F_2 = 0$$

Из условий равновесия определим величину и направление неизвестных усилий S_7 и S_8.

$$S_8 = S_4 = 60$$

$$S_7 = 30 \text{ кН}$$

Таким образом, направления усилий выбраны верно, стержни 7 и 8 сжаты.

Так как схема фермы симметрична, то усилия в симметрично расположенных стержнях равны между собой и по величине, и по направлению. Поэтому остальные узлы (N, M, O, B) можно не рассматривать; усилия в стержнях:

$S_8 = S_4 =$ 60 кН- стержни сжаты;

$S_9 = S_5 =$ 21, 4 кН- стержни растянуты;

$S_{10} = S_6 =$ 45 кН- стержни растянуты;

$S_{11} = S_3 =$ 0 кН- стержни не нагружены;

$S_{12} = S_1 =$ 64, 3 кН - стержни сжаты;

$S_{13} = S_2 =$ 45 кН- стержни растянуты.

Таблица 5 – Пределы прочности и расчетные сопротивления стального проката

Марка стали	Толщина, мм	Предел прочности, в МПа	Расчетные сопротивления R_y, МПа	
			листового проката	фасонного проката
18кп	4-20	365	220	230
18сп	4-20	370	230	240
Ст3пс6-1	4-10	400	230	240
Ст3кп2	4-20	390	220	230
Ст3сп	4-20	400	240	240
19Г2	4-20	500	290	300
10Г2С1	10-20	520	320	330
14Г2	4-9	470	320	320
15ХСНД	4-32	500	330	330
10ХСНД	4-32	530	355	355
14Г2АФ	4-50	540	370	-

Таблица 6 – Допускаемые напряжения основного металла

Род усилий	Условное обозначение	Величина для материала, МПа				
		Ст2сп	Ст3кп	09Г2С	15ХСНД	10ХСНД
Растяжение Сжатие Изгиб	[σ]	150	160	190	230	265
Срез	[τ]	90	96	114	138	160

Таблица 7 – Расчетные сопротивления R_y сварных соединений стальных конструкций

Сварные соединения	Расчетное сопротивление	Формула подсчета
Стыковые	По пределу текучести: сжатию, растяжению и изгибу при автоматической сварке, а также механизированной или ручной с физическим контролем качества швов	$R_{wy} = R_y$
	Растяжению и изгибу по пределу текучести при механизированной или ручной сварке с визуальным контролем качества швов	$R_{wy} = 0,85 \times R_y$
	Сдвигу	$R_{ws} = 0,58 \times R_y$

Примечание - R_y следует принимать по таблице 5.

Таблица 8 – Эффективные коэффициенты концентрации напряжений $K_{эф}$ для расчетного сечения, расположенного по металлу сварных швов

Характеристика сечения	Значения для сталей	
	Ст3	низколегированные
Стыковые швы (по оси шва) с полным проваром корня шва:		
- при автоматической (а также ручной) сварке и физическом контроле качества шва;	1	1
- при автоматической сварке с визуальным контролем качества шва;	1,1	1,2
- при ручной сварке с визуальным контролем качества шва.	1,2	1,4

Таблица 9 – Сталь широкополосная универсальная (по ГОСТ 82-70)

Толщина, мм	(4), 6, (7), 8, (9), 10, (11), 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 45, 50
Ширина, мм	200, (210), 220, 240, 250, (260), 280, 300, (320), (340), 360, 380, 400, 420, 450, 480, 500, (530), 560, 600, 630, 650, 670, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050

Примечания: 1 В скобках указаны нерекомендуемые размеры листов;
2 Листы, толщиной 6 мм, а также шириной менее 300 мм при любой толщине можно применять только по согласованию со сбытовыми организациями.

Таблица 10 - Варианты заданий на домашнюю контрольную работу № 1 по учебному предмету «Проектирование сварных конструкций»

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1, 44 45, 100	11, 34 55, 90	21, 24 63, 80	30, 7 57, 96	40, 17 47, 73	26, 38 90, 63	14, 3 80, 87	31, 3 46, 60	4, 20 56, 70	14, 10 93, 46
1	2, 43 46, 99	12, 33 56, 89	22, 23 64, 79	31, 8 56, 97	41, 18 46, 72	5, 39 89, 62	12, 4 79, 86	33, 2 47, 61	5, 19 57, 71	15, 9 92, 47
2	3, 42 47, 98	13, 32 55, 88	22, 15 65, 78	32, 9 55, 98	42, 19 45, 71	4, 40 88, 61	10, 5 59, 85	35, 1 48, 62	6, 18 58, 72	16, 8 91, 48
3	4, 41 48, 97	14, 31 56, 87	23, 17 66, 77	33, 10 54, 99	43, 20 93, 70	3, 28 87, 60	8, 6 60, 84	37, 15 49, 63	7, 17 100, 73	17, 7 90, 49
4	5, 40 49, 96	15, 30 57, 86	24, 1 67, 76	34, 11 53, 100	44, 21 94, 69	38, 27 86, 59	6, 7 61, 83	39, 16 50, 64	8, 16 99, 74	18, 6 89, 50
5	6, 39 50, 95	16, 29 58, 85	25, 2 68, 75	35, 12 52, 78	15, 33 56, 68	39, 26 85, 92	4, 8 62, 82	41, 17 51, 65	9, 15 98, 75	19, 5 88, 51
6	7, 38 51, 94	17, 28 59, 84	26, 3 69, 74	36, 13 51, 77	16, 34 57, 67	40, 25 64, 91	2, 9 63, 81	43, 18 52, 66	10, 44 97,76	20, 4 87, 52
7	8, 37 52, 93	18, 27 60, 83	27, 4 70, 73	37, 14 50, 76	17, 35 58, 66	7, 24 83, 90	25, 10 64, 80	1, 44 53, 67	11, 43 96, 77	21, 3 86, 53
8	9, 36 53, 92	19, 26 61, 82	28, 5 71, 72	38, 15 49, 75	24, 36 92, 65	6, 23 82, 89	27, 5 65, 79	2, 22 54, 68	12, 42 95, 78	22, 2 85, 54
9	10, 35 54, 91	20, 25 62, 81	29, 6 58, 95	39, 16 48, 74	25, 37 91,64	5, 22 81, 88	29, 4 45, 59	3, 21 55, 69	13, 41 94, 45	23, 1 86, 55