

Настоящее и будущее сварных металлоконструкций

Учебное пособие

Пособие составлено в соответствии с ФГОС СПО по профессии 15.01.05 «Сварщик ручной и частично механизированной сварки (наплавки)» и предназначено для учащихся профессиональных образовательных учреждений при подготовке рабочих кадров по указанной выше профессии.

Пособие подготовлено в соответствии с учебной программой междисциплинарного курса МДК 01.02 «Технология производства сварных конструкций» и содержит дополнительный материал по данному МДК.

Текст пособия представляет собой обзор научных статей, посвященных современному состоянию сварочных технологий производства таких металлоконструкций, как стальные мосты, резервуары для хранения сжиженных газов и нефтепродуктов, космические корабли. Пособие состоит из следующих основных частей: «Сварные конструкции в XXI веке», «Пути совершенствования конструкций стальных цилиндрических резервуаров», «Современное мостостроение», «Сварные конструкции космического пространства».

Для быстрого перехода к словарю технических терминов используются закладки.

Автор-составитель данного пособия – преподаватель дисциплин профессионального цикла ГПОУ «Новокузнецкий техникум строительных технологий и сферы обслуживания» Л.П.Ларичева.

Оглавление

1. Введение.....	3
2. Сварные конструкции в XXI веке.....	3
3. Пути совершенствования конструкций сварных цилиндрических резервуаров.....	7
4. Современное мостостроение.....	16
5. Сварные конструкции космического пространства.....	21
Словарь технических терминов.....	29
Список литературы.....	30

1. Введение

XX век стал веком, в котором сварные металлоконструкции совершили техническую революцию. Сварка стала основным технологическим процессом в создании многочисленных инженерных сооружений, успешно работающих в различных отраслях промышленности.

Сварные металлоконструкции сегодняшнего дня отличаются конструктивной целесообразностью, высокой степенью надежности. Они изготавливаются из сталей и сплавов, обладающих высокими [прочностными характеристиками](#) и эксплуатационными свойствами. Широкое применение в сварных конструкциях находят цветные металлы и сплавы.

Современные технологические процессы сварки позволяют изготавливать металлоконструкции в широком диапазоне толщин и габаритов с высокими [потребительскими свойствами](#). Применение [инверторных источников питания](#) и синергетических систем управления при механизированной сварке проволоками сплошного сечения, [ручной дуговой сварке](#) покрытыми электродами, аргонодуговой [вольфрамовым электродом](#) создают возможности изготовления практически любых металлоконструкций из различных металлов и сплавов.

Нет сомнения в том, что в будущем сварные конструкции также будут основными инженерными сооружениями. На смену сегодняшним сталям придут высокопрочные с пределом текучести 600-1000 МПа, что позволит сделать конструкции более легкими и изящными. Активные позиции займут сверхпрочные алюминиевые сплавы и сплавы титана. Эти материалы будут определять конструктивные формы и эксплуатационные характеристики сварных транспортных средств, резервуарных конструкций, строительных сооружений. В связи с этим и технологические процессы сварки, сварочные материалы и оборудование должны быть способными соединять материалы XXI века в надежные и качественные конструкции.

Новые технологические процессы сварки, например, [ротационная сварка трением](#), механизированная с применением металлокерамических порошковых проволок, автоматическая с применением системы адаптивного управления позволят существенно изменить конструктивные решения сварных изделий.

Создание новых методов расчета предельного состояния сварной конструкции с учетом теории механики разрушений позволит проектировать их с минимальной материалоемкостью при гарантированном запасе прочности.

2. Сварные конструкции в XXI веке

В настоящее время уже наметились тенденции появления новых сварных конструкций в различных отраслях.

Судостроение

При сооружении большегрузных танкеров для перевозки химически активных веществ начинают применяться легированные стали, называемые дуплексными коррозионностойкими. Эффективность этих сталей уже проверена на первых танкерах грузоподъемностью 36232 тонны, построенных на польских судостроительных верфях.

При сварке толстостенных конструкций из этой стали была применена механизированная сварка [порошковой проволокой](#), которая обеспечила минимальные деформации и отсутствие трещин в металле шва.

При постройке быстроходных судов и прогулочных яхт свое достойное место займет алюминий. Высокопрочные алюминиевые сплавы будут основным конструкционным материалом в



Рис. 1. Новое поколение быстроходных морских судов из алюминия, построенных на верфях в Австралии

сооружении высокоскоростных морских судов (рис. 1). Алюминиевые сплавы для судостроения обладают высокой прочностью, не уступающей сталям, коррозионной стойкостью в морской воде, хорошей пластичностью и свариваемостью.

Основным способом сварки этих судов является механизированная сварка проволоками сплошного сечения, по химическому составу близкими основному сплаву, в чистом [аргоне](#) или газовой смеси аргона с [гелием](#). При сварке толстостенных конструкций из алюминиевых сплавов содержание гелия может достигать до 75%, что способствует глубокому проплавлению, снижению теплонасыщения основного металла, устранению [пористости](#) шва.

При сварке судов из алюминиевых сплавов достойное место найдет ротационная сварка трением плоских панелей. Этот процесс не только позволяет успешно сваривать ранее плохо свариваемые сплавы, но и снижает деформации, повышает точность сварных деталей и узлов, сокращает трудоемкие послесварочные работы.

Резервуаростроение

Претерпят изменения конструкции резервуаров для хранения нефтепродуктов и газов. Станут шире применяться изотермические резервуары большой вместимости для хранения сжиженных газов. На рис. 2 показан двухстенчатый резервуар емкостью 140000 м³. Внутренняя стенка и днище такого двухстенчатого резервуара выполняется из легированной стали с 9% никеля, наружная боковая стенка и крыша – из углеродистой конструкционной стали, подвесное покрытие – из алюминиевого сплава.

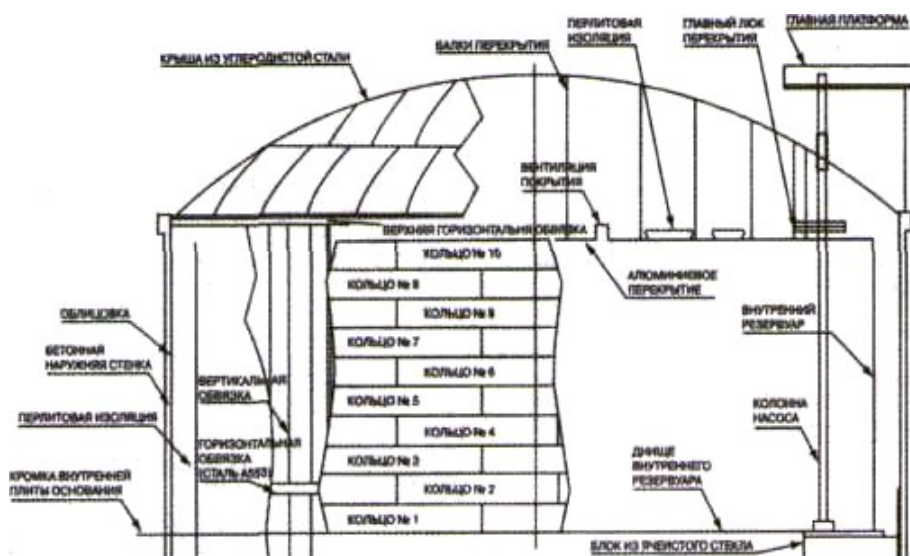


Рис. 2. Изотермический резервуар для хранения сжиженного природного газа емкостью 140 тыс. м³

Одной из проблем при возведении таких резервуаров является возникновение магнитного дутья из-за высокой способности стали с 9% никеля намагничиваться. Другим важным обстоятельством при сварке этих сталей является необходимость выдерживать температуру шва между сварочными проходами ниже 150°C. Это необходимо для предотвращения появления горячих трещин и изменения структуры в зоне термического влияния.

Элементы покрытия между крышей и сжиженным газом изготавливались из алюминиевого сплава, легированного магнием, с толщиной стенок 25 и 50 мм. Такие толщины потребовали применения в качестве защитного газа

смеси аргона и гелия. Аргон обеспечивал качественное формирование наружной поверхности шва, а гелий увеличивал проплавляющую способность [дуги](#).

Магистральные трубопроводы

При сооружении магистральных трубопроводов будут использоваться стали X80 и X100, обладающие высокими прочностными характеристиками. Для улучшения качества сварных швов при сварке трубопроводов из стали X80 эффективно применение механизированной сварки в узкощелевую [разделку](#) с использованием марганцовистых проволок сплошного сечения или металлпорошковых проволок с содержанием никеля 0,8-1,0%. Для стали X100 потребуется применение сварочных материалов с минимальным содержанием водорода, так как эти стали подвержены водородному растрескиванию в холодном состоянии.

Промышленное и гражданское строительство

Появятся новые высокопрочные стали и в конструкциях грузоподъемных машин: кранов, подъемников, платформ. Предел прочности таких сталей будет находиться в диапазоне 750-950 МПа. Для сварки таких металлоконструкций необходимо будет обеспечить низкое тепловложение. Это может быть достигнуто применением механизированной сварки [рутиловыми](#) порошковыми проволоками. Применение порошковых проволок позволит увеличить производительность, упростит технику сварки, позволит формировать сварные швы в любом пространственном положении без кантования крупногабаритных крановых узлов.

При переходе на многоэтажное строительство офисных и жилых зданий произойдут изменения в несущих конструкциях этих сооружений. Переход на применение высокопрочных сталей для каркасов обеспечит высокую стойкость зданий при вибрационных нагрузках и динамическом воздействии (рис. 3).

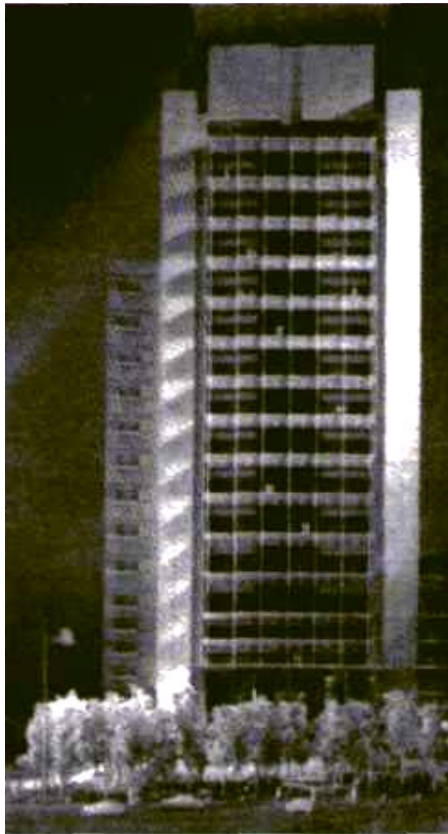


Рис. 3. Высотное многоэтажное сейсмостойкое здание с несущей стальной конструкцией (США)

При сварке таких сооружений будет необходимо применение сварочных материалов и технологических процессов, обеспечивающих высокий уровень вязкости сварных соединений, возможность качественного формирования вертикальных швов, высокую производительность. Успешное решение этих задач будет за порошковыми самозащитными проволоками, которые уже успели хорошо себя зарекомендовать при сварке в промышленном и гражданском строительстве.

При изготовлении железобетонных изделий уже применяются стали высокой прочности для арматурных сеток и каркасов. Высокопрочные стали используются для производства ответственных железобетонных изделий – [тубингов](#) подземных тоннелей, покрытий аэродромов и др.

При сварке арматурных каркасов из этих сталей применяется механизированная сварка проволоками сплошного сечения в газовой смеси 80% аргона и 20% углекислого газа. Применяемая технология обеспечивает высокое качество сварных швов и соединений в целом.

Эксплуатируемые сварные конструкции

В настоящее время существенно возросла доля сварных конструкций, уже отработавших свой нормативный срок. В связи с этим актуальной яв-

ляется проблема разработки научно-технических подходов к оценке и продлению ресурса сварных конструкций. Такие подходы должны базироваться на комплексном анализе всех стадий жизненного цикла конструкций, включая проектирование, изготовление и эксплуатацию.

Повышение надежности и долговечности эксплуатируемых сварных конструкций обусловлено совершенствованием методов их диагностики. Большие возможности в этом отношении представляет метод акустической эмиссии. Разработаны специальные методики и оборудование на основе эффекта акустической эмиссии, возникающей при деформировании и разрушении материалов. Портативная аппаратура позволяет надежно контролировать техническое состояние сосудов под давлением, магистральных трубопроводов и других ответственных конструкций.

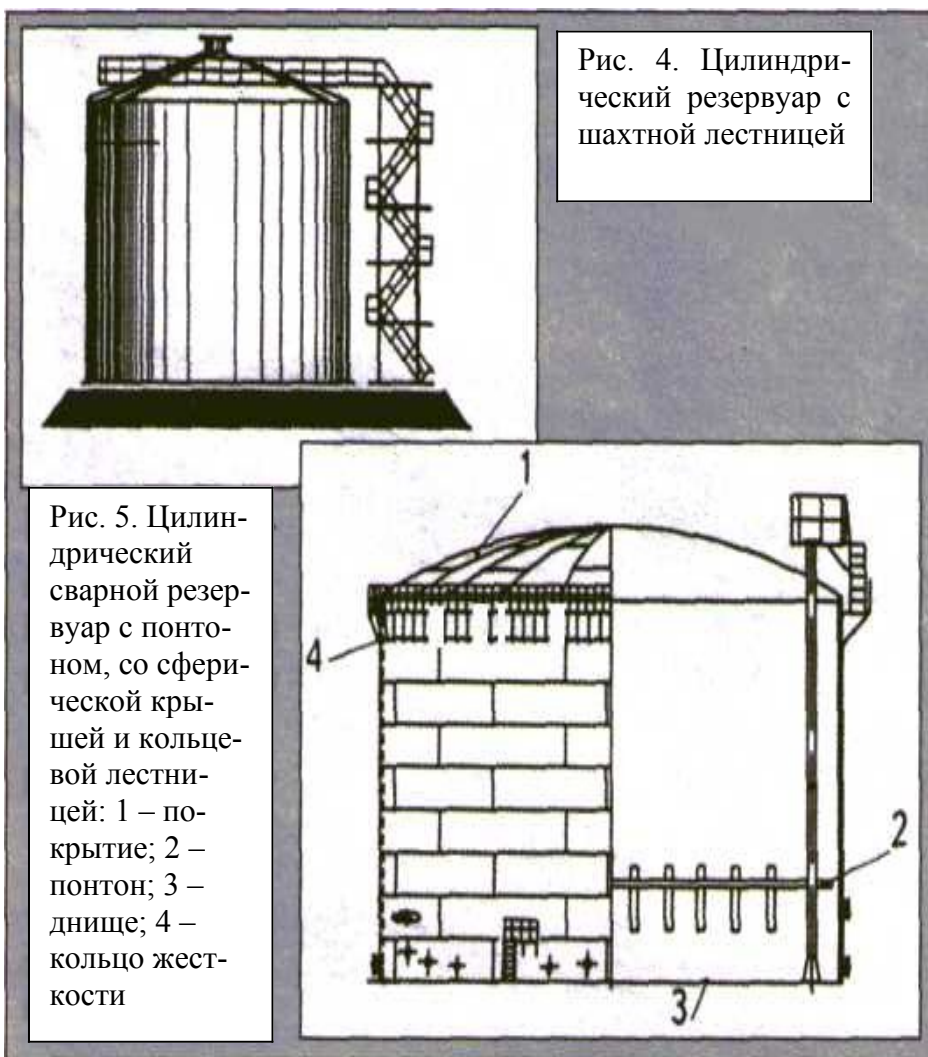
Конечной задачей является определение остаточного ресурса. Необходимо создание систем непрерывного мониторинга работоспособности сварной конструкции, к которым предъявляются повышенные требования по безопасности их эксплуатации. Эффективно также применение передвижных диагностических лабораторий, оснащенных акустоэмиссионной аппаратурой.

Важной проблемой является усталость сварных конструкций, от которой зависит долговечность сварных мостов, подвижного состава железнодорожного транспорта, грузоподъемных машин, сельскохозяйственной техники и многих других конструкций. Поэтому актуальной является проблема создания методов повышения сопротивления усталости сварных соединений.

3. Пути совершенствования конструкций сварных цилиндрических резервуаров

Современное развитие промышленности и транспорта требует строительства большого числа резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Основной массив хранилищ составляют стальные цилиндрические резервуары.

В начале XX века русский инженер В.Г. Шухов создал теорию расчета и конструкции наиболее экономичных стальных цилиндрических резервуаров. Их объемы были невелики: несколько сотен кубических метров. Листы соединялись заклепками. Начиная с 1930-х годов клепку заменила ручная дуговая сварка. С расширением потребности, ростом технических возможностей объемы резервуаров возросли до десятков тысяч куб. м (рис. 4,5).



С начала 1950-х годов в СССР, а позднее в Польше, Болгарии, Румынии и Югославии был создан метод рулонирования листовых конструкций при их заводском изготовлении. При этом значительная доля соединений листов выполнялась автоматической сваркой под флюсом. Стальные полотна, свернутые в многослойные рулоны, транспортировались по железной дороге или автотранспортом и разворачивались на месте монтажа (рис. 6). Максимальный объем резервуаров, изготовленных промышленным методом, составлял 50000 м³.



Рис. 6. Монтаж резервуара с разворачиванием стенки из рулона

В последние десятилетия XX века развивалось строительство резервуаров большого объема – до 100000-250000 м³ (рис. 7). Такие резервуары из-за существенного увеличения толщины листов собираются полистовой сборкой, при которой используют листы больших размеров (4х12 м), а также применяют механизированную сварку соединений на месте монтажа.

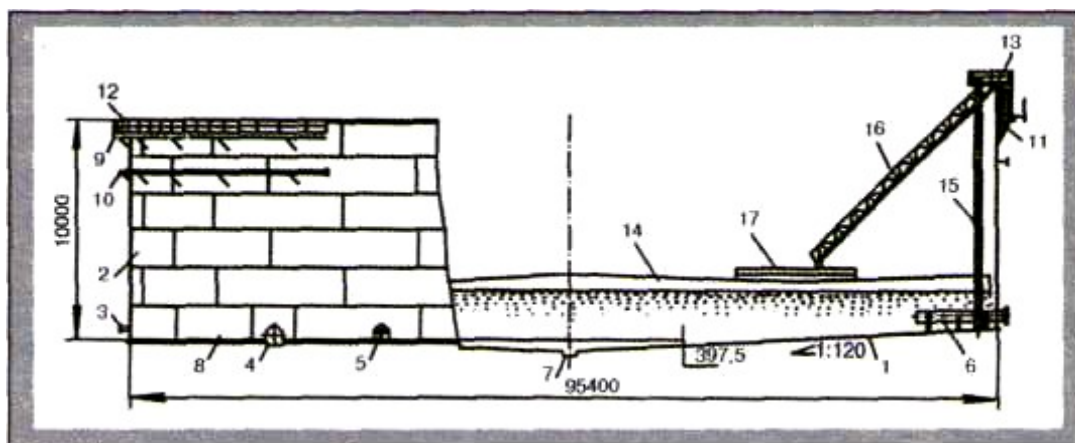


Рис. 7. Вертикальный сварной резервуар емкостью 100000 м³ с двухдечной плавающей крышей: 1 – днище; 2 – стенка; 3 – патрубок; 4 – зачистной люк; 5 – люк-лаз; 6 – рассекатель; 7 – зумф; 8 – бобышка заземления; 9 – верхнее ветровое кольцо; 10 – промежуточное кольцо; 11 – лестница; 12 – ограждение; 13 – выход на катучую лестницу; 14 – плавающая крыша; 15 – направляющая; 16 – катучая лестница; 17 – опорная ферма

Конструкции всех элементов резервуаров (стенок, днищ, крыш, фундаментов) на протяжении столетия во многом изменялись. Начали применяться стали с улучшенными характеристиками. Клепку сменила ручная дуговая сварка покрытыми электродами, а потом – механизированная [в защитных газах](#) проволоками сплошного сечения и самозащитными порошковыми проволоками. Был широко внедрен метод рулонирования. Применялись способы сборки стенок подрачиванием, в том числе со спиральным подъемом, сборка из укрупненных блоков, с горизонтальным разворачиванием рулонов и др.

По устройству оснований и фундаментов имелись следующие решения: простейшее основание в виде песчаной или гравийной подушки; такие же основания, но с железобетонным или уплотненным гравийным кольцом по периферии; фундаменты в виде железобетонной плиты, при слабых грунтах опирающейся на сваи.

В соединениях листовых элементов можно отметить отказ от накладок и уголков, не нужных при замене клепки сваркой, переход от [нахлесточных соединений](#) к [стыковым](#), использование, наряду со швами «в разбежку», швов, совмещенных в одну линию.

Велико разнообразие конструктивных решений в стационарных крышах резервуаров. Это конструкции с радиальными балками или фермами, сферические кровли на сплошных или решетчатых арках, щитовые кровли, собираемые из заводских крупных элементов, конические и сферические бескаркасные кровли, складчатые и висячие кровли. В последние десятилетия XX века фирмой «Ультрафлот» были предложены сборные крыши из алюминия для небольших резервуаров. ЗАО «Нефтемонтиагностика» изготовлены сварные конструкции алюминиевых купольных крыш для резервуаров объемом до 10000-20000 м³ (рис. 8). Институт «ЦНИИПроектстальконструкция» разработал и изготовил алюминиевые купольные крыши диаметром 40 м.



Рис. 8. Резервуары с купольной сварной алюминиевой крышей

На определенном этапе для снижения потерь от испарения хранимого продукта были испробованы специальные конструкции резервуаров, допускавшие повышенное внутреннее давление до 0,4-0,7 атм: каплевидные, цилиндрические со сфероцилиндрической крышей, горизонтальные каплевидно-цилиндрические и др. В процессе этих поисков выработались конструкции с плавающими крышами или с понтонами (при сохранении стационарных крыш). Нашли применение конструкции однодечных и двудечных плавающих крыш с кольцевыми и радиальными элементами жесткости, конструкции со сборкой из заводских коробов, с поплавками из алюминиевых сплавов или из пенопласта. Для понтонов и плавающих крыш были разработаны десятки конструкций уплотняющих затворов как жесткого, механического типа, так и «мягкие» с использованием резиноканевых и пенополиуретановых материалов.

К стали для изготовления резервуаров предъявляется ряд требований. Она должна обладать необходимой прочностью, быть хладостойкой и хорошо свариваемой, в том числе и в условиях монтажной площадки. Немаловажным условием является разумная стоимость стали.

На первых стадиях строительства резервуаров в Советском Союзе применяли обычные углеродистые_конструкционные_стали типа Ст3. И сейчас для малых и средних резервуаров применяется в основном Ст3 с пределом текучести 245 МПа. Для строительства крупных резервуаров потребовалось применение сталей с более высокими показателями текучести и прочности: 450-600 МПа. Эти показатели достигаются при более высокой степени легирования. В отечественной практике при изготовлении рулонированных резервуаров объемом 50000 м³ применили сталь 16Г2Ф с пределом текучести 440 МПа. Нижние пояса стенок рулонированных сварных конструкций из листов этой стали толщиной 16 и 18 мм можно изготавливать на существующем оборудовании.

В резервуаростроении наибольшее распространение получили способы ручной и механизированной сварки.

Еще в начале 1950-х годов метод изготовления конструкций путем их рулонирования был основан на применении наиболее отработанного в то время способа автоматической сварки под флюсом, выполняемой в нижнем положении. В первые десятилетия внедрения метода рулонирования пользовались сварочными тракторами ТС-17М Института электросварки им. Е.О.Патона (ИЭС им. Е.О. Патона). Процесс сварки стыков в полотнищах имел несколько модификаций. Первая идея, выдвинутая ИЭС, состояла в том, что листы соединялись встык за один проход трактора. Усиление шва с нижней стороны формировалось с помощью поджигаемой к [кромкам](#) медной подкладки с треугольной канавкой. Но осуществление идеи отличалось некоторыми трудностями. Не всегда достигалась точная подготовка соединяемых кромок, хорошая правка листов. Это затрудняло сборку стыка с равномерным зазором между кромками, что требовалось для засыпки мелкого флюса в канавку медной подкладки. Трудно давалось плотное прижатие кромок листов из-за их волнистости. Не удавалось избежать существенных деформаций в полотнищах. Тем не менее, даже при таких затруднениях были изготовлены десятки заготовок для первых рулонных резервуаров объемом до 5000 м³. Они прошли прочностные испытания и были введены в эксплуатацию.

Существенным изменением технологии изготовления рулонов стало внедрение двухъярусных стендов, разработанных трестом «Стальконструкция». Соединение кромок с помощью прихваток упростилось: в некоторых случаях были допущены нахлесточные соединения; сварка соединений выполнялась с двух сторон, хотя и теми же тракторами ТС-17М. На этих стендах были изготовлены первые сварные рулонированные резервуары объемом 10000 и 20000 м³.

В середине 1960-х годов ИЭС и Институтом «Гипромонтажиндустрия» был разработан первый механизированный стан для изготовления рулонированных конструкций (рис.9). Стан позволил почти полностью отказаться от ручных операций. На нем обеспечивалось надежное прижатие кромок, были применены более совершенные сварочные аппараты: двухдуговые, с автоматическим направлением по шву, с механизированным отсосом флюса и газов и другими устройствами. Появилась возможность применения в рулонах высокопрочной стали толщиной до 18 мм. Длина рулонов (высота резервуара) была доведена до 18-22 м. Все это позволило изготавливать рулонным методом резервуары объемом 30000-50000 м³.



Рис. 9. Автоматическая сварка под флюсом стенки рулонизируемого резервуара

При изготовлении первых полотнищ контроль сварных соединений выполняли керосиновой пробой и проверкой части швов рентгеновским просвечиванием. Позднее на механизированных станах был внедрен еще и механизированный 100%-й ультразвуковой контроль наиболее ответственных вертикальных швов полотнищ.

На первых порах монтажные соединения как при сборке из рулонов, так и при сборке листовым методом резервуаров до 10000-20000 м³ выполнялись ручной дуговой сваркой покрытыми электродами. Когда в СССР начали строить резервуары объемом 50000 м³ и более листовым методом с соответствующим утолщением листов, для сварки стыков применили механизированную сварку полуавтоматами в углекислом газе проволоками сплошного сечения марки Св-08Г2С.

В мировой практике с 1960-х годов были выработаны технологии и оборудование для механизированной сварки монтажных соединений резервуаров. Основные типы аппаратов разработаны фирмой «Arcos» (Бельгия). Горизонтальные стыки сваривают аппаратами «Циркоматик» многослойными швами под флюсом. Применяется К- и V-образная разделка кромок в зависимости от толщины листов, достигающей 45 мм. Вертикальные стыки подготавливаются с параллельными кромками. Их выполняют аппаратами «Вертоматик» с заполнением шва плавящимся электродным металлом и с формированием усиления шва подвижными охлаждаемыми башмаками. Аналогичные сварочные аппараты изготавливаются фирмой «Линкольн» (США) и некоторыми другими. Имеются подобные аппараты разработки Института электросварки им. Е.О. Патона.

Сварные соединения контролируются радиационными или ультразвуковыми методами. Иногда для контроля используется магнитографический метод.

В дальнейшем совершенствовании способов изготовления резервуаров тенденции сводятся к созданию резервуаров большой емкости.

В России около г. Новороссийска трестом «Коксохиммонтаж» с участием фирмы «Чикаго Бридж» (США) смонтировано 4 резервуара объемом по 100000 м³. Для уменьшения объема сварочных работ использовались крупноразмерные листы 3х12 м.

На о. Сахалин в сложной климатической и сейсмической зоне сооружается два резервуара объемом по 100000 м³ для хранения нефти. Работы ведутся совместно с фирмой «Шелл» (Нидерланды). В резервуарах идет сборка двудечной плавающей крыши (рис. 10). Институт «Коксохимпроект» разработал специально для этих условий плавающую крышу с повышенной жесткостью. Она должна оставаться работоспособной при больших снежных заносах, в том числе и несимметричных.

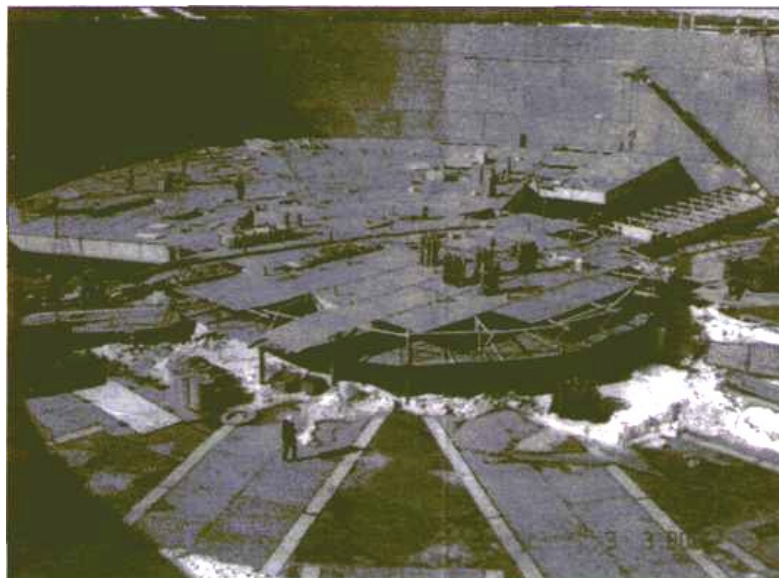


Рис. 10. Монтаж двудечной плавающей крыши в резервуаре объемом 100000 м³

В Белоруссии в г. Мозырь, а также на Украине в г. Броды по проектам «УкрНИИПроектстальконструкция» построены резервуары объемом по 75000м³. В конструкциях резервуара в г. Броды применена сталь нового поколения С440 марки 16Г2Б. При этом толщина первого пояса стенки составила 30мм вместо 60, когда применялась сталь 09Г2С.

В 2003 году в Чехии вблизи Праги компанией «Мостостав» сооружен парк резервуаров по 125000 м³ (рис.11). Резервуары имеют конструкцию с двойной стенкой и днищем. Резервуары такой же конструкции построены в Германии, на Украине и в других странах.



Рис. 11. Монтаж парка резервуаров по 125000 м³ с двойными стенкой и дном (Чехия)

Конструкция резервуаров с двойными стенкой и дном (рис.12) явилась как бы ответом на все возрастающие международные требования к обеспечению экологической безопасности нефтехранилищ. Они могут исключить протечки продукта в случае возникновения локальных неплотностей.

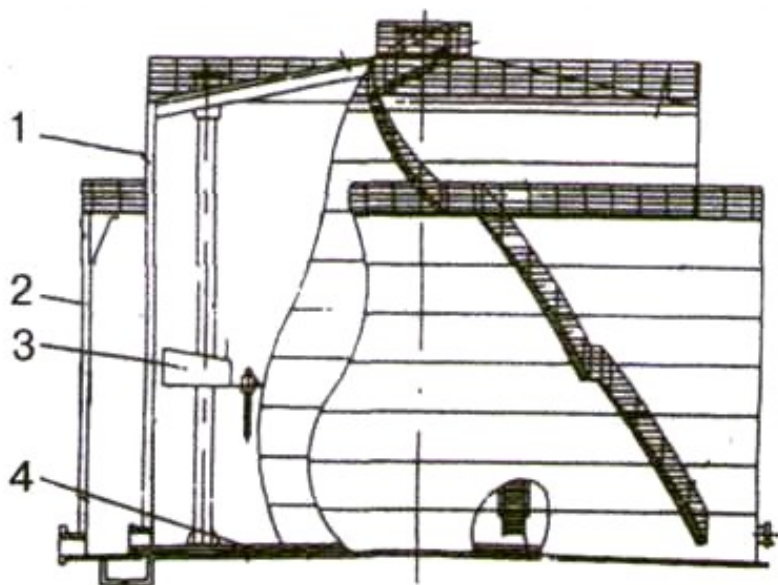


Рис. 12. Резервуар с двойной стенкой и днищем:

1 – резервуар; 2 – защитная стенка;
3 – понтон; 4 – двойное днище

В то же время эта конструкция не гарантирует защиту от наиболее опасного вида аварии с хрупким разрушением и раскрытием трещины на внутренней стенке по всей высоте. Вероятность таких аварий можно в какой-то мере уменьшить при использовании особо пластичных сталей и ужесточении норм ведения сборки, сварки и контроля швов. Однако полностью исключить эту угрозу нельзя.

Таким образом, в мире продолжается строительство сварных стальных цилиндрических резервуаров вплоть до объемов $100000\text{--}200000\text{ м}^3$. Постоянно ведется поиск более совершенных конструкций и материалов, в том числе алюминиевых сплавов для стационарных купольных крыш и для понтонов. Совершенствуются технологические процессы, методы сварки и сварочные материалы для изготовления этих конструкций. Разрабатываются новые виды оборудования для сварки вертикальных и горизонтальных швов.

4. Современное мостостроение

Современные тенденции в совершенствовании технологии возведения мостовых конструкций – это применение элементов и узлов заводского изготовления, где процесс производства гарантирует высокое качество продукции. Одним из элементов в мостостроении является конструкция несущих элементов проезжей части стальных мостов, которые до недавнего времени изготавливались на месте монтажа из продольных и поперечных балок. Поверх этих элементов обычно укладывался деревянный настил или железобетонные плиты.

С появлением конструкций новых элементов проезжей части, где лист настила объединен с продольными и поперечными балками в единый блок, стало возможным изготовление перекрытия моста на заводе.

Эти фрагменты настила получили название ортотропных плит. Конструктивно они состоят из пересекающихся продольных ребер и поперечных балок, приваренных к листу настила (рис. 13). Жесткость такой конструкции различна в продольном и поперечном направлениях, и поэтому конструкции называются ортотропными (от двух слов: *ортогонально анизотропный*). Появление ортотропных плит в мостостроении связано с двумя обстоятельствами: совершенствованием теории расчета мостовых конструкций и развитием сварочных технологий.

Рассмотрим подробнее конструкцию ортотропной плиты. Плоские продольные ребра проходят в вырезах поперечных балок. Отверстия для постановки болтов по концам продольных ребер и поперечных балок могут отсутствовать при использовании сварочных технологий при стыковке плит. Толщины элементов плит, расстояния между продольными ребрами, форма вырезов в поперечных балках нормируются в зависимости от конструкции моста.

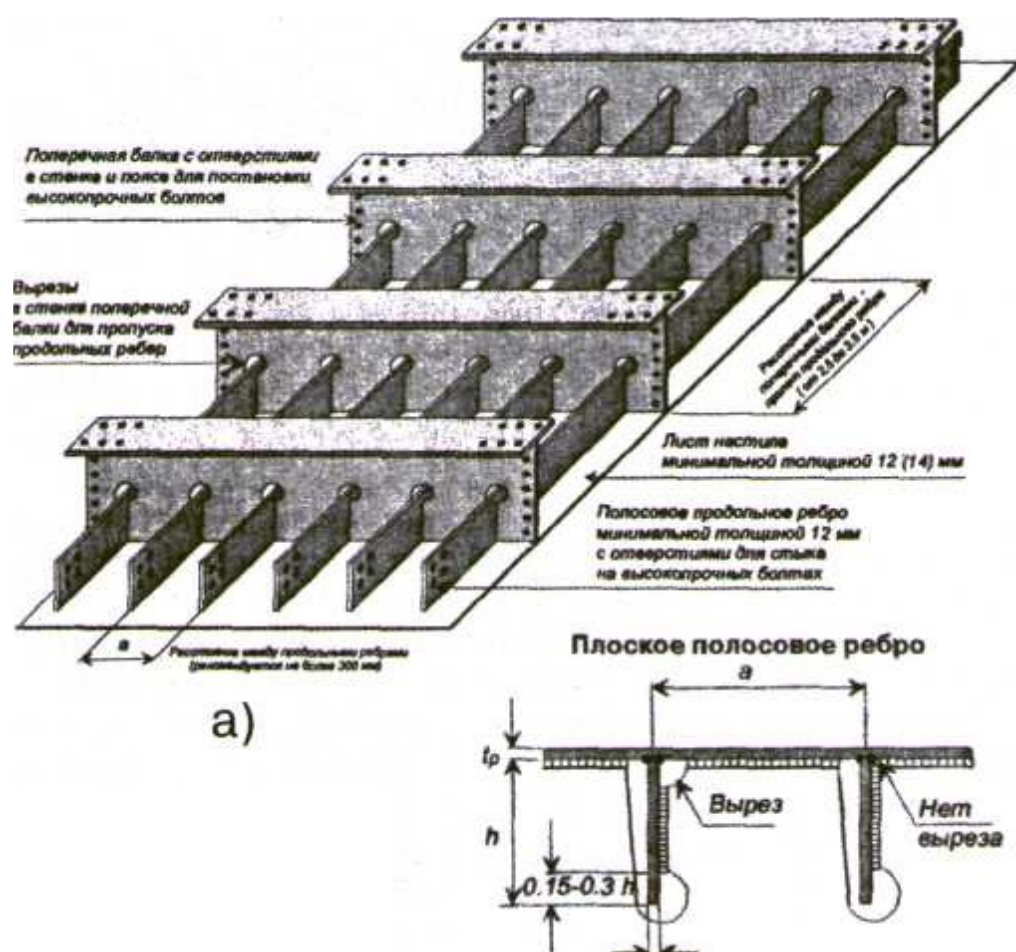


Рис. 13. Конструкция ортотропной плиты:

а – плита;

б – продольные ребра

На строительной площадке плиты объединяют между собой и главными балками пролета моста при помощи сварки или с использованием комбинированной технологии – на сварке и высокопрочных болтах. Размеры плит в плане, как правило, подчинены удобству их транспортировки монтажа, а также размерам выпускаемого листового проката.

Продольные ребра могут иметь открытое или замкнутое поперечное сечение. Ребра привариваются к листу настила с двух сторон угловыми швами с катетом шва 6-7 мм. Как правило, сварка выполняется двухдуговым автоматом под слоем флюса проволокой сплошного сечения на стапеле. Если катет больше 7 мм, то его не удастся удержать при сварке в вертикальном положении, так как металл шва стекает. Но и при таких катетах шва автоматическая сварка под флюсом обеспечивает гарантированное проплавление сечения ребра.

Ортотропные конструкции с полосовыми ребрами просты в изготовлении монтаже. Однако они имеют малую жесткость на изгиб и практически нулевую крутильную жесткость. Это требует частой постановки поперечных балок. Более устойчивыми к скручиванию являются ортотропные плиты с замкнутыми продольными ребрами. Деформации плиты с замкнутыми ребрами меньше, чем с открытыми ребрами. Внешний вид такой плиты показан на рис. 14.

Рис. 14. Ортотропная плита с замкнутыми коробчатыми продольными ребрами

Коробчатое ребро (рис.15) выгибается в холодном состоянии из прокатного листа толщиной 6-8 мм. Плиты могут быть укрупнены в заводских условиях в длинномерные модули с применением сварки. Длина такого модуля определяется транспортными возможностями плавсредств. Ребро приваривают к листу настила наружными швами с двух сторон. Внутренняя полость ребер в конструкциях листов должна быть герметичной.

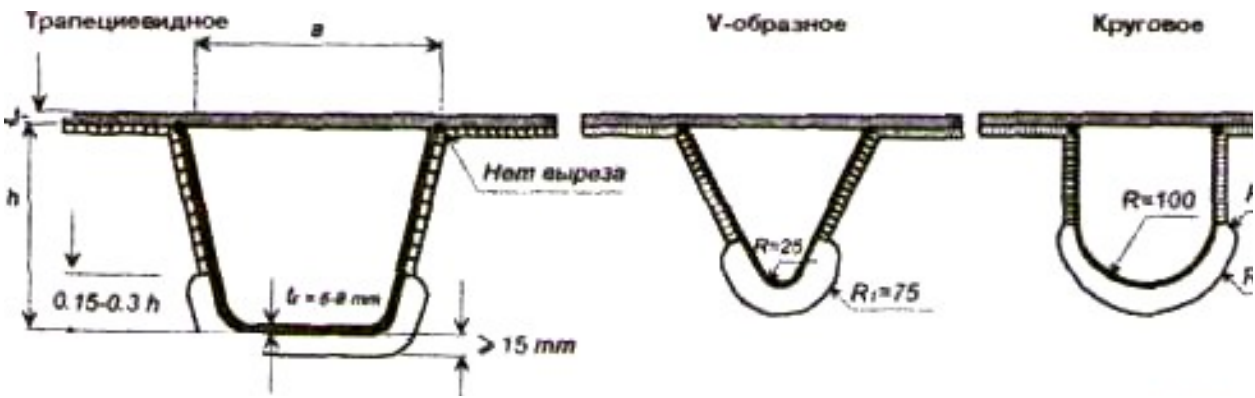


Рис. 15. Конструкции замкнутых продольных ребер

При сооружении ортотропных плитных элементов в заводских условиях широко применяются способы автоматической сварки под флюсом. В настоящее время широко внедряется механизированная сварка в защитных газах проволоками сплошного сечения, а также новые технологические процессы воздушно-плазменной резки, автоматической сварки с металлогимическими

ми присадками. Применение комплекса разрушающих и неразрушающих методов контроля качества сварных швов гарантирует отсутствие опасных скрытых дефектов.

Особое внимание специалисты научно-исследовательского центра «Мосты» уделяют технологии автоматической сварки мостовых конструкций на монтаже. Здесь хорошо зарекомендовала себя автоматическая сварка с применением металлохимической присадки. Выбор соответствующего состава присадки гарантирует обеспечение требуемых механических и эксплуатационных свойств сварных соединений. При этой технологии существенно снижается уровень остаточных сварочных напряжений, уменьшаются угловые и линейные деформации конструкций. Предложенная технология сварки высокоэкономична, так как обеспечивает сварку стыковых соединений с толщиной листа до 14 мм за один проход без разделки кромок. При этом ширина зазора между соединяемыми кромками может колебаться в широком диапазоне: от 5 до 12 мм на длине стыка до 10-12 метров.

Представляет интерес технология односторонней автоматической сварки стыковых соединений различных толщин проката на специальных комбинированных медных подкладках. При данной технологии полностью исключается ручная дуговая сварка, трудоемкая механическая обработка шлифмашиной обратной стороны стыковых швов, особенно в потолочном положении.

Для мостовых конструкций используются низколегированные стали 10ХСНД и 15ХСНД, микролегированные ванадием и ниобием стали 10ХСНДА и 15ХСНДА, двухслойные 09Г2С+12Х18Н10Т.

Проекты мостов из легких сварных конструкций их ортотропных плитных элементов отличаются разнообразием технических решений. Это современные балочно-неразрезные, вантово-балочные и висячие мосты, поражающие воображение огромными пролетами, оригинальностью и эффектностью решений (рис.16).



Рис. 16. Вантовый мост через р. Москву в районе Серебряного бора (проект)

Стальное мостостроение сегодня динамично развивается. Интенсивное развитие транспортной сети на территории РФ, в крупных городах обусловило широкое внедрение мостов со стальными пролетными строениями. Подтверждением сказанного является растущий объем выпуска стальных мостовых конструкций. В настоящее время в России имеется 24 завода и более 100 строительно-монтажных организаций, выполняющих сборку и монтажную сварку стальных мостовых конструкций.

В качестве яркого примера современных технологий монтажной сварки в конструкциях пролетных строений стальных мостов можно привести уникальный стальной мост через р. Москву в районе Серебряного Бора (рис. 16, 17а).

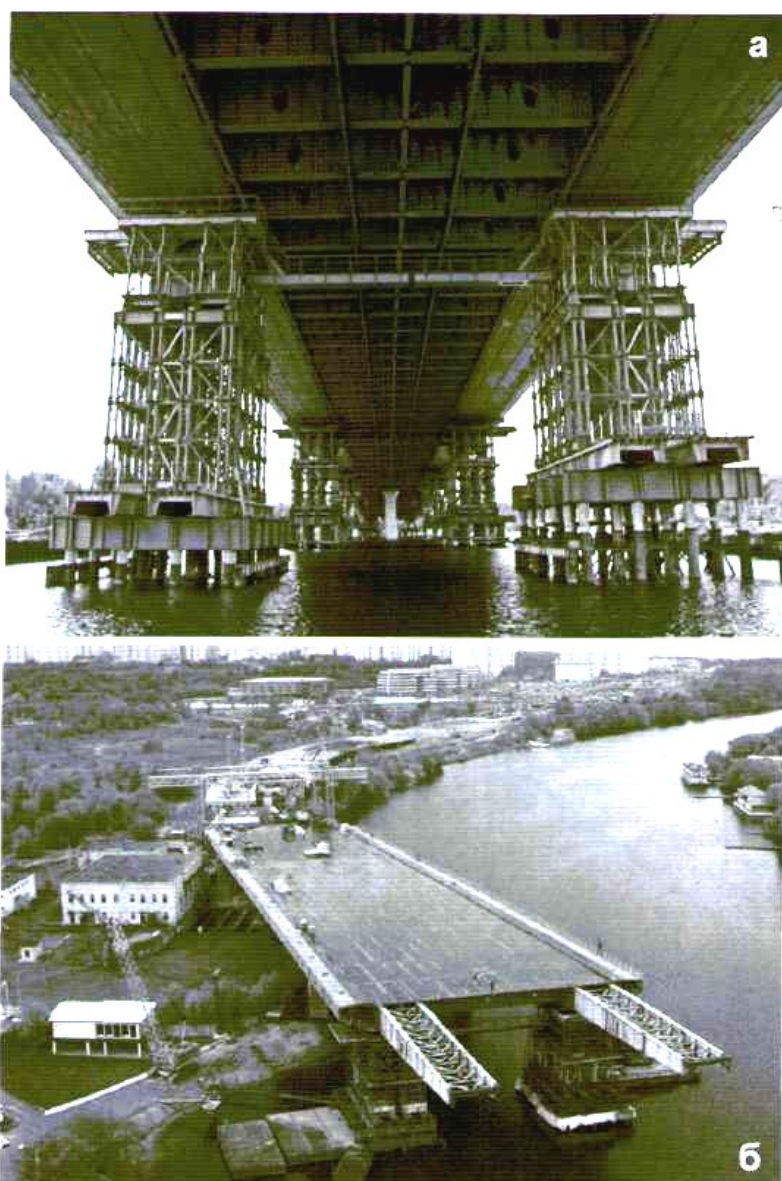


Рис 17. Стальной мост через Москву-реку в районе Серебряного Бора

Стальное пролетное строение в вантовой части имеет в поперечном сечении расположенные по краям две коробчатые балки, которые идут на монтаж «россыпью». На монтаже коробчатая балка формируется с помощью сварки и высокопрочных болтов. Эти главные коробчатые балки объединены поперечными балками с шагом 5,25 м и ортотропными плитами между коробчатыми балками. Каждая ортотропная плита конструктивно решена с трапециевидными продольными ребрами жесткости и имеет ширину 2,5 м. Общая ширина моста более 40 м (рис. 176).

5. Сварные конструкции космического пространства

Россия является одним из лидеров в освоении космического пространства. Ведущую роль в изготовлении космических объектов играет сварка. Космические корабли и станции – это сложные сварные конструкции.

4 октября 1957 года впервые в околоземное пространство был запущен искусственный спутник Земли.

Подготовка к освоению космоса началась задолго до первого запуска искусственного спутника. Огромную работу выполнили проектировщики и строители заводов и стартовых площадок. Поработали и сварщики.

В космическом центре имени Кеннеди в США был сварен каркас монтажного цеха весом 60000 тонн, высотой 160 метров.

Все ответственные конструкции на стартовой площадке – тоже сварные. Удар мощного пламени, вырывающегося из двигателя ракеты, принимает на себя сварной пламеразделитель весом 650 тонн, высотой 12,7 м.

Резервуары для хранения жидкого топлива, керосина, кислорода и водорода сконструированы как "бак в баке". Точность их изготовления высокая, размеры огромны. Например, емкость резервуара с жидким кислородом – 340200 литров, диаметр наружного шара – 21, 35 м. Внутренний шар сварен из нержавеющей стали, наружный – из малоуглеродистой.

Ракета-носитель выводит в космос корабль или станцию. Люди отдают себя под защиту космического корабля. Но и металлы, и пластмассы, и другие материалы, из которых сделан корабль, сами подвергаются действию перегрузок, перегреву, сильному охлаждению. Даже с самым высококачественным материалом могут случиться "неприятности". Не исключено и повреждение корабля метеоритом, другим космическим кораблем.

Можно ли заварить трещину или пробоину в космических условиях? Как сварить из отдельных блоков большие космические конструкции?

Основные особенности космоса как среды для сварочных работ:

- 1) невесомость;
- 2) глубокий вакуум и очень высокая скорость откачки газов и паров из зоны сварки;
- 3) широкий интервал температур, при которых может находиться расплавленный и кристаллизующийся металл.

16 октября 1969 года летчики-космонавты космического корабля "Союз-6" Г.С.Шонин и В.Н.Кубасов впервые в мире выполнили сварку в космосе. На установке "Вулкан" были сварены образцы из различных материалов плазменной дугой, дугой с плавящимся электродом и электронным лучом. Одновременно был испытан способ разделительной резки электронным лучом.

Летом 1973 года эксперименты по сварке были продолжены на станции "Скайлэб" американскими астронавтами.

Первые шаги сварки в космосе дали обнадеживающие результаты.

Опыт сварки космической техники насчитывает несколько десятилетий от первых искусственных спутников Земли до сложных кораблей многоцелевого использования «Буран» (рис. 18).. Но особенно многообразной и сложной в части выполнения сварочных работ явилась программа пилотируемой орбитальной станции «Мир» (рис. 19, 20). В этом проекте были сконцентрированы все достижения в сварочной науке и технике. В ходе выполнения работ по этому проекту был накоплен огромный положительный опыт по сварке сталей различных марок, сплавов, цветных металлов, композитных материалов.

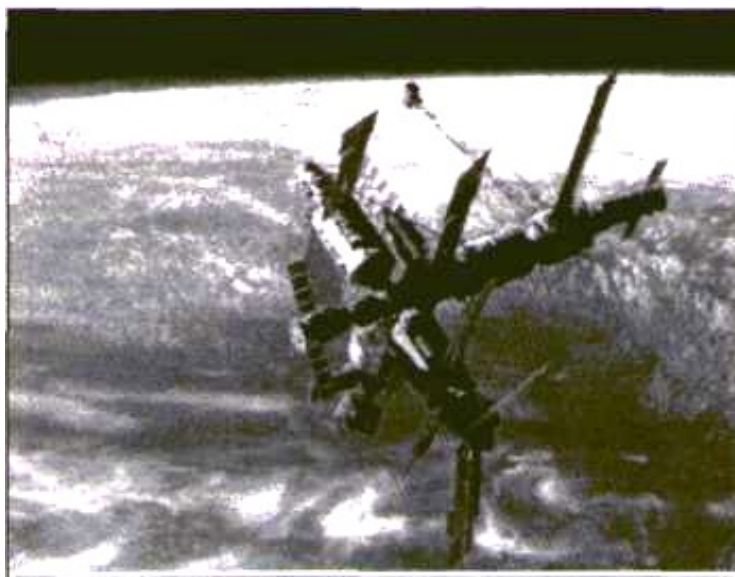


Рис. 19. Орбитальная станция «Мир»

Рис. 18. Система Энергия-Буран

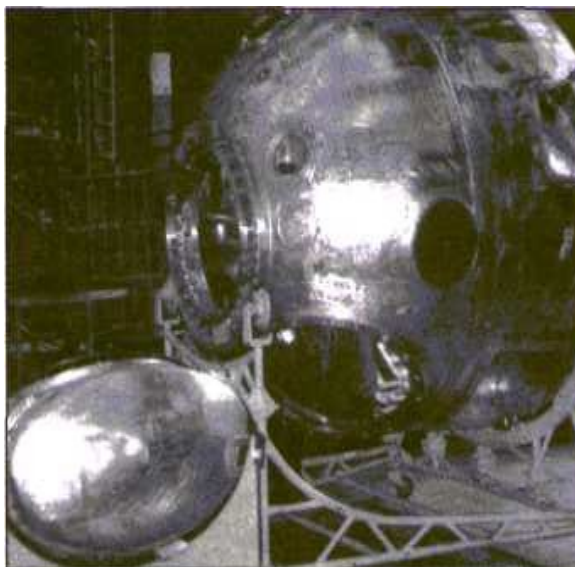


Рис. 20. Сварная конструкция спускаемого аппарата

Программа станции «Мир» базировалась на принципах, которые были успешно проверены при эксплуатации орбитальных станций «Салют». Главными из них были модульность и поэтапное строительство на околоземной орбите.

Для изготовления модульных сварных конструкций был разработан метод агрегатно-сборочного производства. Типовые агрегаты собираются в приспособлениях, обеспечивающих высокую точность изготовления. Участки сборки и сварки космических агрегатов позволяют изготавливать герметические емкости диаметром до 3500 мм и длиной до 7000 мм (рис. 21).

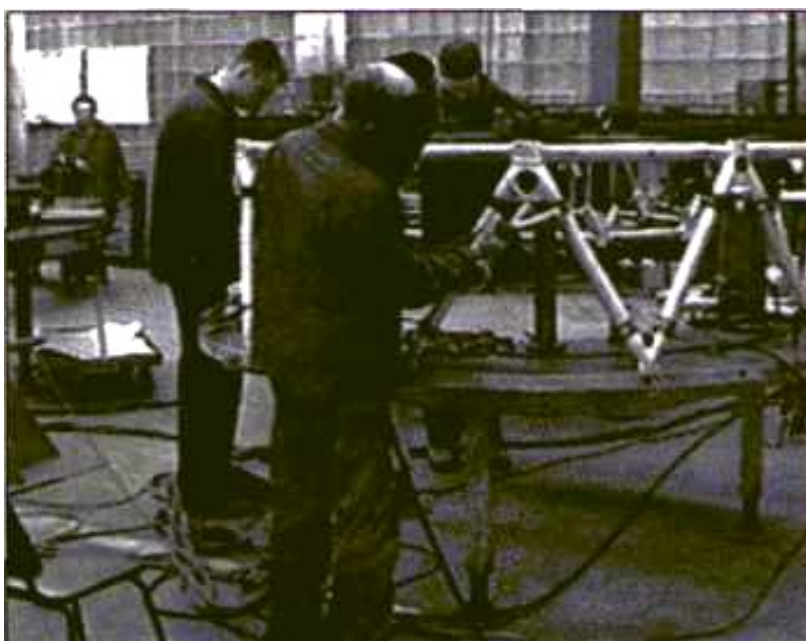


Рис. 21. Сварка фермы на стапеле

Сегодня при изготовлении космических агрегатов применяются следующие способы сварки:

- лазерным лучом – для герметичных корпусов приборов и арматуры;
- аргонодуговая, в том числе в контролируемой атмосфере – для баков пилотируемых и грузовых транспортных кораблей, разгонных блоков из алюминиевых сплавов;
- автоматическая в вакуумной камере – для баллонов высокого давления из титановых сплавов;
- трением – для разнородных биметаллических материалов.

Все сварные конструкции подвергаются различным видам неразрушающего контроля: рентгеновским просвечиванием, ультразвуковой дефектоскопией, вакуумированием, эндоскопическим контролем и др.

Готовые агрегаты передаются в эксплуатацию или на главную сборку полностью собранными, механически обработанными после сварки и прошедшими полный контроль на герметичность и функционирование. При необходимости проводятся специальные испытания, так как космические агрегаты эксплуатируются в сложных условиях: в вакууме и под высоким давлением, при повышенных и пониженных температурах, в контакте с агрессивными средами и под воздействием вибрации.

Специалисты ракетно-космической отрасли России предлагают новые крупномасштабные проекты по освоению космического пространства. По значимости и актуальности они являются новейшими прорывными наукоемкими технологиями XXI века. Среди этих проектов большое значение имеют международные космические станции, ракетно-космический комплекс «Морской старт», спутники связи «Ямал», крупногабаритные космические конструкции, проект пилотируемой экспедиции на Марс, энергетические установки для мало энергетики.

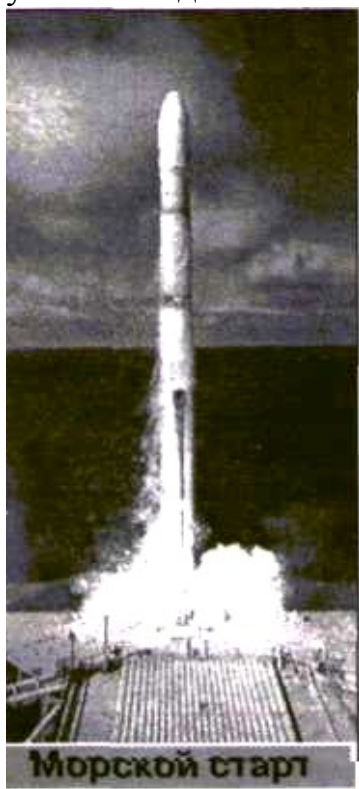


Рис. 22. Морской старт

В августе 2005 года на Международном авиационно-космическом салоне МАКС-2005 всеобщий интерес вызвал отечественный пилотируемый многократно цельносварной космический корабль "Клипер" (рис.23).

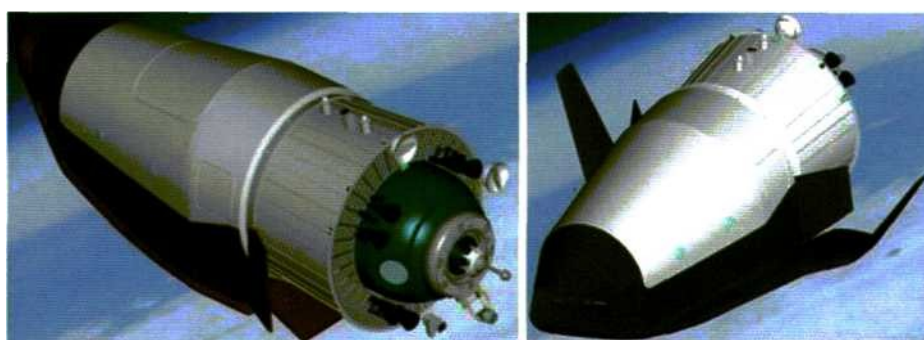


Схема –«несущий корпус»

Схема «самолетного типа»

Рис. 23. Варианты конструктивного исполнения корабля «Клипер»

Техническая характеристика космического корабля "Клипер":

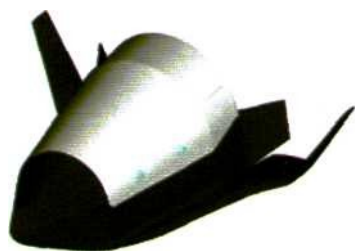
1. Стартовая масса -13-14 тонн;
1. Масса доставляемого груза - 700 кг.
2. Масса груза возвращаемого - 500 кг.
3. Время автономного полета - 5 суток

Конструктивно «Клипер» состоит из возвращаемого аппарата и орбитального отсека. Главная особенность – это возвращаемый аппарат типа «несущий корпус» со своеобразной «утюгоподобной» формой. Высокие аэродинамические качества позволяют осуществлять планирующий спуск в верхних слоях атмосферы. Это снижает тепловые нагрузки и позволяет использовать многократную теплозащиту. Конструкция также позволяет «утюгу» совершать боковые маневры в пределах 500-600 км. Для удержания нужной ориен-

тации при спуске на возвращаемом аппарате предусмотрены аэродинамические щитки.

Крылатый возвращаемый аппарат в целом сохранил фюзеляж бескрылого, но, несмотря на это, обладает высокими аэродинамическими качествами на дозвуковой скорости. Это позволяет производить посадку на аэродромы как обычному самолету (рис. 24).

1. Возвращаемый аппарат типа «несущий корпус»



2. Возвращаемый аппарат
«самолетного типа»

Рис. 24. Варианты посадки.

1. Посадка аппарата типа "Несущий корпус" возможна в заранее выбранном районе, на любом витке орбиты с использованием парашютной системы и двигателей мягкой посадки.
2. Посадка аппарата "Самолетного типа" возможна на заранее выбранный аэродром, на любом витке орбиты с боковым маневром до 2000 км.

Среди задач, которые будет решать «Клипер», - не только доставка грузов и экипажей на орбитальные станции и их возвращение на Землю, но и срочная эвакуация экипажа орбитальной станции, исследовательские и туристические орбитальные полеты. Длительность автономного полета «Клипера» - 5 суток. При выполнении целевых задач длительность автономного полета без стыковки со станцией составляет 15 суток.

В пристыкованном к орбитальной станции состоянии его ресурсов хватит на целый год.

В конструкции "Клипера" использованы различные материалы, но в первую очередь алюминиевые и титановые сплавы, легкие, обладающие высокой прочностью. Корпус корабля должен быть герметичным, а потому цельносварным. Сплавы должны быть хорошо сварены, чтобы вся конструкция была прочной и легкой.

При изготовлении деталей и узлов корпуса возвращаемого аппарата применяются различные технологические процессы сварки от [контактной](#) до лазерной. Все сварные швы проходят 100%-ный контроль по жесткому регламенту.

Словарь технических терминов

Аргон – инертный негорючий и невзрывоопасный газ без цвета и запаха. В сварочном производстве используется в качестве защитного.

Вольфрамовые электроды - электроды из прутков чистого вольфрама диаметром 0,2-12 мм.

Гелий - инертный газ без цвета и запаха, невзрывоопасный. В сварочном производстве используется в качестве защитного.

Горячие трещины – трещины в сварном шве, образующиеся в процессе первичной кристаллизации сварочной ванны. Их также называют кристаллизационными.

Дуга электрическая сварочная – мощный устойчивый электрический разряд в газовой среде между электродом и изделием или между двумя электродами.

Зона термического влияния – зона основного металла, в которой в результате нагрева и охлаждения металла происходят изменения структуры и свойств.

Инверторный источник питания – источник питания со звеном повышенной частоты.

Свариваемые кромки – торцовые поверхности деталей, подлежащие нагреву и расплавлению при сварке.

Контактная электросварка – Сварка с применением давления, при которой нагрев производится теплом, выделяемым при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые части.

Лазерная сварка – сварка световым лучом оптического квантового генератора – лазера.

Легированная сталь – сталь с примесями, специально вводимыми с целью изменения структуры и свойств.

Магнитное дутье – отклонение столба сварочной дуги под действием магнитного поля, наблюдаемое в основном при сварке постоянным током.

Нахлесточное соединение – соединение, в котором кромки свариваемых деталей расположены параллельно одна над другой и наложены друг на друга.

Порошковая проволока – проволока, отформованная из ленты в трубку, внутрь которой запрессован флюс.

Поры – дефекты сварного шва в виде полостей округлой формы.

Прочность – способность материала сопротивляться деформациям и разрушениям.

Разделка кромок – формы подготовки кромок под сварку. Основные параметры формы подготовки кромок: углы скоса и разделки кромок, притупление кромок, зазор.

Ротационная сварка трением - процесс образования сварного шва, при котором свариваемые кромки за счет деформации и сверхпластичности металла образуют монолитную структуру.

Рутил – TiO_2 .

Ручная дуговая сварка – способ сварки открытой дугой (т.е. без подачи защитного газа или сварочного флюса), при котором зона дуги доступна наблюдению; для местного нагрева металла до температуры расплавления используется тепловая энергия электрической дуги, горящей между свариваемым металлом и концом электрода, закрепленного в электрододержателе; электрододержатель подключен к источнику сварочного тока.

Свариваемость – способность металла или сочетания разнородных металлов образовывать сварное соединение. Одно из важных технологических свойств металлов.

Сварка в защитных газах – способ сварки, при котором в процессе сварки вокруг дуги создается газовая среда, отличающаяся по составу от воздуха. Эта среда защищает металл от вредного влияния воздуха.

Сварка под флюсом – способ сварки, при котором шлаковая защита для плавящегося теплотой дуги электродного металла создается плавлением специального гранулированного вещества – сварочного флюса.

Стыковое соединение – соединение деталей, расположенных в одной плоскости или на одной поверхности.

Тюбинг – (англ. tubing, от tube – труба) – элемент сборного крепления подземных выработок (туннелей, шахт и т.п.).

Углеродистые конструкционные стали – стали, применяющиеся для изготовления различных конструкций, сооружений, деталей машин. Не содержат легирующих элементов.

Угловой шов – сварной шов в угловом, тавровом и нахлесточном соединениях.

Усталость – вид разрушения изделия, когда многократное циклическое воздействие приводит к образованию и накоплению микротрещин, пор, слиянию трещин и долому.

Список литературы

1. Пилотируемый многоразовый корабль «Клипер» - цельносварная конструкция [Текст] / В.И. Азаров // Сварщик-профессионал. – 2005. - №4. – С.15.
2. Пути совершенствования конструкций сварных цилиндрических резервуаров [Текст] / Б.В. Поповский // Сварщик-профессионал. – 2005. - №2. – С.5.
3. Роль, значение, настоящее и будущее сварных металлоконструкций [Текст] / Н.П. Алешин // Сварщик-профессионал. – 2005. - №2. – С.2.
4. Сварные конструкции в XXI веке [Текст] / Л.М. Лобанов // Сварщик-профессионал. – 2005. - №2. – С.3.
5. Сварные конструкции космического пространства [Текст] / Ю.Л. Яровинский // Сварщик-профессионал. - 2005. - №2. – С.16.
6. Сварные ортотропные конструкции в современном мостостроении [Текст] / А.С. Платонов, В.Г. Гребенчук, В.Г. Мاستрюков // Сварщик-профессионал. – 2005. - №2. – С.8.
7. Современные технологии монтажной сварки конструкций стальных мостов и концепции аттестации сварочного производства на объектах стального мостостроения [Текст] / В.Г. Гребенчук // Сварка и диагностика. – 2007. - №6. – С.24.