

науково-дослідних інститутах, в навчальному процесі у вищих навчальних закладах, на машинобудівних та металургійних підприємствах.

Бібліографічні посилання

1. Шаповалова О.М. Ресурсосберегающие технологические процессы обработки цветных и черных металлов, их сплавов. Днепропетровск : ДГУ, 1991. 142 с.
2. Шаповалова О.М., Золотько Е.В., Шевченко Н.И. Изучение фазовых

превращений сплава ВТ23, выплавленного по особой технологии с использованием возвратного метала. Днепропетровск : ДГУ, 1993. 162 с.

3. Бабенко Е.П., Долженкова Е.В. Исследование причин разрушения крупногабаритного изделия из сплава ВТ23. Днепропетровск : ООО Укрметаллургинформ НТА, 2014. 4 с.

Надійшла до редколегії 02.07.2018 р.

УДК 621.791: 621.7.011

ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ (УСАДКА) В МЕТАЛЛЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СВАРОЧНЫХ РАБОТ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КОРПУСНЫХ ОТСЕКОВ

О. А. Дружинина, Е. С. Болюбаш

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля, ул. Криворожская, 3, г. Днепр, 49008, Украина, e-mail: asacurane@gmail.com

Розглянуто питання зварювання і деформації конструкції, викликані внутрішньою поперечною напругою, що виникає у зварних швах. Проведено розрахунок усадки металу (АМг6), приведено результати вимірів усадки після зварювання, дано рекомендації по зменшенню зварювальних деформацій, напруги і переміщень, призначенню технологічних припусків для парювання впливу термодформаційних процесів.

Ключові слова: зварювання, термодформаційні процеси, усадка, тонкостінний корпус.

The questions of welding and deformation are considered the constructions, caused by internal transversal tensions arising up in the weld-fabricated guy-sutures. The calculation of shrinkage of metal (AMg6) is conducted, the result of measuring over shrinkage is brought after welding, given to recommendation on reduction of welding deformations, tensions and moving, setting of technological allowances for the parry of influence of termal deformation processes.

Keywords: welding, thermal deformation processes, shrinkage, thin-walled housing.

Рассмотрены вопросы сварки и деформации конструкции, вызванные внутренними поперечными напряжениями, возникающими в сварных швах. Проведен расчет усадки металла (АМг6), приведены результаты измерения усадки после сварки, даны рекомендации по уменьшению сварочных деформаций, напряжений и перемещений, назначению технологических припусков для парирования влияния термодформационных процессов.

Ключевые слова: сварка, термодформационные процессы, усадка, тонкостенный корпус.

Введение. Сварка – это один из наиболее совершенных видов неразъемных соединений металлических элементов. При использовании сварки в ракетостроении имеются большие возможности в создании наиболее оптимальных и рациональных конструкций.

При изготовлении тонкостенного конического корпусного отсека (см. рис. 1) выявлено, что после выполнения сварки четырех кольцевых швов длина корпуса уменьшилась на ~3,5 мм. Причиной этого являются термодформационные процессы

при сварке, вызванные поперечным напряжением в сварном соединении.

Суть процесса сварки состоит в том, что металлы нагреваются до температур, близких к температуре порога рекристаллизации. Характерным для сварки является создание внутрикристаллических форм связи между соединяемыми металлами (или соединяемыми металлами и металлом шва). Между соединяемыми металлами возникает непрерывная металлическая связь путем образования общих зерен (см. рис. 2).

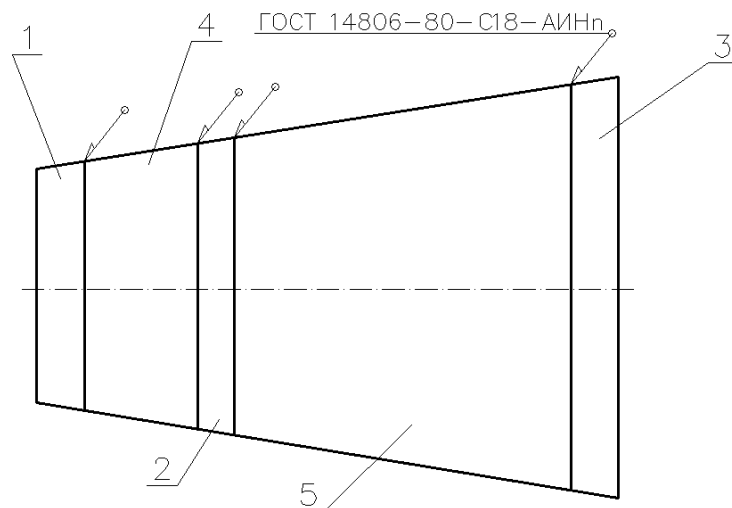


Рис. 1. Конструктивная схема корпусного отсека:
 1 – шпангоут верхний, 2 – шпангоут промежуточный, 3 – шпангоут нижний,
 4 – обечайка верхняя, 5 – обечайка нижняя

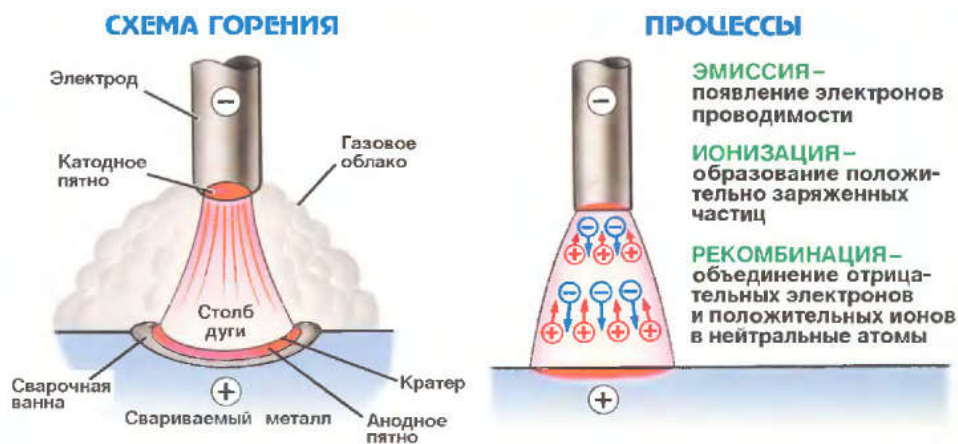


Рис. 2. Процессы, возникающие при создании сварного соединения

Сварные соединения алюминиевых сплавов обладают повышенной чувствительностью к концентраторам напряжений по сравнению с рядом сталей. Слабыми участками в сварных соединениях могут быть швы, зоны термического влияния и сплавления. Зоной термического влияния называют участок основного металла, прилегающий к швам, который в результате сварки изменяет механические свойства.

Помимо напряжений и деформаций, возникающих в деталях под действием приложенных нагрузок, в них могут быть так называемые собственные напряжения, которые существуют в телах даже при отсутствии воздействия каких-либо внешних сил. Причины образования собственных напряжений весьма многообразны.

Одной из них является неравномерный нагрев тела (см. рис. 3).



Рис. 3. Термический цикл в сварном шве

Собственные напряжения могут быть временными, если их возникновение связано с временно действующим фактором, остаточными – если они

сохраняются при устранении факторов, способствующих их образованию. Остаточные напряжения, вызванные сварочными процессами, нередко называют сварочными.

В момент разогрева в сварном шве образуются напряжения сжатия, уравниваемые напряжениями растяжения в остальной части пластины. После охлаждения в результате пластического деформирования в процессе нагрева в зоне шва пластины образуются напряжения растяжения. Их произведение на площадь действия представляет растягивающую силу.

Величина остаточной деформации от сварки зависит не только от формы изделия и величины энергии на единицу длины, но и от металлургических свойств основного и присадочного металла (проволоки), определяющих характер структурных превращений при охлаждении.

Величина поперечного сокращения $\Delta_{\text{поп}}$ (усадки) в результате усадки поперечного шва определяется соотношением

$$\Delta_{\text{поп}} = A \frac{\alpha}{C_{\gamma}} \cdot \frac{q}{s},$$

где q – энергия на единицу длины; $q = q_{\text{эф}}/V_{\text{с}}$; $V_{\text{с}}$ – скорость сварки; s – толщина листа; α – коэффициент линейного расширения; C_{γ} – объемная теплоемкость; A – эмпирический коэффициент.

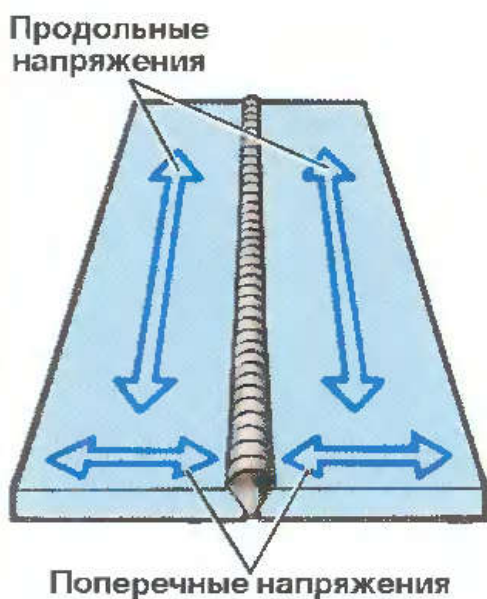


Рис. 4. Напряжения на сварном шве

Изменение размеров сварных конструкций является одним из основных факторов, которые необходимо учитывать при разработке новых изделий. При этом следует иметь в виду, что помимо изменения размеров, вызываемых пластическим деформированием, что присуще в той или иной мере всем изделиям, в сварных конструкциях имеет место деформирование в течение некоторого периода времени, связанное не с нагрузочными операциями, а со специфическими особенностями самих сплавов. Величина и знак деформации во времени зависят от класса материала, структуры и состояния сплава до и после сварки, термического цикла сварки и условий эксплуатации.

Для отдельных классов материала предлагается ряд способов обработки сварных конструкций, способствующих уменьшению деформации во времени. К ним следует отнести термообработку (отпуск, термоциклирование и др.), механическую обработку сварного шва (проковка, прокатка), вибро- и ультразвуковую обработку.

Параллельно с учетом главных параметров, определяющих несущую способность сварных алюминиевых конструкций, их надежность и т.д., на стадии проектных работ следует помнить о требованиях точности сохранения размеров, приданных им первоначально.

Так, сварная конструкция из алюминиевых сплавов изменяет свои размеры после первого нагружения в результате образования пластических деформаций. Помимо изменения размеров, вызываемого пластическим деформированием, имеет место деформирование в течение некоторого периода времени. С повышением температуры хранения, погонной энергии и жесткости изделий деформируемость возрастает.

Технология выполнения кольцевого сварного шва. Длинные (свыше 1000 мм) сварные швы рационально разбивать на отдельные участки длиной 100–150 мм. Сварка на каждом из них выполняется в

направлении, обратном общему направлению сварки.

Сварку кольцевых сварных швов выполняют согласно рис. 6, а при наличии поворотных манипуляторов согласно рис. 7.

Во время сварки одного участка сварного шва не допускаются перерывы в работе. Второй и последующие участки накладываются с небольшим нахлестом на предыдущий. При этом присадочный пруток располагают полого к изделию (см. рис. 5). По окончании сварки пламя горелки отводят от расплавленного металла постепенно.

Определение поперечной усадки расчетным методом. Корпусной отсек изготавливается сваркой из трех шпангоутов и двух конических обечаек (см. рис. 1).

Материал для изготовления корпусного отсека – алюминиевый деформируемый сплав АМг6. Толщина конструкции в зоне сварного соединения 5 мм, сварка корпуса производится сварным швом С18-АИНп по ГОСТ 14806-80 (см. рис. 8).

Размеры деталей, используемых при сварке корпусного отсека, составляют:

- шпангоут верхний – 76_{-0,5} мм;
- шпангоут промежуточный – 65_{-0,5} мм;

- шпангоут нижний – 57_{-0,5} мм;
- обечайка верхняя – 162±0,6 мм;
- обечайка нижняя – 1355±1 мм.

Произведем расчет поперечной усадки корпусного отсека. Усадку одного кольцевого сварного шва определим по формуле:

$$\Delta_{\text{поп}} = A \frac{\alpha}{C_{\gamma}} \cdot \frac{q}{s},$$

Толщина свариваемого изделия $s = 5$ мм.

Напряжение на дуге $U = 25$ В;

Сила тока $I = 160$ А;

Скорость сварки $V_c = 0,66$ м/мин (0,011 м/сек);

Коэффициент линейного расширения сплава АМг6 $\alpha = 2,47 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹;

Объемная теплоемкость $C_{\gamma} = 2,43 \cdot 10^6$ Дж/м²·град;

Эмпирический коэффициент для электродуговой сварки $A = 1,2$.

$$\Delta_{\text{поп.св.ш.}} = 1,2 \cdot \frac{24,7 \cdot 10^{-6}}{2,43 \cdot 10^6} \cdot \frac{0,36 \cdot 10^6}{0,005} = 885,6 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,886 \text{ мм},$$

В конструкции корпусного отсека четыре кольцевых шва, поэтому расчетная поперечная усадка составит:

$$\Delta_{\text{поп.ОБО}} = 4 \cdot \Delta_{\text{поп.св.ш.}} = 4 \cdot 0,886 = 3,544 \text{ мм}.$$

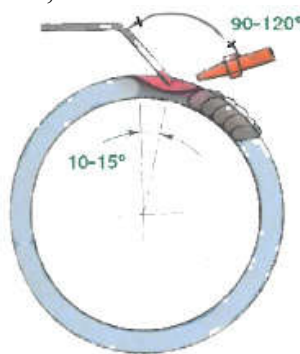


Рис. 5. Наложение участка кольцевого сварного шва

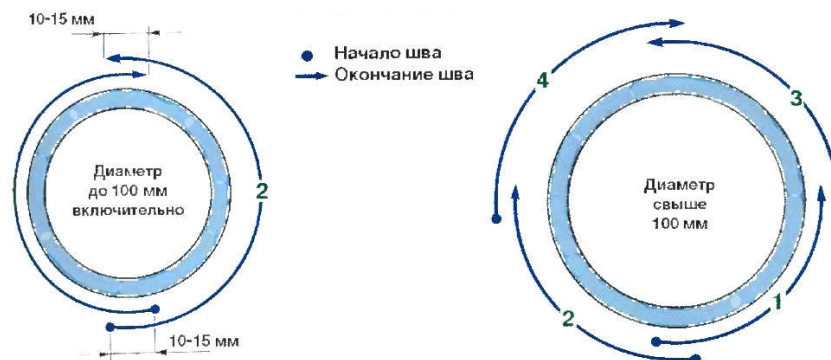


Рис. 6. Неповоротные стыки при сварке труб

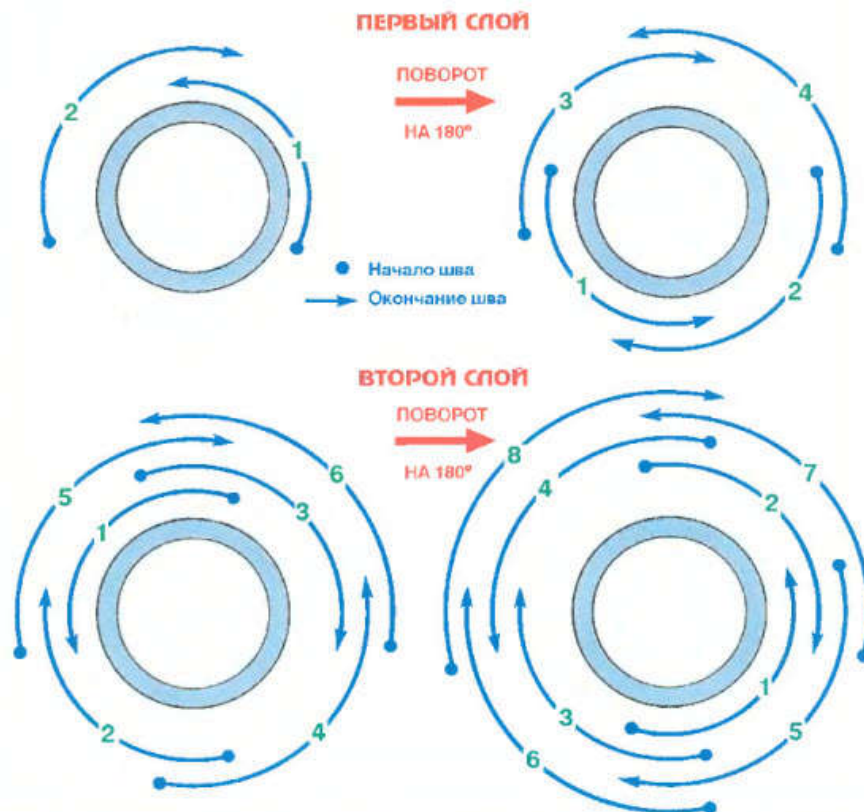


Рис. 7. Сварка труб с поворотом на 180°

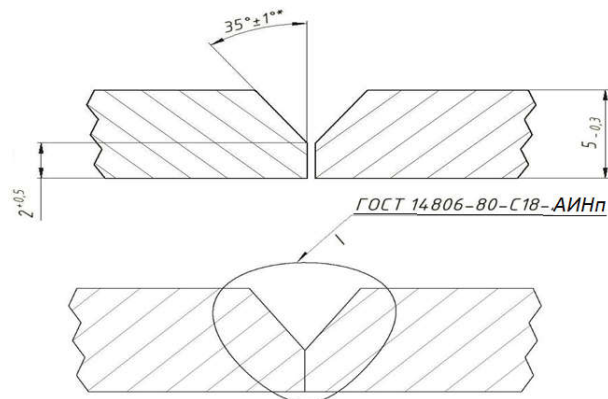


Рис. 8. Геометрические характеристики сварного соединения

Определение поперечной усадки в процессе изготовления. При проведении сборочно-сварочных работ был произведен замер фактических размеров деталей для определения величины усадки после сварки. Сварка корпусного отсека выполнялась сварочной проволокой диаметром 1,2 мм в приспособлении для сварки, сварочным полуавтоматическим аппаратом КЕМРПИ FastMig MXF65 с источником питания КЕМРПИ FastMig Pulse 450 в два этапа:

Этап 1 – сварка подборки № 1 (состоящей из шпангоута верхнего, обечайки

верхней, шпангоута промежуточного).

До сборочно-сварочных операций фактический размер деталей равен:

шпангоут верхний – 75,7 мм;

обечайка верхняя – 162,3 мм;

шпангоут промежуточный – 64,9 мм.

Габаритный размер корпуса после сборочно-сварочных операций составил 301,25 мм.

Усадка металла на 2-х сварных швах составляет:

$(75,7+162,3+64,9)-301,25=1,65$ (мм).

Этап 2 – сварка корпусного отсека (подборка № 1 + обечайка нижняя +

шпангоут нижний)
 До сборочно-сварочных работ фактический размер деталей равен:
 подборка № 1 – 301,25 мм;
 обечайка верхняя – 162,3 мм;
 обечайка нижняя – 1354,6 мм.
 Габаритный размер после сборочно-сварочных работ для корпуса составил 1710,83 мм.
 Усадка металла на 4-х сварных швах составляет:

$$(75,7+64,9+56,8+162,3+1354,6)-1710,83 = 3,47 \text{ мм.}$$

Фактическая средняя усадка на 1 сварном шве:
 $3,47/4=0,87 \text{ мм.}$

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что величина расчетной и фактической усадки практически соответствуют друг другу (разбег составляет 1,8 %; см. табл.).

Таблица

Величина поперечной усадки, определенная расчетным путем и в процессе изготовления корпусного отсека

Вид усадки	Усадка на 1 сварном шве, мм	Усадка на 1 сварном шве, %
Фактическая усадка	0,87	100
Расчетная усадка	0,886	98,2

Выводы. При разработке сварных конструкций необходимо предварительно просчитывать величину усадки по приведенной методике и закладывать для ее компенсации соответствующие конструктивные решения (вводить дополнительные припуска, выбирать оптимальное расположение сварных швов, уменьшать катеты слабонапряженных угловых швов в соединениях внахлестку, втавр, сокращать объем сварочной ванны путем уменьшения размеров разделки кромок в соединениях встык и т. д).

При проектировании тонкостенных конструкций следует устранить потери устойчивости тонкостенных деталей от усадочных усилий, вызванных сваркой. Для этого в проектируемые объекты вносятся необходимые элементы жесткости.

Для снижения или устранения сварочных деформаций, вызванных внутренними напряжениями, могут быть рекомендованы следующие технологические мероприятия:

- рациональное конструирование;
- симметричное относительно центра тяжести сечения расположение швов;
- применение прерывистых швов;
- выбор состава защитной среды инертных газов;
- выбор оптимальной скорости сварки;
- создание деформаций, обратных сварочным, путем раскатки края обечайки

перед наложением кольцевых швов, закрепление изделий в приспособлениях (закрепления снимают только после завершения сварки);

– отпуск деталей в зажимных приспособлениях;

– увеличение пластических деформаций удлинения после сварки путем проковки, прокатки, вибраций и т. д.

Итогом данного исследования является внедрение предварительной оценки усадки корпусных отсеков на этапе разработки согласно рассматриваемой методике. По результатам расчета в конструкцию вводятся соответствующие компенсационные припуски; на этапе изготовления применяются приведенные в статье технологические мероприятия по уменьшению усадочных процессов.

Библиографические ссылки

1. Алов А.А. Основы теории процессов сварки и пайки : учебник для ВТУЗов. Москва : Машиностроение, 1964. 272 с.: ил.+прил.
2. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций : учеб. пособие для машиностроит. вузов. Москва : Высшая школа, 1971. 760 с., ил.
3. Николаев Г.А., Фридляндер И.Н., Арбузов Ю.П. Свариваемые алюминиевые сплавы. Москва : Металлургия, 1990. 295 с., ил.
4. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции.

Прочность сварных соединений и деформации конструкций : учебное пособие. Москва : Высшая школа, 1982. 272 с., ил.

5. Винокуров В.А. Сварочные деформации и напряжения. Методы их

устранения. Москва : Машиностроение, 1968. 236 с., ил.

6. URL: www.weldering.com

7. Марочник сталей и сплавов. URL: www.splav-kharkov.com

Надійшла до редколегії 02.07.2018 р.

УДК 531.561.56

НАУКОВА ШКОЛА З БАЛІСТИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА КАФЕДРІ ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОНСТРУКЦІЙ І В НДЛ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ НДІ ЕНЕРГЕТИКИ: ІСТОРІЯ ТА СЬОГОДЕННЯ

Л. Г. Дубовик

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, 49010, Україна, e-mail: bechkekarolina@gmail.com

Розглянуто історію формування й сьогодення одного з наукових напрямків кафедри проектування та конструкцій і науково-дослідної лабораторії ракетно-космічних систем НДІ енергетики, втілення результатів у практику. Відображено вагомий внесок у розвиток цього напрямку професора Дроня Миколи Михайловича.

Ключові слова: наукова школа, балістичне проектування, техногенне засмічення навколосемного космічного простору.

The history of creation and the present one of scientific directions of chair of designing and designs and research laboratory of rocket-technical engineering of scientific research institute of power, introduction of results in practice are considered. The powerful contribution to development of this direction of professor Dronja Nikolay Mihajlovicha is noted.

Keywords: school of thought, ballistic designing, technogenic clogging of a near-earth space.

Рассмотрена история создания и настоящее одного из научных направлений кафедры проектирования и конструкций и научно-исследовательской лаборатории ракетно-космических систем НИИ энергетики, внедрение результатов в практику. Отмечен весомый вклад в развитие этого направления профессора Дроня Николая Михайловича.

Ключевые слова: научная школа, баллистическое проектирование, техногенное засорение околоземного космического пространства.

Ця наукова школа виникла на кафедрі проектування та конструкцій літальних апаратів у 60-ті роки на основі наукових досліджень, проектно-конструкторських та експериментальних робіт зі створення артилерійських та ракетних систем під керівництвом завідуючого кафедрою професора, доктора технічних наук, заслуженого діяча науки і техніки Дупліщева Михайла Іларіоновича та доцента, кандидата, а в подальшому доктора технічних наук Натускіна Володимира Федоровича.

З початку 60-х років наукова робота кафедри здійснювалася у двох напрямках: конструювання й будівельна механіка ракет, який очолював професор М. І. Дупліщев, та балістика [1]. Балістика

керованих балістичних ракет (КБР) розвивалася під науковим керівництвом декана фізико-технічного факультету, професора, кандидата технічних наук Г. Д. Макарова, а балістика балістичних некерованих ракетних снарядів (БНРС) – під керівництвом проф. М. І. Дупліщева. Також набирали перспективу наукові напрями, які очолили наукові керівники госпдогівірних НДР доценти А. С. Єзовітов (Герметичність фланцевих та інших з'єднань КРБ), В. М. Ляпін (Проектування пневмо-гідролічних систем), В. І. Перлик (Надійність складних систем), Г. В. Можаяєв (Синтез орбітальних структур супутникових систем).

Ще більш різноманітною стала наукова тематика кафедри з приходом