

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНО-ПАЯНЫХ КОРПУСОВ ОТСЕКОВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ В ВИДЕ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Денисов П.П., Шевченко В.В.

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

При выборе материала для изготовления корпусов летательных аппаратов (ЛА) решающим фактором является минимальная масса при максимальной прочности. По этой причине предпочтение отдается алюминиевым сплавам, а применение сталей, из-за их высокой плотности, ограничено силовыми элементами конструкции, где первостепенной является прочность. Однако, когда прочностных свойств алюминиевых сплавов недостаточно, а применение сталей невозможно из-за жестких ограничений по массе, для изготовления конструкции отсеков применяют титановые сплавы.

Благодаря оптимальному сочетанию таких свойств, как низкая плотность, высокая прочность и коррозионная стойкость, титан оказался незаменимым в производстве современных изделий авиационной и ракетной техники.

В настоящее время титановые сплавы применяются для изготовления деталей, работающих в широком диапазоне температур (от минус 250°С до +600°С), в условиях повышенной коррозии и эрозии, в контакте с криогенным топливом, химически активными жидкостями, карбо- и стеклопластиками, в среде солевых туманов и морской воды[3].

Широкое применение титановых сплавов в конструкциях ЛА позволяет существенно повысить их тактико-технические свойства, долговечность и надежность при эксплуатации, снизить массу и оптимизировать расход металла при изготовлении.

Вместе с тем, титановые сплавы обладают и рядом недостатков. К их числу относятся, прежде всего, низкие антифрикционные свойства и высокая химическая активность при повышенных температурах. При трении титан и его сплавы склонны к схватыванию и задирам.

Температурные ограничения для разных сплавов титана определяются их термической стабильностью - способностью сохранять свой фазовый состав, а следовательно, удовлетворительную пластичность после длительного воздействия рабочих температур, и стойкостью к «проникающему» окислению. При определенных условиях может произойти сквозное насыщение детали кислородом и, как следствие, ее хрупкое разрушение. Проникающее окисление является основным препятствием, не позволяющим повышать рабочую температуру без использования теплоизоляции.

Основные показатели наиболее распространенных материалов приведены в таблице 1[1-5].

Таблица 1

Материал	Плотность, кг/м ³	Температура применения, °С	Предел прочности при растяжении, МПа	Средняя цена, руб./кг без НДС
30ХГСА	7850	от минус 50 до +150	1000	72
1201Т1Н	2850	от минус 253 до +200	412	505
ВТ6С	4450	от минус 196 до +450	980	3100
ОТ4-1	4550	от минус 196 до +300	735	2100

На диаграмме (рис.1) приведено сравнение основных показателей наиболее распространенных материалов.

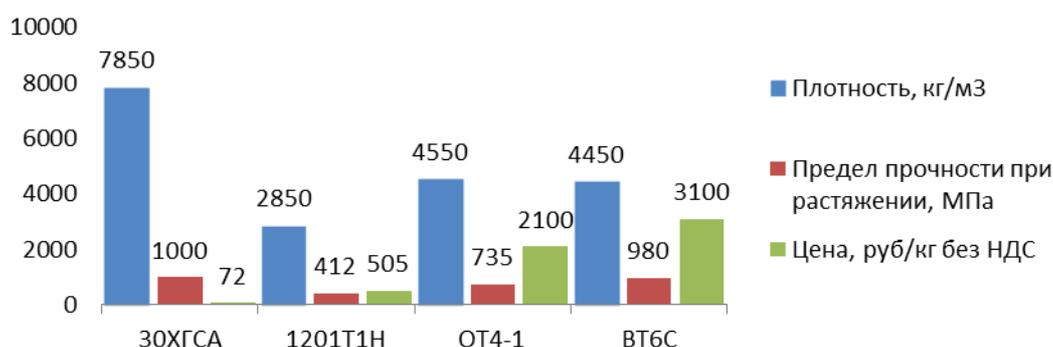


Рис. 1 – Сравнение основных показателей наиболее распространенных материалов

Сравнительный анализ показывает:

1. Титановые сплавы в 2 раза легче сталей при одинаковых показателях прочности, но дороже в 43 раза;
2. Титановые сплавы в 1,5 раза тяжелее алюминиевых сплавов, в 2 раза прочнее, но в 6 раз дороже.

Таким образом, применение титановых сплавов в современной промышленности ограничено, прежде всего, высокой стоимостью. По этой причине при проектировании конструкций из титановых сплавов необходимо добиваться максимального коэффициента использования материала (КИМ).

Рассмотрим изготовление сварно-паяных корпусов изделий из титановых сплавов в виде тел вращения на примере типового корпуса отсека (рис.2).

Типовой корпус отсека состоит из двух силовых рам 1, 2 и тонкостенной обечайки 3 ограничивающей полезный объем.

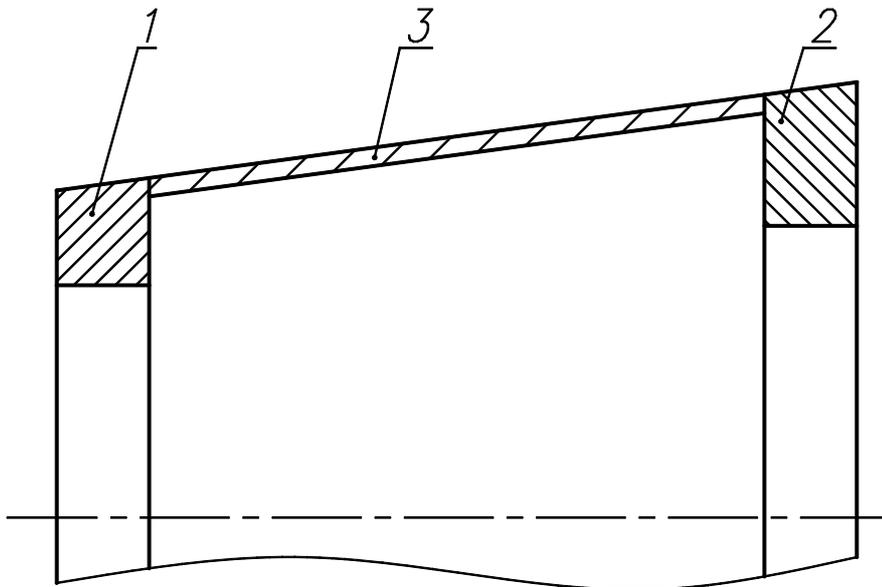


Рис. 2 – Типовой корпус отсека

Силовые рамы изготавливаются механической обработкой из заготовок в виде плит, листов, поковок, штамповок, раскатных колец. Изготовление тонкостенной обечайки возможно следующими способами:

1. Механическая обработка резаньем из таких заготовок как поковки, штамповки, раскатные кольца.

2. Изготовлением из листа закаткой на валках с одним или несколькими продольными сварными швами с последующей термофиксацией и термокалибровкой.

3. Штамповкой из листа с несколькими продольными сварными швами и последующей термокалибровкой после сварки.

Механическая обработка резаньем требует значительных затрат на заготовки при низком коэффициенте используемого материала (КИМ).

Применение технологии штамповки требует использования дорогостоящих штампов и штамповочной оснастки, с последующей термофиксацией сваренной обечайки в среде защитных газов или вакууме. Соответственно, применение штамповки при мелкосерийном изготовлении нецелесообразно.

Закатка на трехвалочной машине листов из ОТ4-1 осуществляется при комнатной температуре с последующей термофиксацией в среде защитных газов или вакууме при температуре 500°-600°С, а листы из ВТ6С закатываются только в нагретом виде на нагретой оснастке при температуре 650°-800°С так же в среде защитных газов или вакууме, что приводит к значительному удорожанию готовой детали. В корпусе рассматриваемого отсека основную эксплуатационную нагрузку воспринимают силовые рамы, тонкостенная обечайка не является силовым элементом, следовательно, с учетом вышеизложенного, ее рационально изготавливать из титанового сплава ОТ4-1, как материала более дешевого и технологичного[7,8].

Данные, приведенные в таблице 2, показывают, что применение заготовок из листа ОТ4-1 увеличивает КИМ обечаек в 13 раз по сравнению с использованием поковок ОТ4-1.

Габаритные размеры обечаек показаны на рис.3.

Таблица 2

Габариты обечаек, мм ($D_1 \times D_2 \times L$ см. рис. 3)	410x470x290	475x525x260	540x605x390
Масса готовой обечайки, кг	5,5	5,6	9,7
Масса заготовки из поковки, кг	115	114	231
Масса заготовки из листа, кг	8,8	9,4	14,6
КИМ для поковки	0,048	0,049	0,042
КИМ для листа	0,63	0,60	0,66

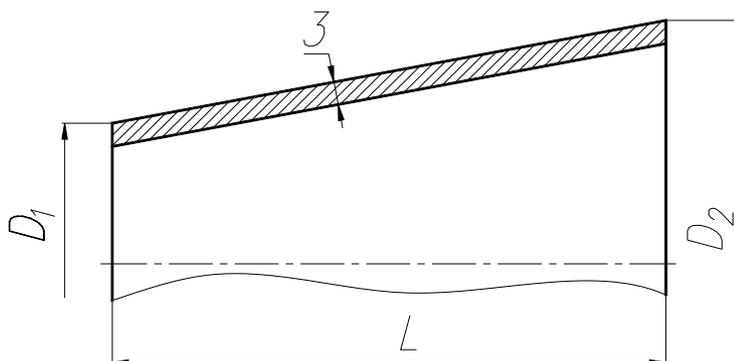


Рис.3 – Габаритные размеры обечаек

Сравнение финансовых затрат на изготовление оболочек из поковок и листов ОТ4-1, приведенных в табл. 3, показывает существенный экономический эффект при использовании листовых заготовок.

Таблица 3

Габариты обечаек, мм ($D_1 \times D_2 \times L$ см. рис. 3)	410x470x290	475x525x260	540x605x390
Стоимость заготовок из поковок, руб.	204351	462116	405043
Затраты на обработку заготовок из поковок, руб.	6720	7770	12408

Стоимость обечаек изготовленных из поковок, руб.	211071	469886	417451
Стоимость заготовок из листа, руб.	34650	34650	45000
Затраты на обработку заготовок из листа, руб.	4620	4620	5460
Стоимость обечаек изготовленных из листа, руб.	39270	39270	50460
Разница в стоимости обечаек, руб.	171801	430616	366991

При необходимости организации на обечайках посадочных мест в виде плоских площадок под установку приборов, применение сварки недопустимо, из-за поводок обечайки в околшовной зоне. Обработка резаньем из поковки или плиты для формирования обечайки совместно с посадочной площадкой нерациональна, из-за высокой стоимости заготовки.

Пайка с применением припоев на основе титана решает данную проблему, так как паяный шов при диффузионном методе пайки имеет 0,8 от прочности основного материала σ_b и имеет незначительные температурные поводки из-за медленного нагрева и охлаждения всей конструкции.

Применение пайки связано с рядом особенностей как конструкторских, так и технологических, обусловленных, прежде всего высокой температурой пайки, в среднем 900°C при применении припоя на основе титана:

1. Для диффузионной пайки требуется зазор между накладкой и обечайкой не более 0,1 мм с неравномерностью зазора не более 0,05 мм, что требует наличия в конструкторской документации требования по взаимной подгонке посадочных поверхностей на накладке и обечайке. Взаимная подгонка необходима по причине того, что листовая обечайка «дышит» и жестко не держит форму. Точнее 11 квалитета из листа обечайку получить невозможно;

2. Конструкция должна содержать технологический крепеж для скрепления пакета состоящего из накладки, припоя и обечайки рис. 4;

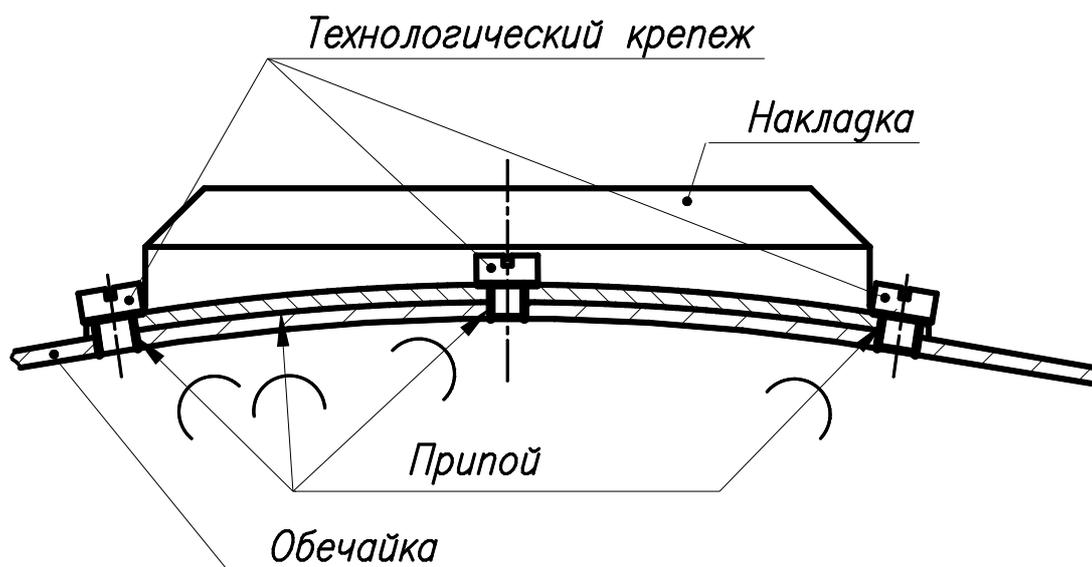


Рис. 4 – Установка технологического крепежа

3. Конструкция накладок, по возможности, должна исключать попадание паяных швов в зону механической обработки;

4. При предъявлении требований по герметичности конструкция должна позволять проводить проверку на герметичность после пайки до обработки чистовых размеров (возможность установки испытательной оснастки и создания технологических поверхностей требуемой шероховатости);

5. Нарезание резьбы по паяному шву невозможно, из-за твердости припоя порядка 70HRC, поэтому резьбовое отверстие должно либо полностью находиться в теле накладки, либо в конструкцию закладывается технологическая гладкая втулка, в которой после пайки выполняется резьбовое отверстие. При достаточной точности втулка может иметь резьбовое отверстие до пайки. Так же конструктор может совместить такую втулку (рис. 5) с технологическим крепежом, используя ее в болтовом соединении для стягивания пакета перед пайкой, состоящего из накладок, припоя и обечайки (рис. 6);

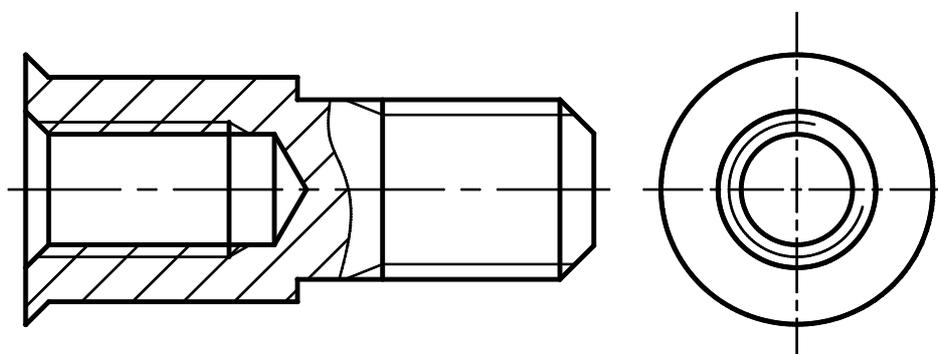


Рис. 5 – Втулка для стяжки пакета с внутренним резьбовым отверстием

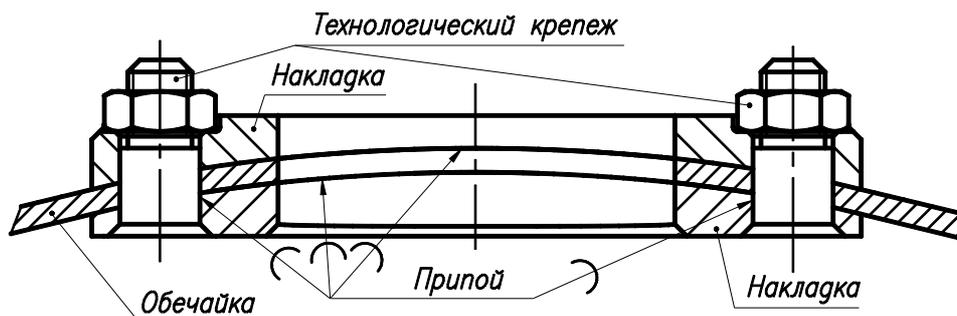


Рис.6 – Использование втулки для стягивания пакета

6. Накладки не должны иметь наружных и внутренних острых углов, т.к. в процессе пайки расплавленный припой концентрируется на острых гранях в виде капель, что приводит к появлению дефектов паяного шва, таких как усадочные раковины и рыхлоты, а так же подрезы. Острые углы необходимо скруглять, по возможности, радиусом не менее 4 мм (рис.7);

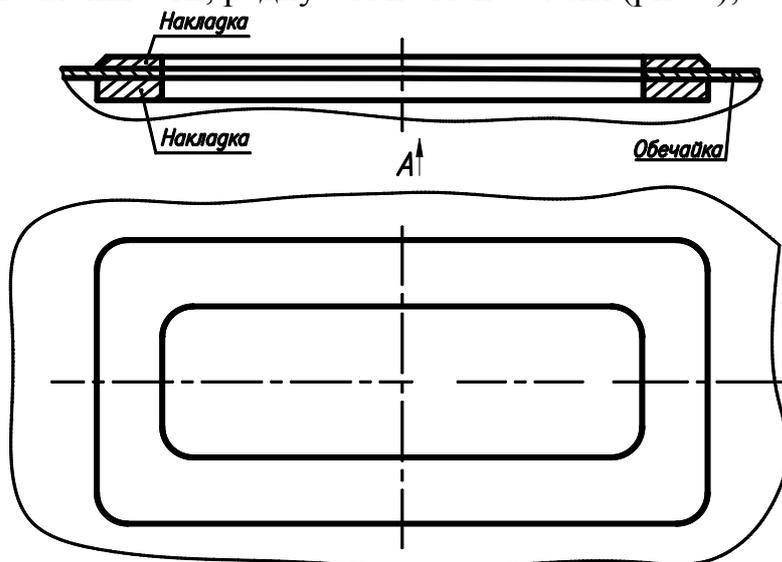


Рис. 7- Скругление устрых углов

7. Для получения качественных швов в конструкцию необходимо закладывать два типа припоя, используемых совместно, – ленточного и порошкового. Ленточный припой применяется для укладки между накладкой и обечайкой, а порошковый припой для обмазки стыка обечайки с накладкой после сборки пакета;

8. Взаимная подгонка деталей для обеспечения зазора не более 0,1 мм и качественная подготовка поверхностей под пайку требуют высокой трудовой дисциплины и строгого контроля на всех этапах производственного цикла;

9. Для исключения поволоков во время пайки обязательным является применение термофиксирующей оснастки;

10. Устранение недопустимых дефектов паяных соединений возможно механической обработкой, перепайкой, сваркой или подпайкой [6];

11. Пайку необходимо проводить в вакуумных камерах с высоким вакуумом для исключения образования газонасыщенного и окисленного слоев;

12. Термофиксаторы и оснастку для пайки необходимо изготавливать из материалов не реагирующих с титаном при высоких температурах (нержавеющие стали и керамика).

Таким образом, применение титановых сплавов в конструкции отсеков ведет к улучшению технических характеристик изделия, а применение листовых заготовок и пайки взамен обработки резаньем позволяет в значительной степени сократить расходы, связанные с применением титана в конструкции изделия.

Список литературы

1. *Авиационные материалы: Справочник в 9-ти томах .Том 1 Конструкционные стали.-6-е изд., перераб. и доп./Под общ. ред. А.Т. Туманова. – М.:ОНТИ, 1975.-431с.*

2. *Авиационные материалы: Справочник в 12-ти томах .Том 4 Алюминиевые и берилливые сплавы.-7-е изд., перераб. и доп./Под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М.:ВИАМ, 2008.-263с.*

3. *Авиационные материалы: Справочник в 12-ти томах .Том 6 Титановые сплавы.-7-е изд., перераб. и доп./Под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М.:ВИАМ, 2010.-96с.*

4. *ОСТ 92-0919-85 Металлы и сплавы черные*

5. *ОСТ 92-0920-85 Металлы и сплавы цветные*

6. *ОСТ92-1190-88 Соединения паяные металлические и керамические. Типовые технологические процессы пайки.*

7. *ПИ.1.2.329-87 Листовая штамповка деталей из титановых сплавов.*

8. *ПИ.1.4.1279-84 Технология листовой штамповки деталей из титановых сплавов.*