

УДК 621.643.43

В. К. ИТБАЕВ, Р. Г. АХМАТВАЛИЕВ, В. А. ФЕДОРОВ

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОНСТРУКЦИИ ГИБКИХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Излагаются результаты исследования по исследованию механических свойств конструкционных материалов, применяемых для изготовления сильфонных компенсаторов. Приводится сопоставительный анализ характеристик прочности и пластичности различных групп материалов в условиях криогенных и высоких температур. *Сильфон; сильфонный компенсатор; механические свойства материала; криогенные температуры; высокие температуры*

Выбор материала для изготовления гибких соединений зависит от комплекса требований, предъявляемых к данному типу конструкций. Так, для изготовления гибкой части сильфонных компенсаторов методом гидроформовки необходимы материалы с высокой пластичностью при достаточной прочности и выносливости. В то же время внешняя оболочка сильфонного компенсатора может взаимодействовать с коррозионной средой с высокой температурой. Для этого внешнюю оболочку необходимо изготовить из антикоррозионного материала.

Закономерно постоянное стремление применять сплавы все более прочные, но помимо повышения прочности сплавов есть и другой критерий – повышение весовой отдачи. Более эффективный способ снижения массы конструкций – применение более легких материалов. Этому критерию отвечают алюминиевые сплавы, так как они обладают меньшей плотностью (особенно алюминиевые сплавы, содержащие литий и бериллий), чем стали и титановые сплавы.

Свойства и поведение конструкционных сплавов при температурах 77°K и, особенно при температурах ниже 77°K до недавнего времени были в основном предметом изучения и исследования металловедов и металлофизиков.

Создание конструкций, использующих сжиженные газы в качестве рабочего тела, требует специального подхода к выбору материалов при конструировании и изготовлении указанных изделий. Повышение надежности, правильный выбор и применение материалов с оптимальными свойствами в криогенном оборудовании требует накопления сведений о механи-

ческих и физических свойствах и поведении материалов в широком интервале низких температур, а также периодической систематизации данных, полученных в различных работах.

В данном разделе проведен анализ механических свойств наиболее распространенных сталей и сплавов [1, 2, 3], которые могут быть использованы в качестве конструкционных материалов гибких соединений двигательных установок в различных условиях поставки и видах термообработки. Исследовались – нержавеющая сталь X18H10T, пластичный титановый сплав ОТ4-1, жаростойкий никелевый сплав ВЖ98 (ХН60ВТ) и алюминиевые сплавы АМг6 и АД33 (рис. 1).

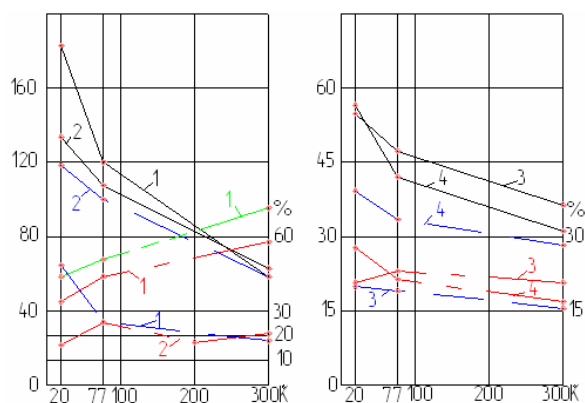


Рис. 1. Зависимость механических свойств от температуры: 1 – сталь X18H10T (закалка 1050°C в воду, толщиной 14 мм); 2 – сплав ОТ4-1 (отжиг, лист толщиной 1,5 мм); 3 – сплав АМг6 (отжиг при 325°C , лист толщиной 2,5 мм); 4 – сплав АД33 (закаленный и искусственно состаренный)

Анализ механических свойств показал:

- наиболее пластичной при нормальной температуре (20°C) является сталь X18H10T, наименее пластичными – алюминиевые сплавы АМг6 и АД33;

- наиболее прочным и выносливым при нормальной температуре является сплав ВЖ98.

При понижении температуры до 20° К механические свойства материалов изменяются следующим образом:

- пределы прочности и выносливости стали X18H10T увеличиваются в 1,5÷2 раза, величина относительного удлинения δ уменьшается в 1,5÷2 раза, величина относительного сужения ψ уменьшается в 1,2÷1,5 раза, таким образом, характеристики пластичности стали уменьшаются на 23÷25%;

- пределы прочности и выносливости титанового сплава OT4-1 увеличиваются в 2÷2,5 раза, величина относительного удлинения δ колеблется в зависимости от значения температуры: сначала уменьшается на 2÷3% (200°К), далее возрастает на 6÷8 (77°К) и затем падает на 8÷11%;

- предел прочности сплава AMг6 (в отожженном состоянии) увеличивается в 3÷3,6 раза, предел выносливости увеличивается незначительно, величина относительного удлинения изменяется в пределах 1÷2%;

- пределы прочности и выносливости сплава АД33 увеличиваются, величина относительного удлинения возрастает на 11÷13%.

Следовательно, сталь X18H10T хотя и имеет высокие значения пластичности при нормальной температуре, но по сравнению с алюминиевыми сплавами имеет тенденцию к уменьшению величины относительного удлинения при низких температурах. Пластичность титанового сплава нестабильна и имеет большую зависимость от температуры. Пластичность алюминиевых сплавов стабильна при понижении температуры, хотя имеет низкие значения по сравнению со сталью X18H10T. При этом у всех материалов пределы прочности и пластичности возрастают.

Поскольку в реальных конструкциях изготовление особотонкостенных труб-заготовок, из которых, например, формируется гофрированная оболочка (сильфон), связано с применением сварки, для оценки конструкционной прочности сварных соединений и более квалифицированного расчета на прочность необходимо знать влияние сварного шва на механические свойства материала конструкции при понижении температуры.

Прочность сварных соединений существенно зависит от температуры и может быть охарактеризована коэффициентом ослабления k , равным отношению предела прочности образца со сварным швом к пределу прочности образца из основного материала. Проанализируем зави-

симость коэффициента ослабления от температуры для некоторых сварных соединений конструкционных материалов X18H9T, OT4-1, AMг6, ЭИ654 (рис. 2).

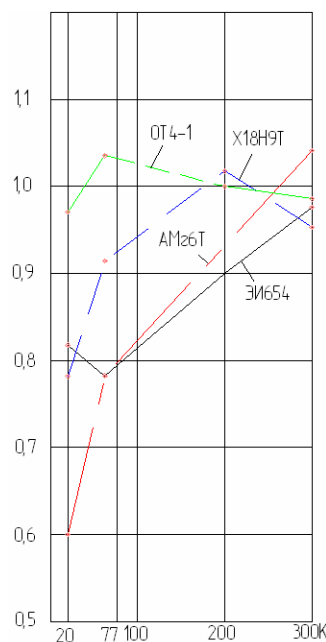


Рис. 2. Зависимость коэффициента ослабления сварного шва от температуры

Образцы имеют сварной шов, изготовленный аргонодуговой сваркой. При комнатной температуре коэффициент ослабления указанных сплавов близок к единице (X18H10T – $k = 0,96$; OT4-1 – $k = 0,99$; AMг6 – $k = 1,25$; ЭИ654 – $k = 0,975$). При снижении температуры происходит следующее изменение прочности сварных соединений указанных сплавов:

- до 77° К у материалов X18H9T, ЭИ654 и AMг6 прочность сварного шва уменьшается до значений $k = 0,85$ (X18H9T), $k = 0,78$ (AMг6 и ЭИ654); далее до 20 К у сплавов X18H9T и AMг6 прочность сварного шва продолжает падать, но у сплава ЭИ654 прочность сварного шва увеличивается ($k = 0,82$);

- у титанового сплава OT4-1 прочность сварного шва возрастает до $k = 1,3$ (77° К), а затем падает до $k = 0,975$ (20° К).

Поскольку динамика поведения сварных соединений из сплава AMг6 и материалов X18H9T и ЭИ654 при понижении температуры одинакова, то это позволяет применять сварные соединения из алюминиевых сплавов и других материалов в равной степени.

Прочностные характеристики сплавов типа Al-Mg (AMг6), особенно предел текучести, существенно повышаются в результате холодной нагартовки, при этом пластичность сплавов по-

нижается и коррозионная стойкость ухудшается. Однако путем последующего нагрева и пластичность и коррозионная стойкость вновь повышаются (см. табл. 1).

Таблица 1
Механические свойства листов толщиной 2 мм из сплава АМг6 с различной нагартовкой [4]

состояние материала	механические свойства		
	σ_B , кг/мм ²	$\sigma_{0,2}$, кг/мм ²	δ , %
отожженный	34,0	30,0	20,0
нагартованный, %:			
20	42,0	30,0	12,5
30	43,5	34,5	11,5
30+(90°с, 10 ч)	42,5	31,5	13,5
40	47,5	40,0	7,0
40+(90°с, 10 ч)	45,0	35,0	12,5

На основе проведенного анализа механических характеристик материалов, используемых в качестве конструкционных материалов гибких соединений двигательных установок, можно сделать следующие выводы:

1) наиболее пригодными для работы в условиях низких температур по сравнению со сталями, титановыми и никелевыми сплавами, являются алюминиевые деформируемые сплавы;

2) при понижении температуры пластичность деформируемых алюминиевых сплавов остается практически стабильной при удовлетворительной прочности и выносливости, что позволяет их применить в конструкции гибких соединений работающих в условиях пластических деформаций и низких температур;

3) для взаимодействия с агрессивными средами наиболее пригодными являются нержавеющие стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошелев П. Ф. Механические свойства материалов для криогенной техники. М.: Машиностроение, 1971. 282 с.

2. Гусенков А. П., Лукин Б. Ю., Шустов В. С. Унифицированные гибкие элементы трубопроводов: Справ. Пособие. М.: Изд-во стандартов, 1988. 296 с.

3. Алюминиевые сплавы. Свойства, обработка, применение. Справочник. М.: Машиностроение, 1979. 541 с.

4. Фридляндер И. Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. М.: Металлургия, 1979. 208 с.

ОБ АВТОРАХ

Итбаев Валерий Каюмович, проф., зав. кафедрой основ конструирования механизмов и машин. Дипл. инж.-мех. по авиац. двигателям (УАИ, 1970). Д-р техн. наук по управлению тепловыми и электроракетными двигателями ЛА (УГАТУ, 1996). Иссл. в обл. разработки гибких соединений трубопроводов и методов их расчета.



Ахматвалиев Рамис Габидуллаевич, ст. преп. той же каф. Дипл. инж. по авиац. двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 1999). Иссл. в обл. разработки гибких соединений трубопроводов и методов их расчета.



Федоров Владимир Александрович, ст. преп. той же каф. Дипл. инж. по авиац. двигателям и энергетическим установкам (УГАТУ, 1999). Иссл. в обл. разработки гибких соединений трубопроводов и методов их расчета.

