

УДК 624.078.42.001.66

Канд. техн. наук О. В. Бондаренко, А. А. Могилевцев, Ю. С. Тищенко

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТРУБОПРОВОДОВ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Проведено сравнение механических характеристик по значениям пределов текучести перспективных алюминиевых сплавов и сталей с напряжениями, возникающими в деталях трубопроводов. Сделаны выводы о принципиальной возможности изготовления трубопроводов из данных материалов и возможности замены сталей на высокопрочные алюминиевые сплавы для большинства деталей.

Проведено порівняння механічних характеристик за значеннями границь плинності перспективних алюмінієвих сплавів і сталей з напруженнями, які виникають у деталях трубопроводів. Зроблено висновки про принципову можливість виготовлення трубопроводів з цих матеріалів і можливість заміни сталей на високоміцні алюмінієві сплави для більшості деталей.

The comparison has been made of mechanical characteristics based on yield strength values of prospective aluminum alloys and steels with the stresses arising in pipeline parts. The conclusions have been drawn about the principal feasibility of manufacturing the pipelines of given materials and replacing the steels with the high-strength aluminum alloys for majority of the parts.

Трубопроводы играют важную роль в обеспечении работоспособности пневмогидравлических систем и технической и экономической эффективности ракет-носителей в целом. К ним предъявляют комплекс требований, возможность выполнения которых существенно зависит от применяемых материалов и технологий изготовления трубопроводов и монтажа трубопроводных магистралей.

В настоящее время для отечественной ракетно-космической промышленности актуальной является задача модернизации используемого комплекса материалов и технологий с целью обеспечения конкурентоспособности продукции на мировом рынке. Одним из направлений модернизации является освоение новых материалов, прежде всего перспективных алюминиевых сплавов и сталей, для изготовления трубопроводов пневмогидросистем [1].

Для изготовления трубопроводов пневмогидросистем в отечественных РН легкого и среднего классов традиционно использовали стали типа 12Х18Н10Т (присоединительные детали, трубы, сильфоны), высокопрочные стали типа 09Х11Н8М2Ф, 09Х11Н23Т3МР, 06Х16Н6 (присоедини-

тельные, крепежные детали), а также алюминиевые сплавы типа АМг6 (трубы, присоединительные детали) [2].

Основной характеристикой, определяющей пригодность материала для использования при изготовлении трубопроводов РН, является предел текучести σ_T . Остальные характеристики (модуль упругости E , относительное удлинение δ и др.) имеют меньшее значение. Для стали 12Х18Н10Т $\sigma_T \approx 200$ МПа, сталей 09Х11Н8М2Ф, 09Х11Н23Т3МР $\sigma_T \approx 800$ МПа, 06Х16Н6 $\sigma_T \approx 1000$ МПа, алюминиевого сплава АМг6 $\sigma_T \approx 160 \dots 180$ МПа.

С целью определения возможности использования перспективных алюминиевых сплавов для изготовления элементов трубопроводов предлагается рассмотреть следующие материалы:

- алюминиевые сплавы системы Al-Mg-Sc (01570, 5028), $\sigma_T \approx 270 \dots 330$ МПа;
- алюминиевые сплавы системы Al-Cu-Mg-Mn (2219), $\sigma_T \approx 390$ МПа;
- алюминиевые сплавы различных систем с $\sigma_T > 510$ МПа.

Таким образом, значения предела текучести предлагаемых к использованию алюминиевых сплавов хотя и уступают анало-

гичным характеристикам высокопрочных сталей и сплавов на основе железа, но намного превосходят значения предела текучести для сплава АМг6. Большинство рассматриваемых алюминиевых сплавов являются термоупрочняемыми.

Немаловажным аспектом является выявление резервов уменьшения массы трубопроводных магистралей за счет замены материала деталей трубопроводов со сталей на современные и перспективные деформируемые алюминиевые сплавы, которые предполагается использовать для изготовления перспективных РН.

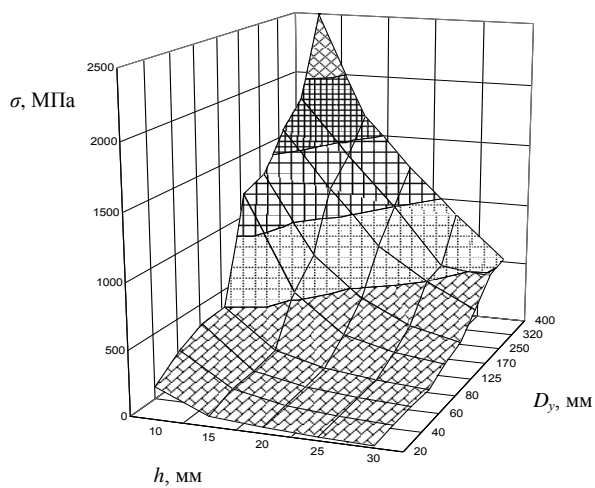
В состав трубопроводов входят трубы, присоединительные детали, сильфонные компенсаторы и крепежные детали.

Крепежные детали (болты, винты, гайки, шайбы) по условиям применения в современной ракетно-космической технике изготавливают из высокопрочных ($\sigma_T \approx 800 \dots 1000$ МПа) аустенитных сталей с содержанием никеля более 16%.

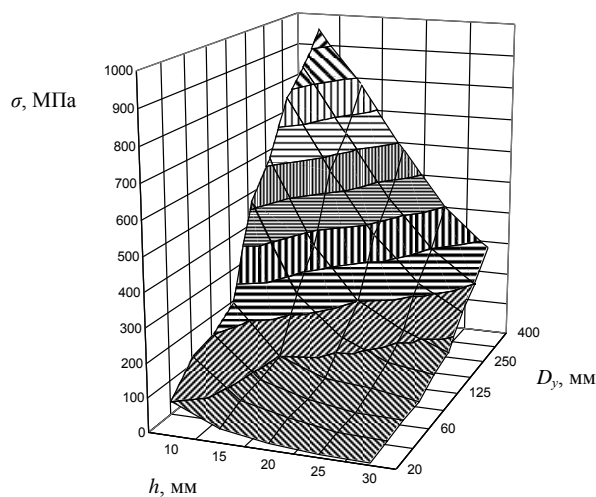
Трубы могут быть изготовлены из стали либо алюминиевого сплава в зависимости от внутреннего давления рабочей среды и других условий эксплуатации. Для изготовления заправочных труб и большей части расходных магистралей с внутренним давлением $P \approx 1,0 \dots 2,5$ МПа вполне может быть использован сплав АМг6. Повышение технических и экономических показателей трубопроводов может обеспечить применение более прочных сплавов, например

01570 или 2219. Для трубопроводов малого диаметра (менее 38 мм) магистралей наддува с давлением рабочей среды до 30 МПа целесообразным остается использование стали. Следует отметить, что при диаметрах трубопроводов до 100 мм трубы из алюминиевых сплавов будут иметь большую толщину, чем стальные. Толщина стенок труб из нержавеющей стали при $D_y \leq 100$ мм может составлять 0,8...1,0 мм, а труб из алюминиевых сплавов – 1,5...2,0 мм, что обусловлено особенностями прессования и сварки алюминиевых сплавов. При этом масса труб уменьшится в 1,5...2 раза. Для диаметров трубопроводов больше 100 мм толщина стенок труб из нержавеющей стали и алюминиевых сплавов может быть принята одинаковой (2,0...4,0 мм). При этом масса труб уменьшится в 2,5...3 раза.

Так как основным способом соединения труб между собой и с присоединительными деталями является сварка, то необходимо учитывать прочность образующегося сварного шва. Прочность сварного шва труб из нержавеющей сталей составляет до 90% прочности основного материала. Для алюминиевого сплава 2219 прочность сварного шва составляет 65...70% прочности основного материала, АМг6 и 01570 – 85...90%. Компенсировать уменьшение прочности материала сварного шва по сравнению с основным можно за счет местного утолщения концов трубы способом осадки.



а



б

Рис. 1. Напряжения в цельном фланце для условий изгиба в зоне перехода от кольца фланца к трубе (конической втулке):
а – медная прокладка; б – алюминиевая прокладка

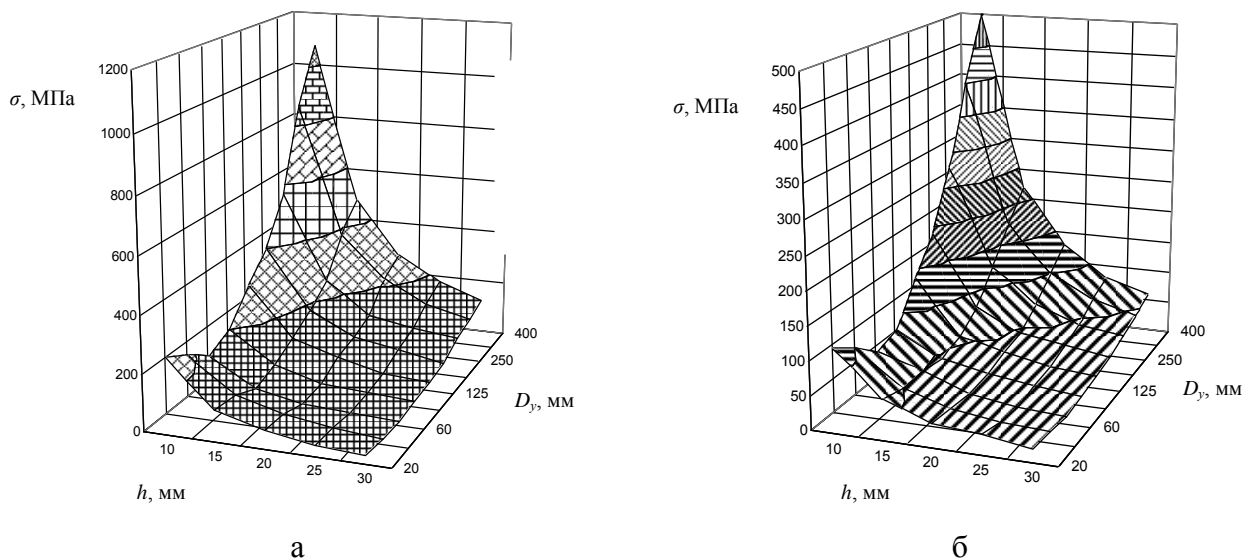


Рис. 2. Напряжения в цельном фланце для условий изгиба кольца фланца:
а – медная прокладка; б – алюминиевая прокладка

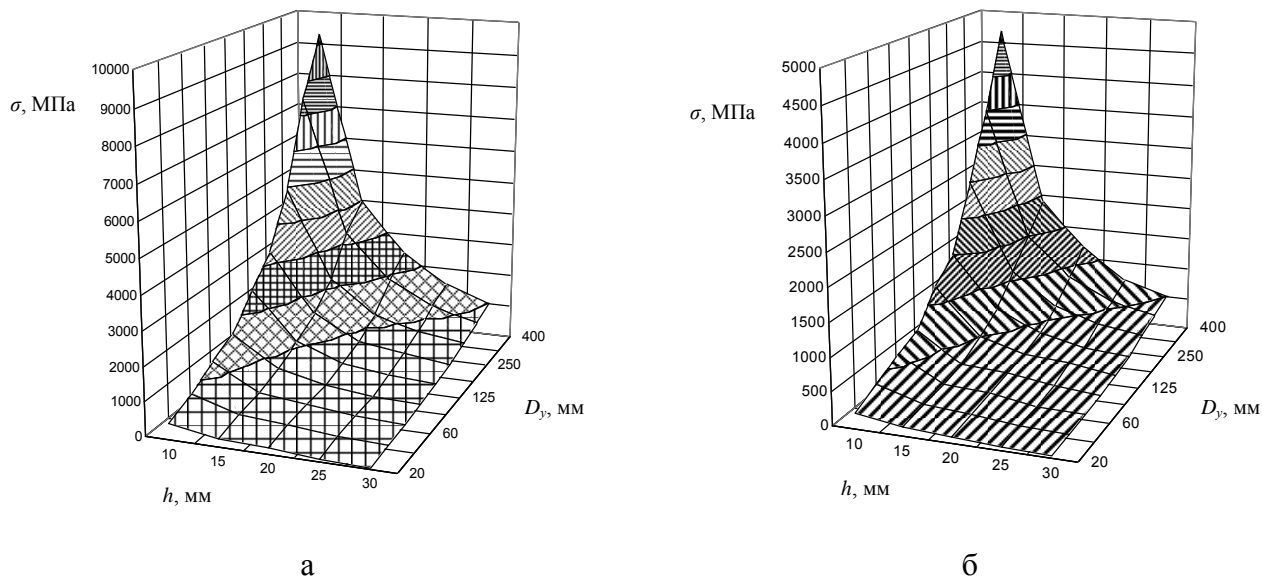


Рис. 3. Напряжения в накидном кольце свободного фланца:
а – медная прокладка; б – алюминиевая прокладка

Присоединительные детали (фланцы, наконечники, накидные кольца) эксплуатируются в более жестких условиях, чем трубы [3, 4]. Напряжения σ в цельных и свободных фланцах для трубопроводов с условным диаметром D_y , 20...400 мм и толщиной кольца $h = 10...30$ мм, определенные по данным [3, 5], приведены на рис. 1–3. Данные напряжения определены

исходя из давления 270 МПа на медную прокладку и 150 МПа на алюминиевую.

Из данных диаграмм на рис. 1–3 видно, что алюминиевые сплавы с пределом текучести $\sigma_T \approx 270...320$ МПа и более вполне могут быть использованы для изготовления цельных фланцев вместо сталей с уменьшением их массы в 1,5...3 раза. Для изготовления накидных колец необходимо

использовать высокопрочные стали с $\sigma_T \approx 800 \dots 1000$ МПа, высокопрочные титановые сплавы с $\sigma_T \approx 800 \dots 850$ МПа либо увеличивать толщину кольца до 40...50 мм, что снижает эффект уменьшения массы фланцевого соединения.

Резервом, обеспечивающим расширение сферы применения алюминиевых сплавов, является герметизация фланцевых соединений трубопроводов РН с помощью технологических и штатных крепежных деталей [6]. В результате появляется возможность уменьшить напряжения во фланцах и крепежных деталях в 2...5 раз.

Сильфоны, являющиеся элементами компенсаторов в трубопроводах, в большинстве случаев целесообразно изготавливать из стали. Алюминиевые сплавы подходят для их изготовления только при малом значении хода сильфона [7]. В данном случае основное значение будет иметь не предел текучести, а модуль упругости сплавов. Следовательно, в конструкции сильфонных компенсаторов необходимо объединить стальные сильфоны и присоединительные детали из алюминиевых сплавов. Соединение стальных сильфонов с присоединительными деталями из алюминиевых сплавов целесообразно выполнять с помощью биметаллических переходников различной конструкции.

Выводы

Для большинства деталей трубопроводов стали могут быть заменены на современные высокопрочные алюминиевые сплавы, использование которых вместо сталей для изготовления деталей трубопроводов позволяет уменьшить массу магистралей в 1,5...2 раза.

Список использованной литературы

1. Давыдов С. А. Анализ габаритных размеров деталей трубопроводов ракетносителей с точки зрения их изготовления способом обратного прессования на вертикальных прессах / С. А. Давыдов, О. В. Бондаренко, Ю. С. Тищенко // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки: Зб. наук. праць / Наук.

ред. д-р техн. наук С. О. Давидов. – Дніпропетровськ: Ліра, 2015. – С. 23-28.

2. Алексеев Ю. С. Технологія виробництва ракетно-космічних літальних апаратів: Навч. посіб. / Ю. С. Алексеев, О. Є. Джур, О. В. Кулик, Л. Д. Кучма, Є. Ю. Ніколенко, В. В. Хуторний / Під ред. д-ра техн. наук Є. О. Джура. – Дніпропетровськ: АРТ-ПРЕС, 2007. – 480 с.

3. Биргер И. А., Иосилевич Б. Г. Резьбовые и фланцевые соединения. – М.: Машиностроение, 1990. – 368 с.

4. Тимошенко С. П. Пластинки и оболочки / Пер. с англ. В. И. Контовт. – М. - Л.: ОГИЗ, Гостехиздат, 1948. – 460 с.

5. ГОСТ 19749-84. Соединения неподвижные разъемные пневмогидросистем. Затворы закрытые. Типы и технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 21 с. – (Гос. стандарты СССР).

6. Bondarenko O. Sealing of Pipelines Flange Connections in Conditions of Fasteners Tightening Torque Reducing / O. Bondarenko, A. Dziub // Applied Mechanics and Materials. – Vol. 630 (2014). – Switzerland: Trans tech Publications, 2014. – P. 283-287.

7. Бондаренко О. В. Предварительное определение геометрических размеров сильфонов из алюминиевых сплавов / О. В. Бондаренко, Ю. К. Демченко // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки: Зб. наук. праць / Наук. ред. д-р техн. наук С. О. Давидов. – Дніпропетровськ: Ліра, 2016. – С. 3-8.

Статья поступила 30.06.2017