УДК 62-1/-9

ВЫБОР И СРАВНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОРПУСОВ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Д. А. Горшкалев*, А. П. Исаев, А. В. Кравченко, С. В. Киселев

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
*E-mail: gorshkalev1999@mail.ru

В рамках работы рассмотрены требования к материалам корпусов турбонасосных агрегатов ракетных двигателей, приведен перечень использующихся и перспективных материалов, проведено их сравнение по предложенной методике, выделены наиболее оптимальные материалы.

Ключевые слова: турбонасосный агрегат, материал, сравнение, ракетный двигатель.

SELECTION AND COMPARISON OF MATERIALS FOR TURBO-PUMP UNITS HOUSINGS OF ROCKET ENGINES

D. A. Gorshkalev*, A. P. Isaev, A. V. Kravchenko, S. V. Kiselev

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
*E-mail: gorshkalev1999@mail.ru

This work considers the requirements for materials of turbo-pump units housings of rocket engines, gives a list of used and perspective materials, compares them according to the proposed method, resulting in the selection of the most optimal materials.

Keywords: turbo-pump unit, material, comparison, rocket engine.

Турбонасосный агрегат (ТНА) служит для подачи жидких компонентов ракетного топлива, являясь важнейшей частью ракетного двигателя (РД). Одним из ключевых моментов проектирования корпуса ТНА является выбор материалов. От материала напрямую зависят прочность корпуса ТНА, его масса, технологичность и стоимость.

Целью данной работы является определение наиболее оптимальных материалов корпусов ТНА для гражданских и военных нужд путем сравнения применяемых в настоящее время и перспективных материалов по выборочным характеристикам.

Согласно результатам исследований, возможна эксплуатация РД с дожиганием окислительного газа на топливе кислород – керосин при давлении до 60 МПа и номинальной температуре на турбине до 800 К. Материал для корпусов ТНА должен с запасом выдерживать такие нагрузки. Основными критериями выбора материалов являются [1]:

– стойкость к рабочим средам;
– высокая прочность и пластичность;
– жаростойкость.

Получены экспериментальные и расчетные данные, которые подтверждают защитные свойства таких металлов, как медь, никель, серебро – не поддерживать горение в потоке кислорода при температуре 90–900 К. Поэтому сплавы для корпусов ТНА, как правило, содержат в своем составе данные металлы. Для использования в среде кислорода и

высокотемпературного генераторного окислительного газа предпочтительным является применение конструкционных материалов с высоким содержанием никеля [1].

По мнению авторов работы "Перспективные материалы в производстве корпусных деталей турбонасосных агрегатов" [2], для изготовления литых корпусов могут находить применение коррозионно-стойкие высокопрочные стали (σв > 800 МПа) 03Х11Н8М2ФЛ, 03Х12Н10МТР (ЭП810-ВД), а для сварных и штампованных корпусов - 2Х18Н12С4ТЮ.

Кроме того, исходя из вышеуказанных требований, в настоящее время для корпусов ТНА используются следующие материалы [1]: 12Х18Н10Т, 07Х16Н6, ХН43БМТЮ, ХН55МБЮ, 07Х25Н6АГ6Ф, ХН65ВБ (ЭК64), 03Х9К14Н6М3Д (ЭП921).

Одна из важнейших характеристик материалов - предел прочности. Он отображает предельную нагрузку на разрыв, которую может выдержать корпус из данного материала. Для наглядности, была построена диаграмма, отражающая зависимость значения предела прочности от температуры эксплуатации, которая представлена на рис. 1.

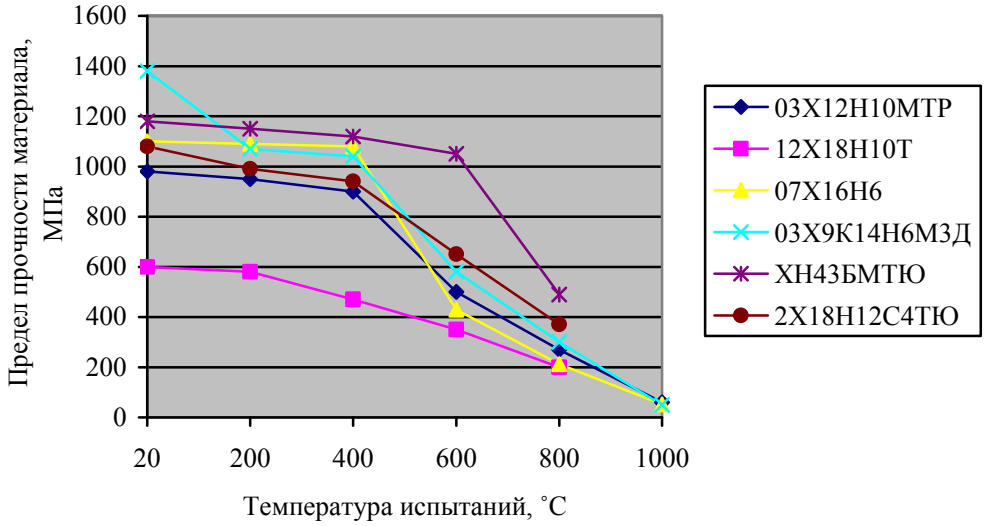


Рис. 1. Диаграмма соотношения «предел прочности – температура испытаний»

Согласно представленной выше диаграмме, наибольшим пределом прочности обладает сталь ХН43БМТЮ. Стоит отметить также стали 2Х18Н12С4ТЮ и 03Х9К14Н6М3Д, которые отличается плавным снижением прочностных характеристик в промежутке от 400˚С до 600˚С, имея высокий предел прочности на всем промежутке температурных испытаний.

Также проведем сравнение материалов по другим выборочным свойствам, которые важны для корпусов ТНА. К таким мы отнесли плотность, температуру эксплуатации, коэффициент линейного расширения и технологические свойства. Плотность характеризует массу материала на единицу объема, чем меньше её значение, тем легче будет корпус ТНА, что повлияет и на массу самого ракетного двигателя. Температура эксплуатации отражает минимальный и максимальный температурные пороги, при которых материал пригоден к длительной эксплуатации. Коэффициент линейного расширения характеризует увеличение линейных размеров изделия из данного материала при нагревании; чем меньше его значение, тем меньше корпус будет деформироваться при увеличении температуры, что положительно скажется на его надежности (в частности, меньшей нагрузке будут подвергаться сварные швы; монтирующиеся в корпус детали будут точнее сохранять своё положение) [3]. Технологические свойства отражают способность обрабатывать материал различными методами. Для наглядности сравнение материалов по вышеизложенным свойствам составим в виде таблицы 1.

Таблица 1

Характеристики материалов, применяемых при проектировании ТНА

Марка материала	Плотность $\cdot 10^3$, кг/м^3	Температура эксплуатации, К	Коэффициент линейного расширения $\cdot 10^6$, К$^{-1}$ (при 800 К)	Технологические свойства
12Х18Н10Т	7,9	4 - 1000	18,9	ОД* - хорошая СВ - хорошая
07Х16Н6	7,8	20 - 773	11,7	ОД - удовлетворительная СВ - хорошая
ХН43БМТЮ	8,11	77 -973	15	ОД - удовлетворительная ЛИТ - удовлетворительная СВ - удовлетворительная
07Х25Н6АГ6Ф	7,83	20 - 1123	18	ОД - удовлетворительная СВ - хорошая
ХН65ВБ (ЭК64)	8,4	77 -1473	15	ОД - удовлетворительная СВ - удовлетворительная
03Х9К14Н6М3Д (ЭП921)	7,85	77 -673	13,14	ОД - хорошая СВ - хорошая
03Х12Н10МТР (ЭП810-ВД)	7,83	20-773	12,05	ОД - хорошая ЛИТ - удовлетворительные СВ - хорошая
2Х18Н12С4ТЮ	7,51	20 - 673	18,3	ОД - хорошая СВ - хорошая

* ОД - обрабатываемость давлением, СВ - свариваемость, ЛИТ - литейные свойства.

Как видно из таблицы 1, материалы с наименьшей плотностью – 2Х18Н12С4ТЮ, 07Х16Н6. Материалы ТНА, которые могут длительное время подвергаться самым высоким температурным воздействиям – ХН43БМТЮ, 07Х25Н6АГ6Ф. Наименьшим коэффициентом линейного расширения обладают такие марки сталей, как 07Х16Н6, 03Х12Н10МТР и 03Х9К14Н6М3Д. Наилучшие технологические свойства присущи таким сталям, как 12Х18Н10Т, 03Х9К14Н6М3Д, 2Х18Н12С4ТЮ и 03Х12Н10МТР.

Согласно результатам данной работы, наиболее оптимальной маркой стали для корпусов ТНА можно назвать ХН43БМТЮ. Она обладает высоким пределом прочности, средними относительно других представленных сталей характеристиками плотности, коэффициентом линейного расширения, удовлетворительными технологическими свойствами, а также возможностью длительной эксплуатации материала при температурах до 800 К.

Библиографические ссылки

1. Проектирование турбонасосного агрегата ЖРД: электрон. учеб. пособие / А.В. Иванов, В.С. Мелентьев, А.С. Гвоздев. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. – Электрон. и граф. дан. (31,2 Мбайт).

2. Рыбакова В.Н., Мехтиев А.С., Назаров В.П. Перспективные материалы в производстве корпусных деталей турбонасосных агрегатов // Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции творческой молодежи "Актуальные проблемы авиации и космонавтики" (8-12 апреля 2013 г). Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2013. Т.1 С. 62.

3. Материаловедение. Курс лекций [Электронный ресурс]. – URL: https://narfu.ru/iet/divisions/ktkmim/literature/materialovedenie_kurs_lektsiy_.pdf (дата обращения 04.03.2022).

© Горшкалев Д. А., Исаев А. П., Кравченко А. В., Киселев С. В., 2022