

УДК 620.178.3

**МАЛОЦИКЛОВАЯ УСТАЛОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ,
ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ РОТАЦИОННОЙ РАСКАТКИ**

©2018 М.А. Васечкин, В.Г. Егоров, И.Н. Маслов

Воронежский государственный университет инженерных технологий

**LOW-CYCLE FATIGUE OF THIN WALLED PIPES MANUFACTURED
WITH ROTATIONAL ROLLING-OFF**Vasechkin M.A., Egorov V.G., Maslov I.N. (Voronezh state university of engineering technologies,
Voronezh, Russian Federation)

The main results of experimental studies on the effect of deformation degree during rotational rolling-off with thinning of the wall of a single-seamed cylindrical shell on the maximum number of loading cycles before the failure of a welded joint are presented in the paper.

В современных летательных аппаратах системы для транспортировки различных жидких и газообразных сред представляют собой сложные многофункциональные конструкции, состоящие из различных агрегатов, соединённых между собой трубопроводами.

Трубопроводные системы авиационной техники имеют большую протяжённость и сложную конструкцию, представляющую собой сочетание различных жёстких элементов трубопроводов (прямолинейные и крутоизогнутые патрубки, тройники, переходники, компенсаторы и др.), изготовленных из титановых сплавов и стали. В среднем в конструкции летательного аппарата имеется около 2500 таких деталей.

Для снижения полётной массы планера жёсткие элементы трубопроводов должны иметь минимальную толщину стенки, с учётом обеспечения прочности и долговечности этих элементов под действием нагрузок, возникающих при эксплуатации летательных аппаратов.

Разрушения трубопроводов в результате действия переменной нагрузки составляют значительную часть всех отказов усталостного происхождения в различных агрегатах и системах летательных аппаратов, в том числе и их двигателях. Трещины вдоль образующей трубопровода возникают под действием пульсации давления жидкости или газа, а окружные трещины - в результате циклического изгиба вибрациями, передаваемыми от корпуса двигателя.

При конструировании трубопроводных систем преимущественно используют элемен-

ты, изготовленные из цельнотянутых трубчатых заготовок. Однако изготовление особотонкостенных холоднодеформируемых бесшовных труб достаточно трудоёмко, а готовые изделия зачастую имеют большую разнотолщинность, некруглость, саблевидность, что усложняет их сборку в трассу трубопровода с использованием автоматической аргонодуговой электросварки с образованием некачественного кольцевого сварного шва с явно выраженными непроварами и раковинами.

Альтернативной технологией является технология изготовления особотонкостенных прямошовных труб из листовых заготовок с последующей ротационной раскаткой, позволяющей изготовить изделия с повышенной прочностью и снизить негативное влияние продольного шва [1, 2].

С целью изучения влияния степени деформации при ротационной раскатке с утонением стенки прямошовной цилиндрической оболочки на максимальное количество циклов нагружения до разрушения сварного шва были проведены экспериментальные исследования по малоцикловой усталости сварных соединений после ротационной раскатки.

Экспериментальные исследования проводились на модернизированной испытательной машине МУП-20, оснащённой счётчиком импульсов СИ – 206.

При проведении исследований экспериментальные образцы, полученные из цилиндрических оболочек, раскатанных с толщины стенки 1 мм до толщин – 0,9; 0,8; 0,7 и 0,6 мм, подвергались повторно-переменным растягивающим нагрузкам с частотой 0,7 Гц

и коэффициентом асимметрии цикла $R=+0,1$. Максимальное растягивающее усилие вычислялось по выражению:

$$F_{\max} = 0,75\sigma_b ht,$$

где σ_b – предел прочности материала цилиндрической оболочки после ротационной раскатки; h – ширина рабочей части экспериментального образца; t – толщина экспериментального образца, соответствующая толщине стенки раскатанного цилиндрической оболочки.

Цилиндрические оболочки изготавливались из титановых сплавов ВТ1-0, ПТ7М, ОТ4-0 и сталей AISI 304, AISI 321.

По результатам проведенных исследований было установлено, что применение ротационной раскатки в процессе изготовления особотонкостенных цилиндрических оболочек из титановых сплавов оказывает значительное влияние на малоцикловую усталость сварного шва. Циклическая долговечность экспериментальных образцов, изготовленных из цилиндрических оболочек с относительной деформацией по толщине стенки $\varepsilon_t = 10...15\%$, при повторно-переменных растягивающих нагрузках выше в 1,5...2,5 раза по сравнению с образцами, изготовленными из цилиндрических оболочек без ротационной раскатки, например, для образцов из ВТ1-0 с толщиной стенки после раскатки 0,9 мм среднее значение максимального количества циклов нагружения до разрушения образца составило – 10422 циклов при $F_{\max} = 5$ кН, а для образцов с толщиной стенки 1 мм, изготовленных без раскатки, – 4506 циклов при таком же максимальном растягивающем напряжении. Дальнейшее увеличение относительной деформации по толщине стенки $\varepsilon_t \geq 20\%$ приводит к заметному снижению циклической долговечности, а при $\varepsilon_t = 30\%$ долговечность становится меньше, чем у образцов без раскатки.

При изучении мест разрушения образцов с $\varepsilon_t \geq 20\%$ после испытаний в зоне термического влияния вблизи излома обнаружены множественные микронадрывы и параллельные линии излома.

Подобная тенденция характерна для всех исследуемых титановых сплавов и связана с тем, что для образцов из титановых сплавов с $\varepsilon_t \geq 20\%$ в ходе их термической обработки начинаются рекристаллизационные процессы, что и объясняет разупрочнение нагартованного при раскатке металла, а также быстрое образование микротрещин при испытаниях на малоцикловую усталость.

Применительно к образцам из исследуемых сталей выявлено, что существенной разницы в долговечности образцов с разной степенью деформацией по толщине стенки не наблюдается. При этом следует отметить, что оптимальное сочетание характеристик прочности и долговечности достигается при $\varepsilon_t = 10\%$.

Выполнено при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации в лице Министерства образования и науки в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы» по соглашению о предоставлении субсидии № 14.574.21.0042. Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57414X0042.

Библиографический список

1. Давыдов О.Ю., Егоров В.Г., Коломенский А.Б., Хрулев А.М. Повышение качества тонкостенных прямошовных труб ротационной раскаткой сварного шва // Сварочное производство. 2015. № 2. С. 29-33.
2. Vasechkin M.A., Egorov V.G., Maslov I.N., Kolomenskiy A.B. Determination of the optimum conditions at the processing of high-strength corrosion-proof pipelines // Research Journal of Applied Sciences. 2016. Т. 11. № 4. С. 85-87.