

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ С УПРОЧНЕННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ. СООБЩЕНИЕ 1. РЕГУЛЯРНОЕ НАГРУЖЕНИЕ

При создании новой авиационной техники одной из наиболее важных задач является обеспечение заданного ресурса.

Как показывает эксплуатация и практика ресурсных испытаний, отверстия для перетекания топлива в крыльях самолетов являются массовыми концентраторами напряжений и могут приводить к преждевременному разрушению конструкции.

Для повышения выносливости элементов конструкций с отверстиями применяют различные методы упрочнения. Наиболее эффективными являются методы, основанные на местном глубоком пластическом деформировании (МГПД) материала. К ним относятся барьерное обжатие, дорнование, раскатка и т. д.

Исследование влияния упрочнения методами МГПД на долговечность элементов конструкции ведется уже на протяжении более 40 лет. Так, в работе [1] приведены результаты испытаний проушин с обжатыми отверстиями из сплава Д16Т при нагружении по пульсирующему циклу. Установлено, что упрочнение отверстия приводит к повышению выносливости проушин толщиной 6...10 мм в 1,5 – 27 раз в зависимости от глубины обжатия.

Авторами работы [2] выполнены экспериментальные исследования влияния последовательного применения дорнования и барьерного обжатия на усталостную долговечность конструктивно-подобных образцов стрингеров с системой отверстий для перетекания топлива. Испытания проведены при регулярном нагружении для двух уровней максимальных номинальных напряжений. Отмечено, что данный способ упрочнения отверстий позволяет увеличить долговечность от 3 до 10 раз.

Следует отметить, что все известные автору результаты экспериментальных исследований по влиянию упрочнения отверстий на долговечность являются фрагментарными и получены только для одного - двух уровней прикладываемой нагрузки. Кроме того, не установлено влияние больших нагрузок, встречающихся при эксплуатации самолета, на эффективность упрочнения отверстия.

Целью данной работы является определение долговечности образцов с упрочненными отверстиями при регулярном нагружении в диапазоне долговечности $3 \cdot 10^3 \dots 10^6$.

В качестве способа упрочнения выбран метод барьерного обжатия, предложенный Е. А. Шахатуни [1]. Данный метод заключается во вдавливании на некотором расстоянии от отверстия пуансонов заданного профиля. В результате в области отверстия образуются поля остаточ-

ных напряжений, наличие которых приводит к увеличению долговечности.

Объектом упрочнения являются образцы со свободным отверстием из алюминиевых сплавов Д16аТ и В95пчТ2 толщиной 5 и 4 мм соответственно. Геометрические размеры образцов приведены на рис. 1.

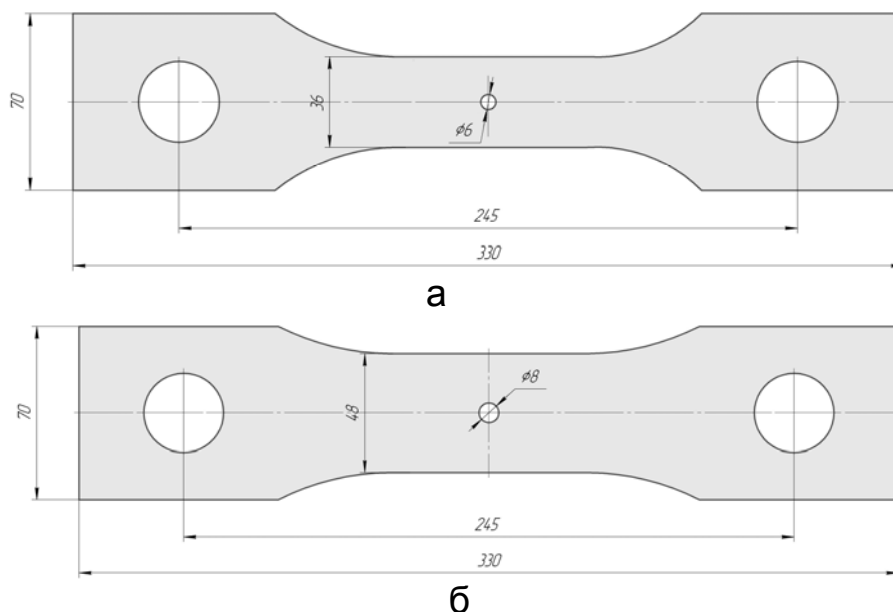


Рисунок 1 – Геометрические параметры образцов:
а – из сплава Д16аТ; б – из сплава В95пчТ2

Для упрочнения отверстий барьерным обжатием спроектирована специальная обжимка, показанная на рис. 2.

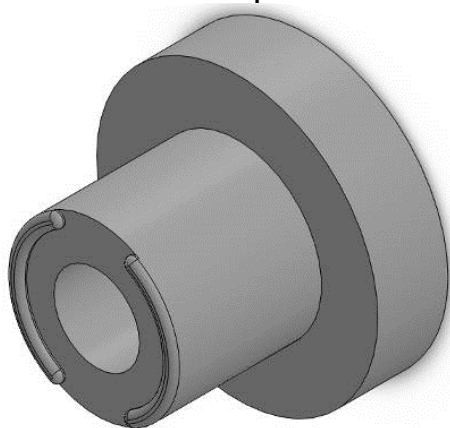


Рисунок 2 – Трехмерная модель обжимки

Обжатие образцов выполнялось на испытательной машине ZD 10/90. Обжимка внедрялась последовательно с двух сторон по толщине образца. В результате упрочнения вблизи отверстия образовывались лунки (углубления в форме полумесяца). Глубина лунок измерялась с помощью индикаторного микрометра с ценой деления 0,001 мм.

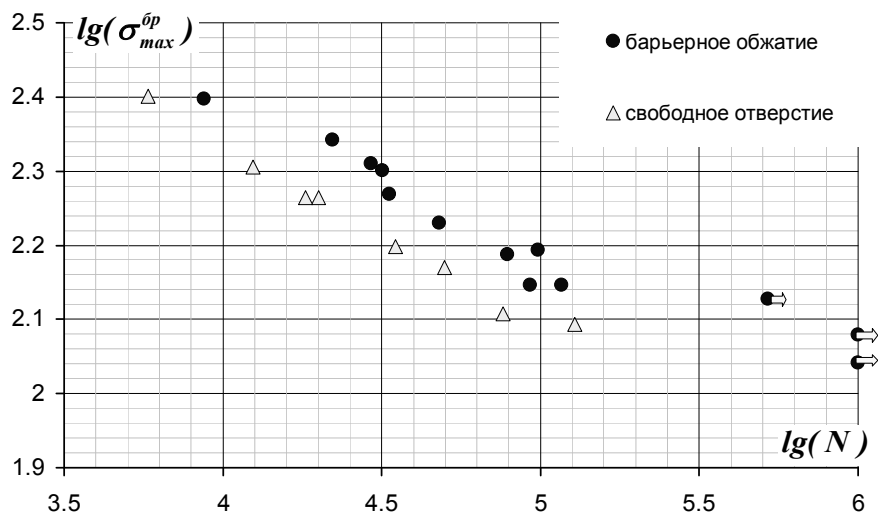
Экспериментальные исследования выполнены на нескольких сериях образцов с различной глубиной внедрения обжимки.

Усталостные испытания проведены с использованием испытательного комплекса на базе машины УМП [3] при мягком регулярном нагружении по отнулевому циклу. Под мягким нагружением подразумевают нагружение постоянной амплитудой действующих напряжений.

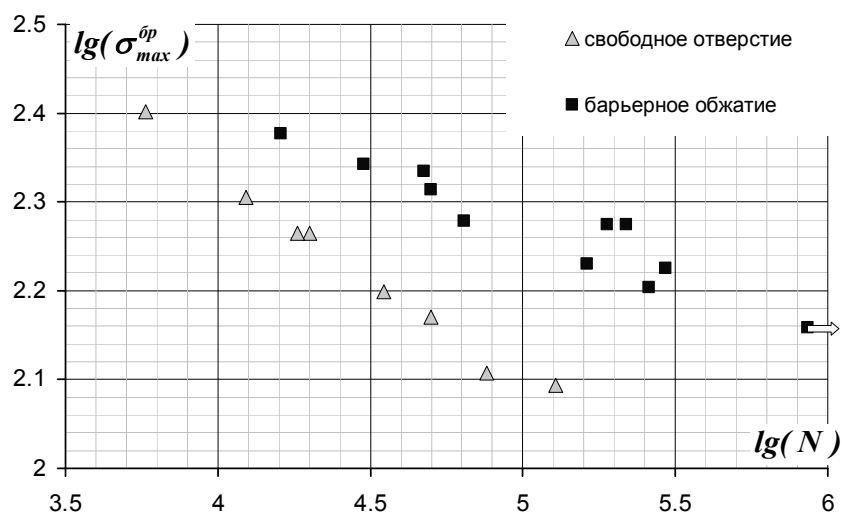
Все образцы испытаны при частоте нагружения 14,5 Гц в условиях нормальной температуры (20°C).

На рис. 3, 4 приведены результаты испытаний образцов со свободным и упрочненным отверстиями из алюминиевых сплавов Д16аТ и В95пчТ2 при отнулевом регулярном нагружении до разрушения.

Следует отметить, что большинство образцов разрушилось по отверстию, но при этом разрушение нескольких образцов произошло по галтельному переходу (рис. 4, в). Кроме того, при наработке более 10^6 циклов испытания останавливали, образец до разрушения не доводили.

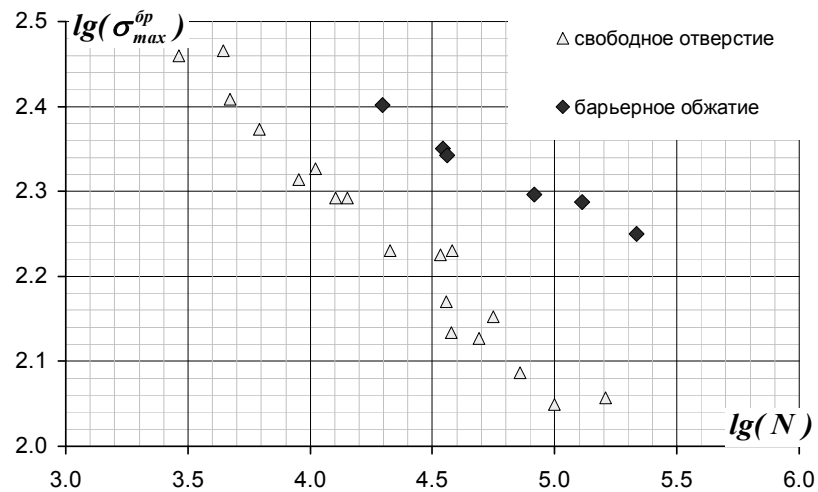


а

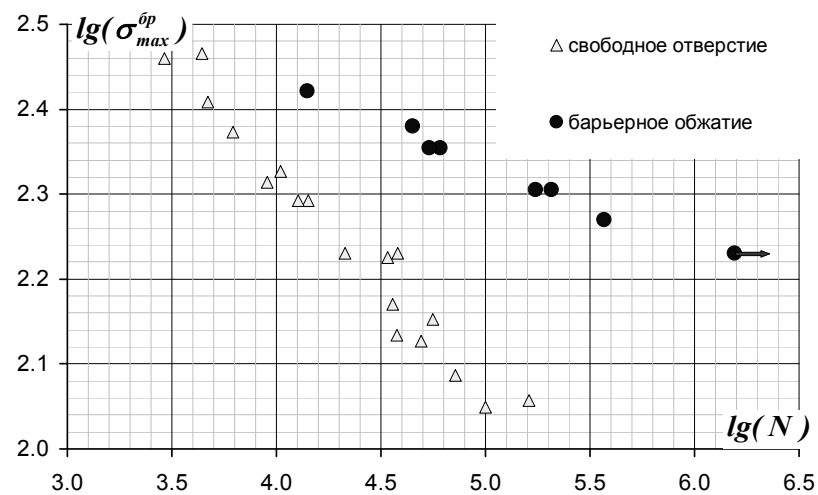


б

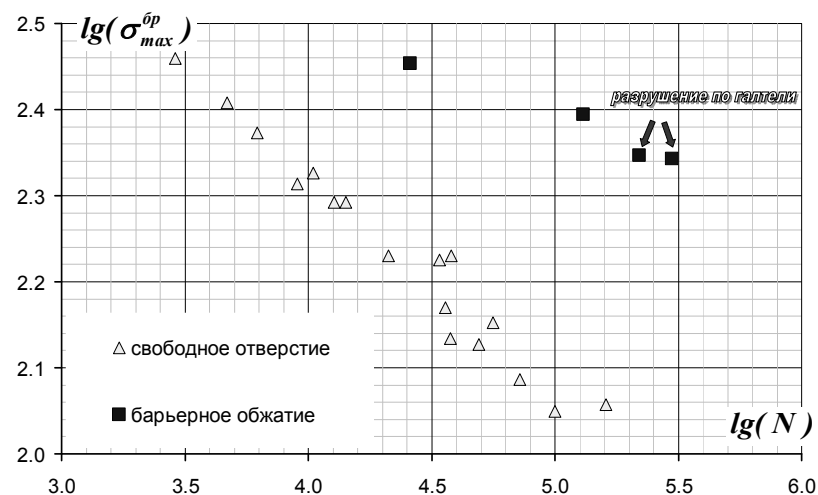
Рисунок 3 – Кривые усталости образцов со свободными и упрочненными отверстиями из сплава Д16аТ:
а – глубина обжатия 0,1 мм; б – глубина обжатия 0,2 мм



а



б



в

Рисунок 4 – Кривые усталости образцов со свободными и упрочненными отверстиями из сплава В95пчТ2:

а – глубина обжатия 0,07 мм; б – глубина обжатия 0,1 мм; в – глубина обжатия 0,18 мм

Для оценки эффективности упрочнения отверстия барьерным обжатием в зависимости от уровня внешней нагрузки введено понятие коэффициента повышения долговечности. Данный коэффициент является функцией от номинальных напряжений и может быть найден по зависимости

$$K(\sigma_{\max}^{\text{бп}}) = \frac{N_i}{N_{oi}},$$

где N_i и N_{oi} – долговечности образцов со свободным и упрочненным отверстиями при одной величине номинальных напряжений.

На рис. 5, 6 показаны зависимости изменения коэффициента повышения долговечности от номинальных напряжений для образцов из алюминиевых сплавов Д16аТ и В95пчТ2.

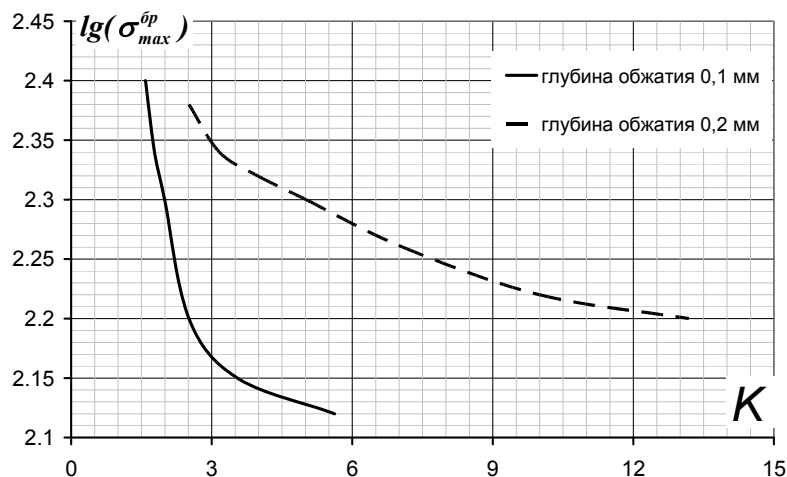


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента повышения долговечности от номинальных напряжений для образцов из алюминиевого сплава Д16аТ

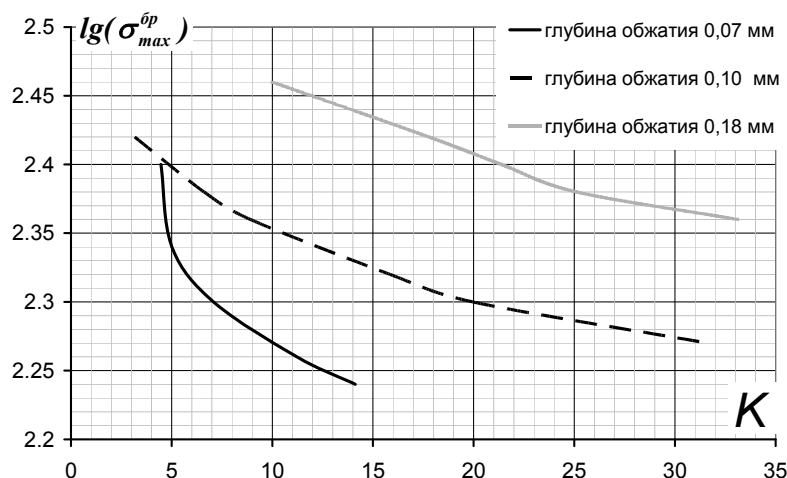


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента повышения долговечности от номинальных напряжений для образцов из алюминиевого сплава В95пчТ2

Выводы

В результате выполненных экспериментальных исследований влияния упрочнения отверстия барьерным обжатием на долговечность образцов при регулярном нагружении установлено:

- повышение долговечности зависит как от глубины внедрения пуансона, так и от величины максимальных номинальных напряжений;
 - имеет место перелом кривой усталости упрочненных образцов.
- При этом номинальные напряжения, соответствующие точке перелома кривой, зависят от материала и степени упрочнения.

Список использованных источников

1. Шахатуни, Е. А. Увеличение выносливости самолетных конструкций путем обжатия вокруг отверстий цилиндрических поясов [Текст] / Е. А. Шахатуни, Ф. М. Любарец // *Авиационная промышленность*. – № 9. – 1977. – С. 12–13.
2. Экспериментальное исследование влияния последовательного применения дорнования и барьерного обжатия на усталостную долговечность стрингеров в зоне отверстий для перетекания топлива [Текст] / А.Г. Гребеников, Г. А. Кривов, Е. Т. Василевский и др. // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*. – Вып. 43. – Х., 2009. – С. 54 – 64.
3. Фомичев, П.А. Методика экспериментальных исследований циклических деформационных и усталостных характеристик конструкционных материалов [Текст] / П.А. Фомичев, А.С. Третьяков, А.А. Черных // *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та*. – Вып. 2 (53). Х., 2008. – С. 24–34.

Поступила в редакцию 19.02.2014.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.А. Фомичев,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*