

ИЗМЕНЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ И МИНИМАЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИЙ НА ДИАГРАММАХ ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Д16АТ ПРИ РЕГУЛЯРНОМ НАГРУЖЕНИИ

Основной задачей при расчете долговечности элементов конструкций по локальному напряженно-деформированному состоянию [1, 2, 3] является определение локальных упругопластических напряжений и деформаций в точках наибольшей концентрации напряжений. Расчет этих характеристик проводят, опираясь на модели деформирования материала, которые должны быть сформированы при изучении закономерностей циклического деформирования материала с использованием стандартных гладких образцов.

Исследование закономерностей циклического деформирования проводится уже достаточно долгое время [4 – 7], тем не менее, главный вопрос – формирование локальных циклов деформирования материала в концентраторе напряжений – исследован недостаточно.

В настоящее время рассматривают следующие гипотезы локального циклообразования [7] (см. рисунок 1):

- фиксирование верхней точки реверса напряжений – т. А;
- фиксирование нижней точки реверса напряжений – т. В.

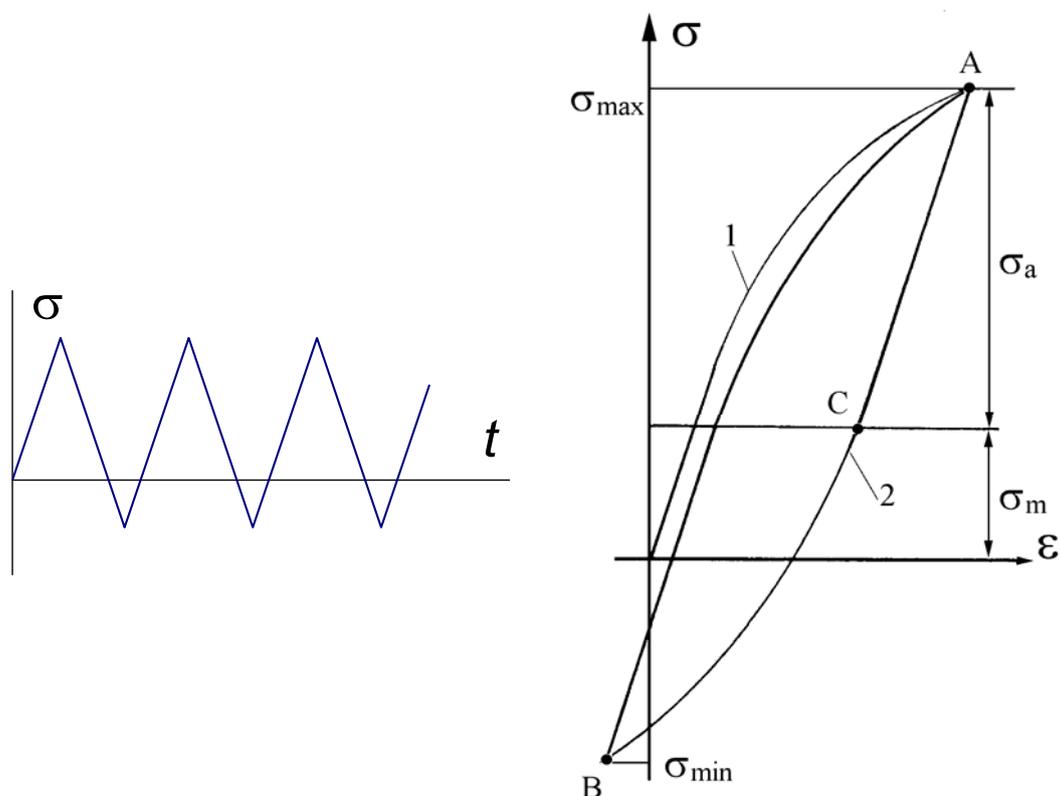


Рисунок 1 – Схемы циклического деформирования материала при асимметричном нагружении

Точками реверса называют точки, в которых деформирование меняет свое направление [4]. На диаграммах деформирования эти точки лежат в вершинах петель гистерезиса (т. А и В на рисунке 1). То есть верхняя точка реверса соответствует максимальной деформации, а нижняя – минимальной. Под фиксируемой точкой реверса согласно предложенным в [7] гипотезам понимают точку, координаты которой (напряжения и деформации) не изменяются при циклическом нагружении, в то время как координаты противоположной точки реверса изменяются вследствие изменения ширины петли гистерезиса за счет циклического упрочнения либо разупрочнения материала.

Использование той или иной гипотезы локального циклообразования приводит к различиям в расчете параметров локального напряженно-деформированного состояния, а соответственно, и долговечности. Поэтому актуальной задачей является выбор той гипотезы, которая наиболее соответствует реальным условиям циклического деформирования материала.

В данной статье приведены результаты экспериментальной проверки указанных гипотез, заключающейся в исследовании изменения максимальных и минимальных деформаций от цикла к циклу на действительных диаграммах циклического деформирования материала, построенных в координатах « $\sigma - \varepsilon$ ».

Диаграммы циклического деформирования материала при симметричном и асимметричном мягком регулярном нагружении получены на гладких образцах (рисунок 2), выполненных из сплава Д16АТ (лист толщиной 6 мм). Под мягким нагружением понимают нагружение с контролируемой величиной напряжений.

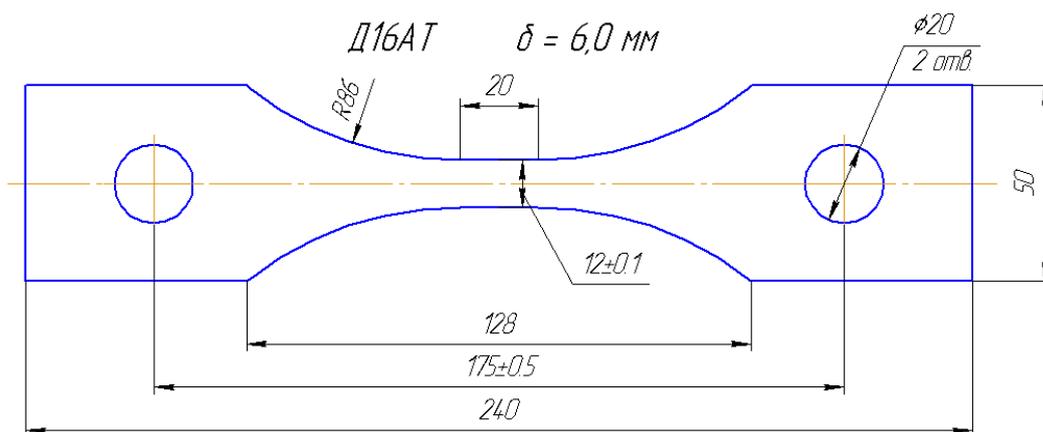


Рисунок 2 – Гладкие образцы

Испытания проведены при амплитудных напряжениях $\sigma_a = 340$ МПа и следующих средних напряжениях σ_m : -35, 0, 40 МПа. Такой уровень напряжений в материале характерен для точек наибольшей концентрации напряжений в авиационных конструкциях.

Заданный цикл нагружения (σ_m, σ_a) в испытаниях может быть получен двумя вариантами:

- достижением сначала максимального напряжения $\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a$ при нагружении в растяжение, а затем разгрузкой до минимального напряжения $\sigma_{min} = \sigma_m - \sigma_a$ с последующим циклированием (см. рисунок 3, а);

- и наоборот, достижением сначала минимального напряжения σ_{min} при деформировании в сжатие, а затем нагружением до максимального напряжения σ_{max} с последующим циклированием (см. рисунок 3, б).

Приведенные варианты деформирования отличаются последовательностью полциклов нагружения. Этому явлению было уделено внимание в проводимых исследованиях. Испытания продублированы как при первом полцикле в растяжение до максимального напряжения σ_{max} , так и в сжатие до минимального напряжения σ_{min} .

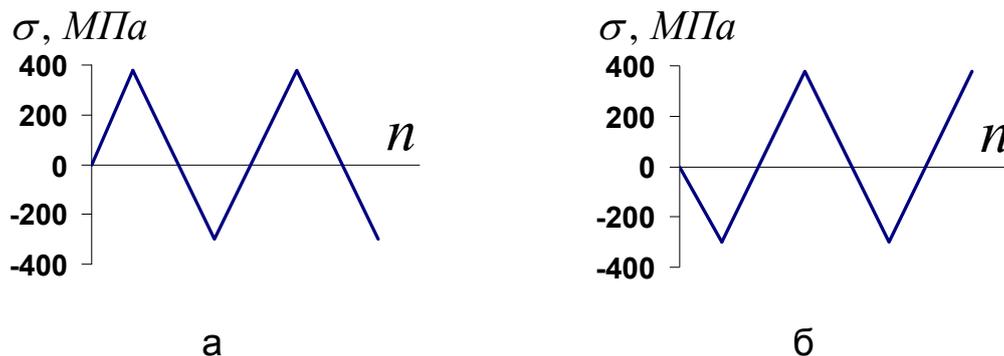


Рисунок 3 – Последовательность полциклов нагружения:
а – первый полцикл в растяжение; б – первый полцикл в сжатие

При каждом виде нагружения реализовано до 50 циклов деформирования, чтобы получить зависимости изменения максимальных и минимальных деформаций от наработки.

На рисунке 4 приведена типовая действительная диаграмма циклического деформирования « $\sigma - \varepsilon$ », полученная в результате экспериментов. Дополнительно пунктиром показана диаграмма монотонного деформирования материала Д16АТ при растяжении и сжатии [8].

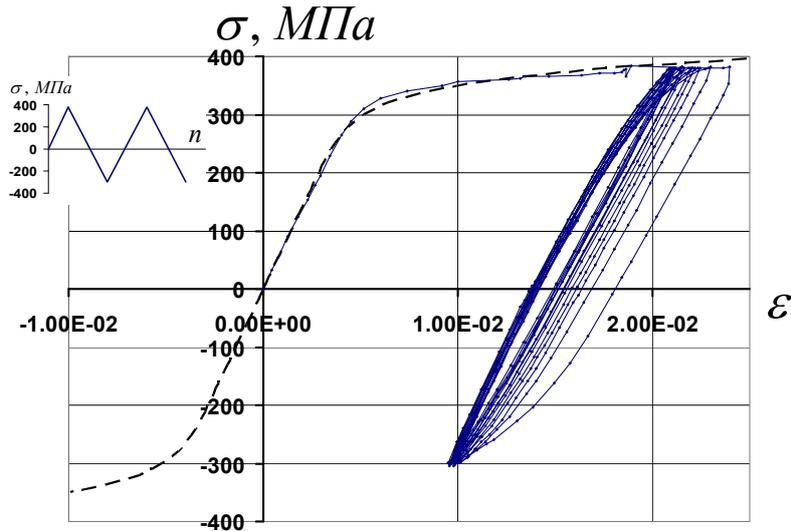


Рисунок 4 – Действительная диаграмма циклического деформирования:
 $\sigma_a = 340$ МПа; $\sigma_m = 40$ МПа

Определены значения деформаций верхней ϵ_{max} и нижней ϵ_{min} точек реверса нагрузки и построены зависимости их от цикла n (рисунок 5).

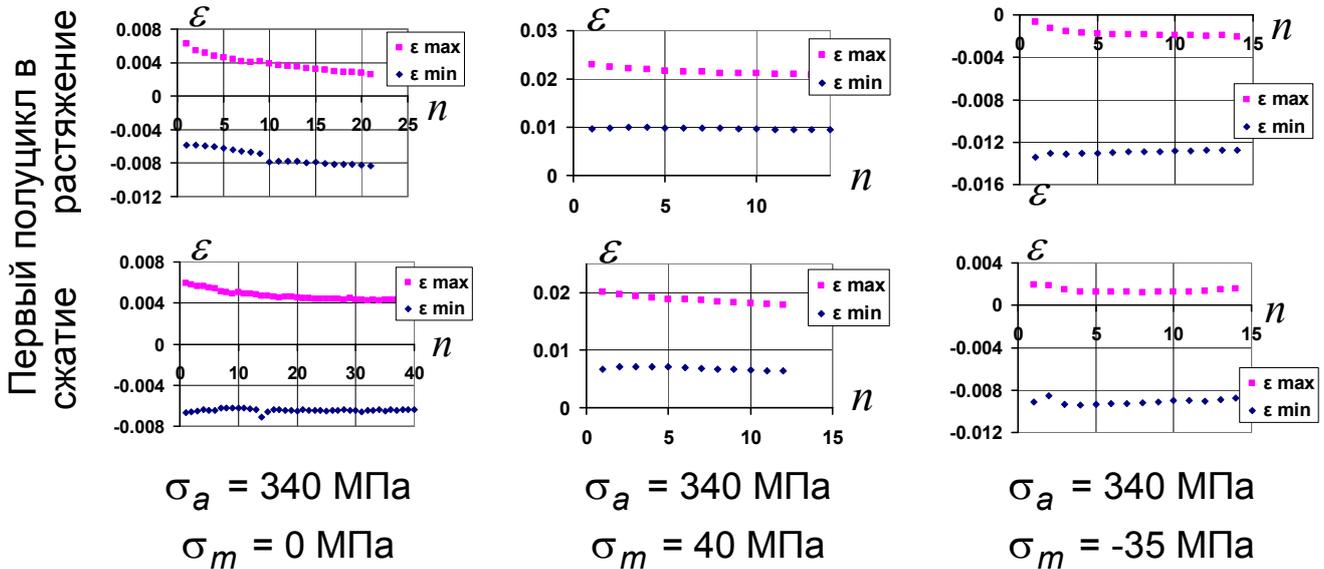


Рисунок 5 – Изменение деформаций ϵ_{max} и ϵ_{min} точек реверса петель гистерезиса по циклам нагружения

Проведено сопоставление кинетических диаграмм амплитуд полной ϵ_{at} и остаточной ϵ_{ar} деформаций при различной последовательности полциклов нагружения. Диаграммы приведены на рисунке 6.

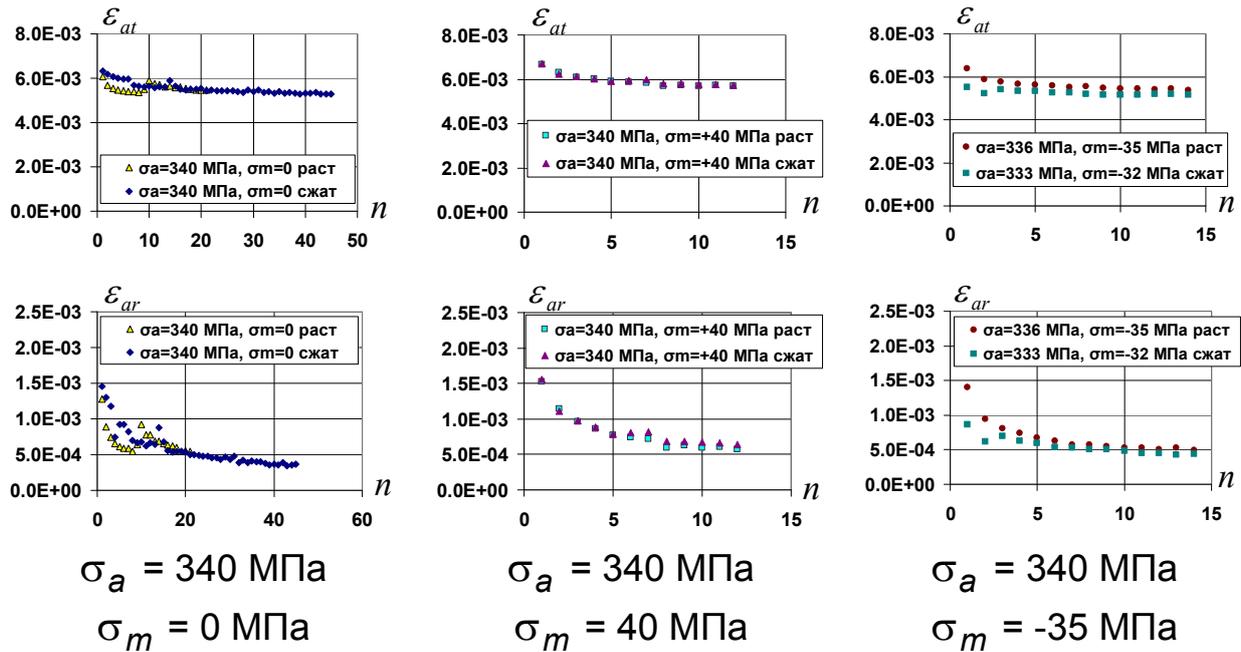


Рисунок 6 – Кинетические диаграммы изменения ε_{at} и ε_{ar} с наработкой при различной последовательности полуциклов нагружения

Выводы

По совокупности испытанных образцов при симметричном и асимметричном нагружениях сплава Д16АТ наблюдали снижение максимальной деформации ε_{max} (верхняя точка реверса петли гистерезиса на рисунке 1). При этом минимальная деформация ε_{min} (нижняя точка реверса) изменялась значительно меньше и в ряде экспериментов оставалась практически постоянной. Этот факт говорит о циклической анизотропии сплава Д16АТ, следствием чего являлось следующее. На полуцикле нагрузки до σ_{max} происходил процесс упрочнения, и деформирование происходило с меньшей пластической составляющей. На полуцикле разгрузки до σ_{min} упрочнение практически отсутствовало, поэтому кривая деформирования возвращалась в ту же точку при напряжениях σ_{min} , откуда началось деформирование в предыдущем полуцикле. Причем этот эффект одинаково проявлялся как при первом полуцикле нагружения в растяжение, так и в сжатие.

Последовательность полуциклов нагружения не оказывала существенного влияния и на циклические характеристики материала. Согласно рисунку 6 амплитуды полной и остаточной деформаций практически совпали при рассматриваемых нагружениях.

В целом по результатам экспериментов можно сделать вывод о том, что при мягком регулярном нагружении циклическое деформирование сплава Д16АТ наиболее соответствовало модели с фиксированием нижней точки реверса напряжений (точка В на рисунке 1).

Список использованных источников

1. Циклические деформации и усталость металлов: в 2-х томах, Т.1. Малоцикловая и многоцикловая усталость [Текст] / В.Т. Трощенко, Л.А. Хамаза, В.В. Покровский и др.; под. ред. В.Т. Трощенко. К.: – Наук. думка, 1985. – 214 с.
2. Dowling, N.E. A review of fatigue life prediction method [Text] / N.E. Dowling. – SAE Techn. Pap. Ser. 1987. – №87. – 1966. – P. 1 – 22.
3. Фомичев, П.А. Прогнозирование долговечности тел с надрезами по локальному напряженно-деформируемому состоянию. Сообщение 2. Определение параметра, характеризующего долговечность тел с концентраторами напряжений [Текст] / П.А. Фомичев // Пробл. прочности. – Вып. 3. – 2000. – С. 46 – 55.
4. Махутов, Н.А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность [Текст] / Н.А. Махутов. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.
5. Глинка, Г. Анализ локальных деформаций и напряжений и прогнозирование усталостной долговечности [Текст] / Г. Глинка // Механическая усталость металлов: Материалы VI международного коллоквиума. – К.: Наук. думка, 1981. – С. 54 – 60.
6. Когаев, В.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В.П. Когаев, Н.А. Махутов, А.П. Гусенков. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
7. Фомичев, П.А. Локальное деформирование материала при программном нагружении в условиях сложного напряженного состояния [Текст] / П.А. Фомичев, И.Ю. Трубочанин, Я.В. Гребенюк // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2 (53). – Х., 2008. – С. 35 – 40.
8. Черных, А.А. Выбор уравнения для аппроксимации экспериментальных диаграмм деформирования [Текст] / А.А. Черных // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 2 (53). – Х., 2008. – С. 113 – 120.

Поступила в редакцию 17.09.2012.

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