

УДК 629.7.002: 621.375.826

А.С. Третьяков, канд. техн. наук,
С.С. Завгородняя

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЗЕРЕН МАТЕРИАЛА НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ОБРАЗЦОВ ИЗ ЛИСТОВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В95Т2 ПРИ РЕГУЛЯРНОМ НАГРУЖЕНИИ

Как известно, механизм процесса усталостного разрушения металлов [1, с. 7] неразрывно связан со структурной неоднородностью, заключающейся в случайных вариациях размеров и очертаний отдельных зерен металла, направлений их кристаллографических плоскостей, в наличии различных фаз, включений, дефектов кристаллической решетки.

Еще в 70-е годы XX века в результате крупномасштабных исследований долговечности различных стандартных образцов материалов и элементов авиационных конструкций, проводимых сотрудниками ЦАГИ и ведущих КБ, была обнаружена существенная зависимость долговечности от вида полуфабриката и его параметров, например толщины и поставки материала. Так, для одного из основных авиационных конструкционных алюминиевых сплавов Д16Т было установлено, что для разных поставок и толщины листов долговечность может различаться в 1,5 – 2 раза, а иногда и более [2].

Важно подчеркнуть, что указанные выше разбросы усталостных свойств в зависимости от толщины листа и поставки обусловлены именно отличием характеристик материала, а не разницей в качестве изготовления отверстий в разнообразных партиях образцов. Подтверждением этого является то, что данный эффект обнаружен и при испытаниях гладких образцов из сплава Д16Т [3].

Последние исследования разнообразных сплавов (магниевого, никелевого и др.) [4, 5, 6] показывают, что усталостная прочность в многоциклового области зависит, прежде всего, от дислокационной субструктуры, размера зерен и их ориентации. Поэтому для установления причины описанного выше явления проведен сравнительный анализ химического состава и структуры листов – формы и размера зерен из сплавов Д16Т [3] и В95Т2.

Как было показано в работе [3], химический состав сплава Д16Т в разных листах соответствует требованиям ГОСТ 4784-97 [7] и мало изменяется в зависимости от их толщины, поэтому не может заметно влиять на долговечность. Полностью аналогичные результаты получены и в результате исследования химического состава сплава В95Т2, поэтому они не приведены и далее влияние химического состава не рассматривалось.

Ниже представлены результаты определения величины зерен материалов Д16Т и В95Т2. Для исследования сплава Д16Т рассмотрены листы толщиной 2, 5, 6 и 8 мм, а для сплава В95Т2 – 2 и 5 мм. Причем для сплава В95Т2 рассмотрено два листа толщиной 5 мм (один из новых поставок, а второй произведен в 1980-х годах).

Величины размеров зерен определены тремя способами:

- первый способ – согласно [8] (применяют в промышленности);
- второй способ – согласно [11] (используют в научно-исследовательских работах, и он является наиболее точным из стандартных);

- третий способ – измерение конкретных зерен (применен для получения не только среднего размера зерен, но и анализа всей совокупности размеров зерен, содержащихся в структуре сплава). При этом фиксировалась длина (расстояние между наиболее удаленными точками контура зерна) и ширина (наибольшее расстояние между точками контура, лежащими на линиях, перпендикулярных длине). Примеры структуры материала и пример выделения зерен для рассмотренных сплавов показаны на рис. 3.

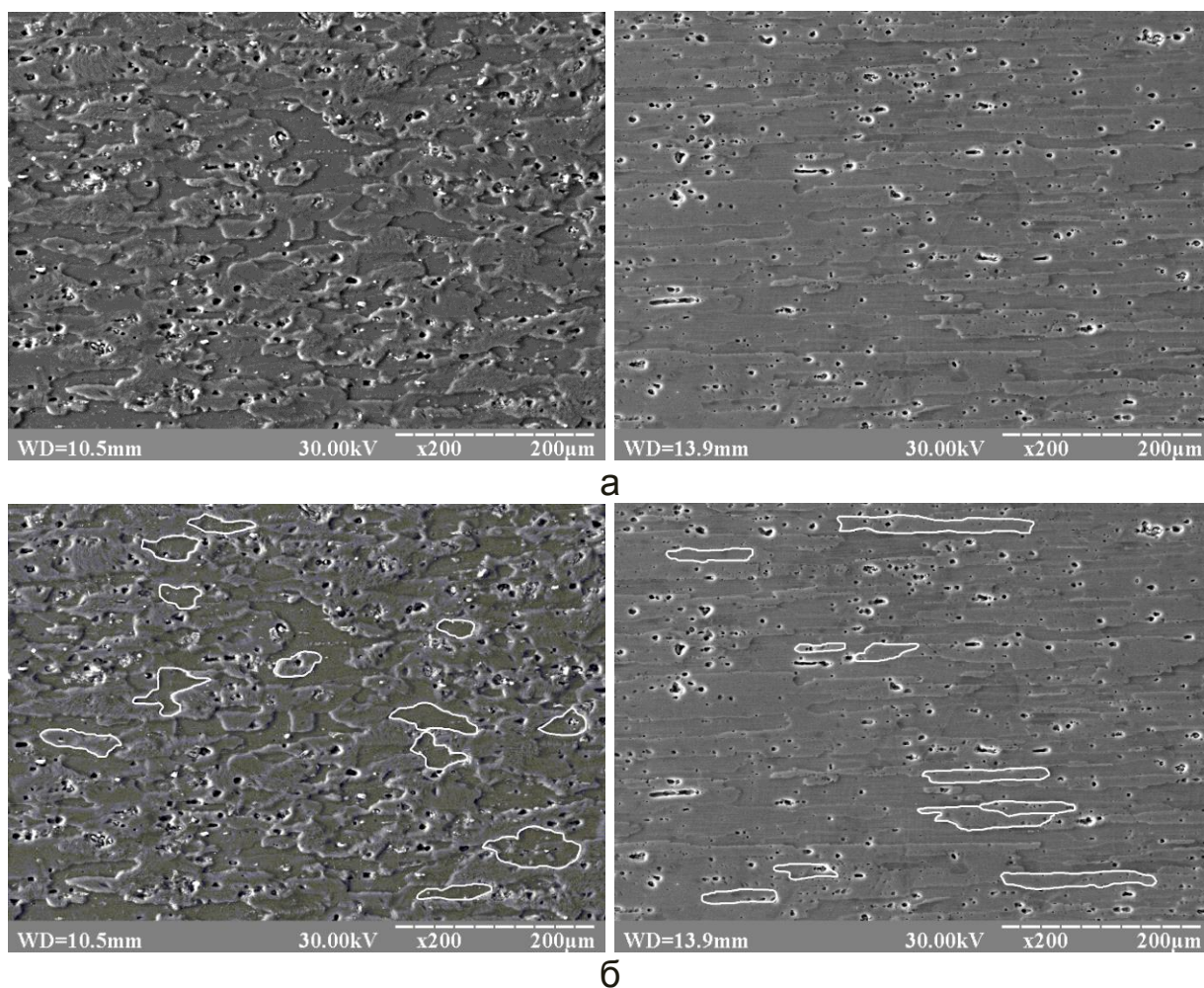


Рисунок 3 – Изображения структуры сплава Д16Т и В95Т2, полученные с помощью растрового электронного микроскопа

Как видно из рис. 3, в исследуемых материалах значительная часть зерен имеет явно продолговатую форму. Поэтому определение величины зерен согласно ГОСТам [9, 10] не проводилось, так как в них предполагается, что форма зерна близка к круглой, что приводит к существенной погрешности.

В табл. 1 для примера представлены результаты определения величины зерен с помощью указанных выше способов для листов материала Д16Т разной толщины.

Таблица 1 – Средний размер зерен сплава Д16Т
для листов разной толщины

Толщина листа, мм	Средний размер зерен, мм		
	Первый способ (ГОСТ 21073.1-75)	Второй способ (ГОСТ 21073.4-75)	Третий способ
2	0,03	0,03	0,02
5	0,03	0,05	0,04
6	0,05	0,06	0,05
8	0,08	0,08	0,06

Первый способ не позволяет достаточно точно определить отличие в размерах малых зерен, поэтому ниже приводятся результаты средних значений размера зерен по второму и третьему способам.

Ранее установлено [3], что существует зависимость среднего размера зерен от толщины листа для сплава Д16Т. Проведенные дополнительные исследования однозначно показали, что такая зависимость существует и для сплава В95Т2. Полученные зависимости среднего размера зерен от толщины листа для сплавов Д16Т и В95Т2 показаны на рис. 4. Важно отметить, что отличие размера зерен для разных листов одной толщины не больше чем отличие размеров, определенных разными способами для одного листа.

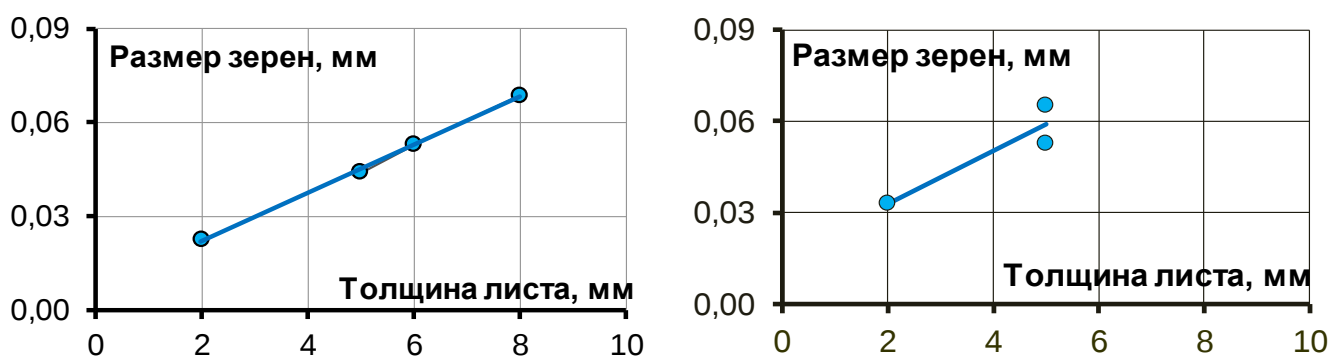


Рисунок 4 – Графики зависимости толщины листа от среднего размера зерен материала Д16Т и В95Т2

Таким образом, проведенные исследования показали, что зависимость среднего размера зерна от толщины листа не случайна, а существует и для ряда высокопрочных авиационных алюминиевых сплавов.

При исследовании сплава Д16Т не были рассмотрены кривые усталости и размеры зерен листов, имеющих одинаковую толщину [3]. Такой анализ проведен на примере сплава В95Т2. На рис. 5 показано сравнение кривых усталости гладких образцов из листов сплава В95Т2 одинаковой толщины 5 мм.

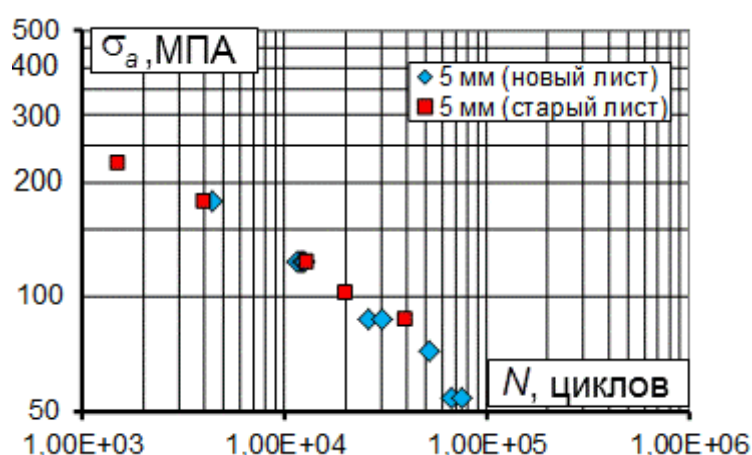
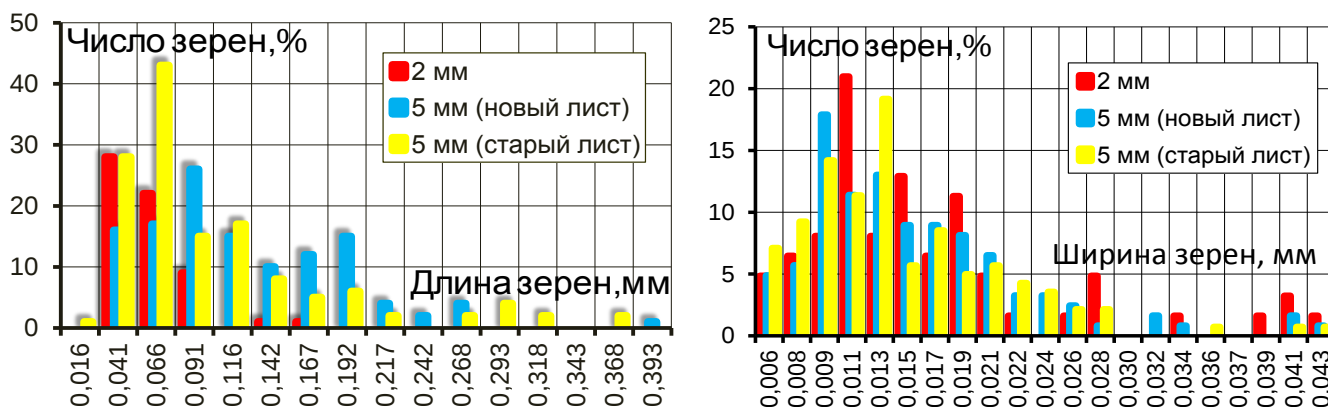


Рисунок 5 – Кривые усталости проушин из листов одной толщины материала В95Т2

Полученные результаты полностью подтверждают предположение о том, что листы одинаковой толщины, имеющие близкий размер зерен, обладают практически одинаковой усталостной прочностью.

Важно отметить, что форма зерен - явно продолговатая (рис. 3). Поэтому проведено подробное исследование изменения длины и ширины зерен в зависимости от толщины листа. Результаты исследования показаны на примере сплава В95Т2 (рис. 6)



а

б

Рисунок 6 – Графики зависимости числа зерен от их размера для В95Т2

Установлено, что значительно зависит от толщины листов только длина зерен, в то время как их ширина изменяется сравнительно мало. На рис. 7,8 показана частота повторений размеров длины зерен для разной толщины листов сплавов Д16Т и В95Т2.

Распределение длины имеет тот же характер, что и распределение среднего размера зерен [3] – с увеличением толщины листа увеличивается количество крупных зерен. Установлено, что в листах из сплава В95Т2 наблюдается качественно та же зависимость, что и в листах из Д16Т.

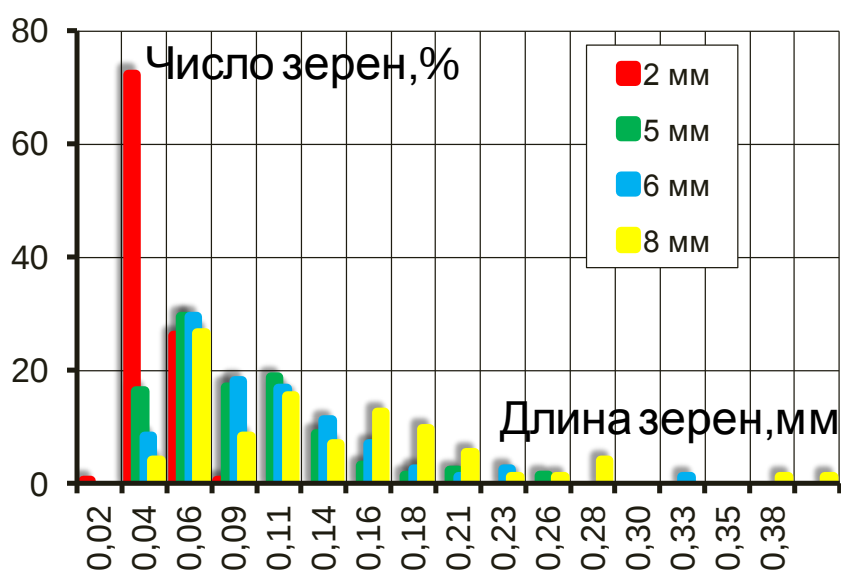


Рисунок 7 – График зависимости числа зерен от их размера для сплава Д16Т

Лист толщиной 2 мм содержит лишь малые длины зерен (наибольший размер около 0,1 мм). В то время как остальные листы содержат некоторое количество крупных зерен, особенно лист толщиной 8 мм (максимальный размер 0,4 мм). При этом лист толщиной 8 мм имеет наименьшее количество малых зерен. Рассмотрение листов с близкой толщиной (5 и 6 мм) показало, что лист толщиной 5 мм содержит большее количество малых зерен и меньшее количество крупных зерен. Однако, узнать, что именно влияет на отличие долговечности (присутствие редких крупных зерен или большая масса малых зерен) по данным такого исследования невозможно. Это определено с помощью исследования разных листов одинаковой толщины из сплава В95Т2.

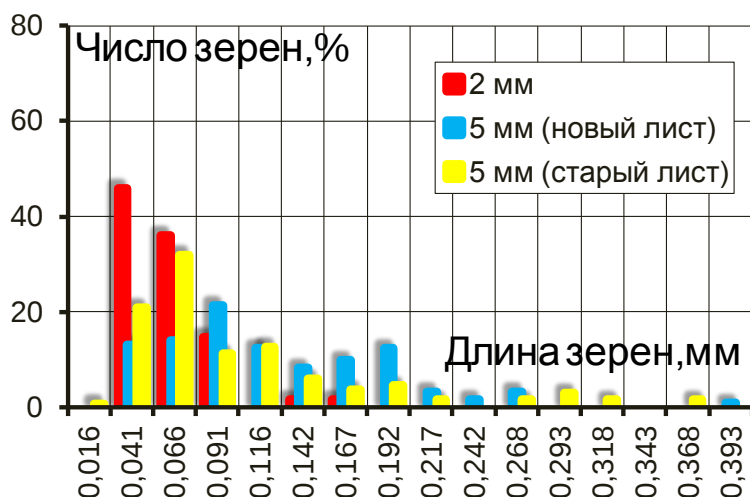


Рисунок 8 – График зависимости числа зерен от их размера для сплава В95Т2

Важно отметить, что листы толщиной 5 мм имеют разные распределения размеров зерен. Старый лист толщиной 5 мм имеет большее количество малых зерен, чем новый лист такой же толщины. Однако количество крупных зерен у обоих листов почти одинаковое. При этом, как было показано ранее, долговечность этих листов также подобна. Это позволяет предположить, что именно количество крупных зерен влияет на изменение долговечности и, что большее количество малых зерен не может компенсировать этого влияния.

Выводы

Ранее установлено [3], что существует зависимость среднего размера зерен от толщины листа для сплава Д16Т. Проведенные дополнительные исследования однозначно показали, что такая зависимость существует и для сплава В95Т2.

Таким образом, проведенные исследования показали, что зависимость среднего размера зерна от толщины листа не случайна, а существует для ряда высокопрочных авиационных алюминиевых сплавов.

Установлено, что с уменьшением толщины листа средний размер зерен в нем уменьшается, при этом значительно реже встречаются крупные зерна. В то же время в экспериментах [3] отмечено систематическое повышение долговечности в области многоциклового усталости (до двух и более раз) с уменьшением толщины листа.

Сравнение долговечности листов одинаковой толщины позволяет предположить, что именно количество крупных зерен в первую очередь влияет на изменение долговечности и, что большее количество малых зерен не может компенсировать этого влияния.

Важно отметить, что полученные размеры зерен во всех исследованных листах из обоих сплавов соответствуют требованиям регламентирующего документа, действующего в настоящее время [12]. Согласно [12] средний размер зерен для листов различной толщины должен не превышать 0,1...0,2 мм, а для исследованных листов он находится в диапазоне 0,025...0,07 мм.

Следует обратить внимание и на то, что все методы [7–11] определения размеров зерен для цветных металлов регламентируют определение среднего размера зерен, то есть предполагается, что форма зерен близка к круглой. Как было отмечено ранее, форма зерен явно продолговатая, из-за чего правомерность применения этих методов, именно в этих случаях, требует дополнительной оценки.

Таким образом, требуется проведение дальнейшего исследования взаимосвязи формы и размеров зерен с усталостной прочностью сплавов и, возможно, ужесточение требований нормативных документов к структуре алюминиевых сплавов для обеспечения меньшего рассеяния усталостных характеристик конструкционных материалов.

Список использованных источников

1. Когаев, В.П. Расчет на прочность при напряжениях, переменных во времени [Текст] / В.П. Когаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.
2. Отчет №1852-8 «Справочные данные по выносливости конструкционных самолетостроительных сплавов». Отделение №18 1977 г. Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского (ФГУП «ЦАГИ»).
3. Третьяков, А.С. Влияние размера зерен материала на долговечность образцов из листа алюминиевого сплава Д16Т при регулярном нагружении [Текст] / А.С. Третьяков, С.С. Завгородняя // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3 (79). – Х., 2014. – С. 32 – 43.
4. Влияние размера зерна в магниевом сплаве ZK60 на циклическую усталость при комнатной температуре [Текст] / А.В. Данюк, Д.Л. Меерсон, А.Ю. Виноградов, Д.В. Орлов // Вектор науки ТГУ. – Вып. 3. – 2013. – С. 148 – 152.
5. Davidson D. L., Tryon R.G., Oja M., Matthews R., Ravi Chandran K.S.: Fatigue crack initiation in WASPALOY at 20 °C. Metallurgical and Materials Transactions A 38A (2007). – P. 2214 – 2225.
6. Miao J., Pollock T. M., Jones J. W.: Microstructural extremes and the transition from fatigue crack initiation to small crack growth in a polycrystalline nickel-base superalloy. Acta Materialia 60 (2012). – P. 2840 – 2854.
7. ГОСТ 21073.0-75. Цветные металлы. Методы анализа. Общие требования. – Введ. 01.07.76. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 8 с.

8. ГОСТ 21073.1-75. Металлы цветные. Определение величины зерна методом сравнения со шкалой микроструктур. – Введ. 01.07.76. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 4 с.

9. ГОСТ 21073.2-75. Металлы цветные. Определение величины зерна методом подсчета зерен. – Введ. 01.07.76. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 4 с.

10. ГОСТ 21073.3-75. Металлы цветные. Определение величины зерна методом подсчета пересечений зерен. – Введ. 01.07.76. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 2 с.

11. ГОСТ 21073.4-75. Металлы цветные. Определение величины зерна планиметрическим методом. – Введ. 01.07.76. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 4 с.

12. ОСТ1 90070-92. Листы обшивочные из алюминиевых сплавов. – Технические условия. – Введ. 01.10.92. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 29 с.

13. ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. – Введ. 21.11.97. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 6 с.

Поступила в редакцию 25.04.2016.

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