

МИКРОПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА Д16АТ ПРИ СЛУЧАЙНОМ ПРОГРАММНОМ НАГРУЖЕНИИ

Национальный авиационный университет, s.yutskevych@bigmir.net

Изучен процесс эволюции микропластической деформации поверхности сплава Д16АТ при случайном программном нагружении. Показано, что для мониторинга пластического деформирования поверхностного слоя при случайном программном нагружении можно использовать подходы, применяемые для стационарного нагружения.

Введение. В основе проектирования современных авиационных конструкций заложен принцип безопасного повреждения, который допускает разрушение одного из основных силовых элементов или наличие существенного повреждения. При этом остаточная прочность конструкции должна оставаться на уровне не менее допустимого на протяжении интервала времени, в течение которого повреждение будет заведомо обнаружено. Для элементов авиационной конструкции наиболее характерным повреждением является усталостная трещина. В соответствии с принципом безопасного повреждения трещина не должна развиваться до критических размеров за период эксплуатации между осмотрами [1]. Однако для некоторых элементов конструкции сам факт появления трещины является недопустимым или доступ к месту образования трещины усложнен и может выполняться с малой периодичностью (например, при выполнении тяжелых форм регламентных работ). Эти факторы заставляют искать методы контроля, которые позволяют определять состояние материала на стадии до появления трещины. В качестве индикатора накопления повреждений можно использовать поверхностный слой, а оценку его состояния рассматривать как способ диагностирования усталостной поврежденности и исчерпания несущей способности конструкции в целом [2]. Такое поведение поверхностного слоя связано с тем, что процессы повреждаемости при усталости металлов, связанные с формированием и эволюцией дислокационной структуры, пластическим разрыхлением и разрушением интенсифицируются, именно на нем [3; 4].

Постановка задачи. Одним из основных конструктивных материалов, который используется в отечественной авиационной промышленности, является Д16АТ – листовый алюминиевый сплав с плакируемым технически чистым алюминием. Для поверхности этого материала характерны процессы локального пластического деформирования при циклическом нагружении на стадии до зарождения трещин [5; 6]. Выход дислокаций на поверхность с образованием ступенек и полос сдвига, экструзии и интрузии является определяющим фактором формирования топографии поверхности.

Использование интерференционного нанопрофилометра позволяет исследовать изменения микропластической деформации поверхности при усталости. В этой связи возникает задача, заключающаяся в определении возможности использования информации, полученной при сканировании, для обоснования критериев, характеризующих степень выработки ресурса конструкции [7].

Решение задачи. Объектом исследования являлись плоские образцы, изготовленные из листового сплава Д16АТ. В центральной части образца высверливали отверстие диаметром 4 мм, моделирующее отверстие под заклепку в конструкции обшивки. Участок поверхности образца, примыкающий к отверстию, полировали алмазной пастой зернистостью 3–4 мкм.

Особенностью нагружение образцов является то, что его проводили на сервогидравлической установке BiSS Bi00-202V, в архитектуре которой заложен принцип цифрового управления, обеспечивающий адаптивный контроль по нагрузке, что позволяет воссоздавать случайный спектр нагружения.

Известно, что наиболее надежным способом оценки усталостной долговечности элементов авиационных конструкций является экспериментальный метод программных усталостных испытаний, моделирующими эксплуатационные нагрузки.

Наиболее реалистично воспроизводят величины и последовательность нагрузок в эксплуатации программы испытаний со случайным спектром нагружения. Для работающих на растяжение элементов продольного набора крыльев транспортных самолетов такими программами являются, например, зарубежная «стандартизованная» программа TWIST и MiniTWIST [8]. Полетные блоки

нагрузок этих случайных программ испытаний представлены в таблице (параметры программы TWIST показаны в скобках). В данной работе описаны результаты, полученные по программе испытаний MiniTWIST.

Для работающих на растяжение элементов продольного набора крыльев транспортных самолетов такими программами являются, например, зарубежная «стандартизованная» программа TWIST и MiniTWIST [8]. Полетные блоки нагрузок этих случайных программ испытаний, представлены в таблице (параметры программы TWIST показаны в скобках). В данной работе описаны результаты, полученные по программе испытаний MiniTWIST.

Мониторинг изменения микропластических деформаций на поверхности материала осуществляли по двум прямоугольным площадкам размерами 225×170 мкм. Одна из площадок расположена вдоль центральной оси отверстия, другая – прилегала к первой. Для предотвращения влияния навалов, которые образуются при сверлении отверстия, зону контроля располагали на расстоянии 100 мкм от края отверстия (рис. 1).

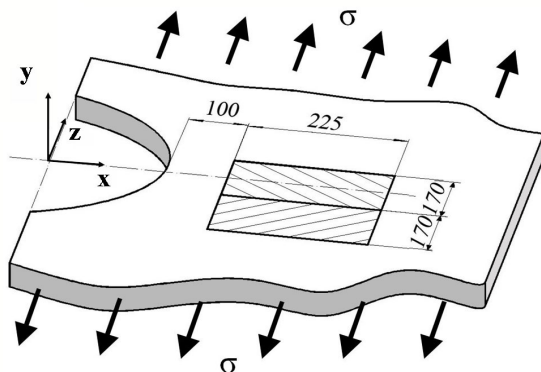


Рис.1. Схема расположения зоны контроля

При проведении усталостных испытаний регистрировали начальный рельеф до нагружения образца, а затем производили периодический контроль микропластической деформации после наработки одного блока, состоящего из 4 0000 полетов.

Изменение рельефа поверхности определяли по изменению площади поверхности контролируемой площадки. Площадь рас-

считывали по массиву данных (320×240 точек), полученных при сканировании поверхности профилометром. В каждой точке определяли значение высоты рельефа поверхности y_j (рис. 2). По значениям соседних y_j рассчитывали площади элементарных фигур – треугольников, на которые было разбито площадь зоны контроля. Площадь поверхности определяли суммированием площадей треугольников.

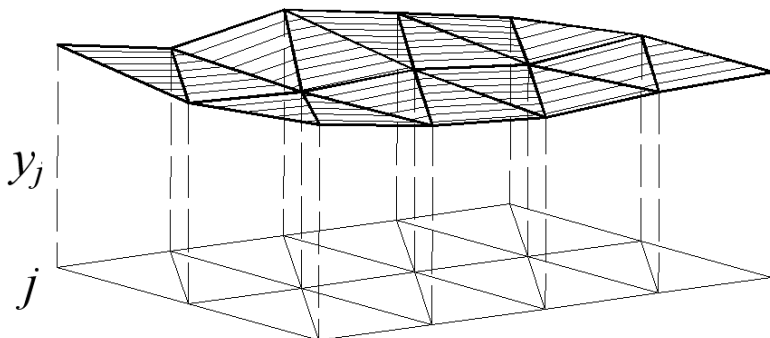


Рис.2. Схема измерения площади поверхности

Изменение площади поверхности $\Delta A = A - A_0$ относительно исходного значения A_0 можно описать необратимой пластической деформацией поверхности:

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta A}{A_0}. \quad (1)$$

Периодичность замера с шагом 4 000 полетов обусловлена тем, что за этот период происходит нагружение образца всеми 10 типами полета (от A до J , см. таблицу) [8].

Результаты, описывающие изменение необратимой пластической деформации с наработкой, приведены на рис. 3.

Для сопоставления результатов, полученных при различных нагрузках, использовали относительное значение наработки. Для образца, испытания которого проводились при напряжении 100 МПа, граничное состояние (появление трещины 0,5 мм) было достигнуто при значении $N=27\ 500$ полетов, для 80 МПа – при $N = 142\ 000$ полетов (рис.4, *a*).

Сопоставление результатов, полученных при случайном нагружении, показано на рис.4, *a*, и при стационарном – на рис.4, *б* [9].

Полетный блок нагрузок программы MiniTWIST и TWIST

Тип полета	Число полетов в блоке из 4 000 полетов	Номер и величина уровня амплитуды σ_{x_i}/σ_m										Полное число циклов за полет
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
		Число циклов за полет										
A	1	1	1	1	4	8	18	64	112	391 (391)	0(900)	600 (1 500)
B	1	1	1	2	5	11	39	76	76	385(366)	0(899)	520 (1 400)
C	3		1	1	2	7	22	61	61	286 (277)	0(879)	380 (1 250)
D	9			1	1	2	14	44	44	208(208)	0(680)	270 (950)
E	24				1	1	6	24	24	168(165)	0(603)	200 (800)
F	60					1	3	19	19	107(115)	0(512)	130 (650)
G	181						1	7	7	72 (70)	0(412)	80 (490)
H	420							1	1	16 (16)	23(233)	40 (250)
I	1090									1 (1)	4 (69)	5 (70)
J	2211										2 (25)	2 (25)
Полное число циклов в блоке из 4 000 полетов		1	2	5	18	52	152	800	4 170	34 800 (34 800)	18 442 (358 665)	
Суммарное число циклов в блоке из 4 000 полетов		1	3	8	26	78	230	1 030	5 200	40 000	58 442 (398 665)	

Выводы. При нагружении, имитирующем эксплуатационный спектр нагрузок, плакирующий слой конструкционного алюминиевого сплав Д16АТ подвергается интенсивному знакопеременному упругопластическому деформированию, подобному тому, который наблюдается при стационарном циклическом нагружении. Это дает возможность применять те же самые подходы для анализа изменения физико-механических характеристик материала, что и при стационарном нагружении [9].

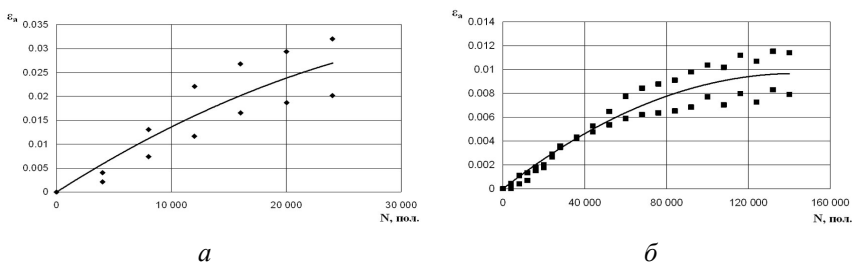


Рис. 3. Изменение необратимой пластической деформацией поверхности от количества циклов нагружения при σ : 100 МПа (а); 80 МПа (б)

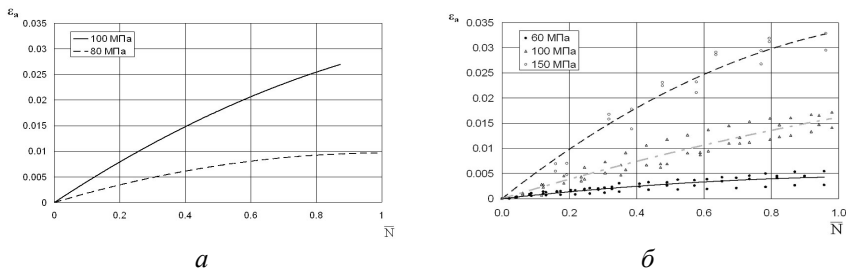


Рис. 4. Результаты зависимости $\varepsilon_a = f(\bar{N})$ получены для разных напряжений при случайном нагружении (а), стационарном нагружении (б)

Список литературы

1. Воробьев А.З. Сопротивление усталости элементов конструкций / А.З. Воробьев, Б.И. Олькин – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
2. Пат. № 29683 Україна, МПК G01N 3/32. Спосіб визначення залишкового ресурсу елементів конструкцій за станом деформаційного рельєфу поверхні плакуючого шару / Ігнатів С.Р., Карускевич М.В., Карускевич О.М.; Власник НАУ. – № 200709909; заявл. 04.09.2007; опубл. 25.01.2008, Бюл. № 2. – 3 с.

3. *Горицкий В.М.* Структура и усталостное разрушение металлов : монография / В.М.Горицкий, В.М.Терентьев – М.: Металлургия, 1980. – 208 с.

4. *Яковлева Т.Ю.* Локальная пластическая деформация и усталость металлов : монография – К.: Наук. думка, 2003. – 238 с.

5. *Головин С.А.* Микропластичность и усталость металлов : монография / С.А.Головин, А.Пушкар – М.: Металлургия, 1980. – 240 с.

6. *Кооперативные* деформационные процессы и локализация деформаций : монография / В.А.Лихачев [и др.]. – К.: Наук. думка, 1989 – 320 с.

7. *Игнатович С.Р.* Контроль качества поверхности деталей с использованием бесконтактного профилометра/ С.Р.Игнатович, И.М.Закиев, В.И.Закиев // Авиационно-космическая техника и технология: Вып. 8 (34) – Х.: ХАИ, 2006 – С. 20–22.

8. *Lowak H., De Jonge J. B., Franz J., Schutz D.* MiniTWIST. A shortened version of TWIST//NLR 73018U, 1979.

9. *Игнатович С.Р.* Эволюция деформационного рельефа плакированного слоя алюминиевого сплава Д16АТ при усталости / С.Р.Игнатович, М.В.Карускевич, С.С.Юцкевич, Т.П.Маслак // Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування: Праці конференції. – Тернопіль: Терноп. держ. техн. ун-т ім. Івана Пулюя, 2009 – С. 47–53.

УДК 620.179.1

Юцкевич С.С. **Мікропластичне деформування поверхні сплаву Д16АТ за випадкового програмного навантаження** // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2009. – Вип. 52. – С.85–91.

Вивчено процес еволюції мікропластичної деформації поверхні сплаву Д16АТ за випадкового навантаження. Показано, що для моніторингу пластичного деформування поверхневого шару за випадкового програмного навантаження можна використовувати підходи, застосовувані для стаціонарного навантаження.

Рис. 4, табл. 1, список лит.: 9 найм.

Yutskevych S. **Microplastic deformation of the surface of D16AT alloy at variable amplitude load program**

Evolution process microplastic deformation of the surface of D16AT alloy is studied at variable amplitude load program. It is shown that for monitoring of plastic deformation of a blanket at variable amplitude load program it is possible to use the approaches applied for stationary load.

Стаття надійшла до редакції 28.10.09.