

А. В. Блохин, ассистент; С. Е. Бельский, доцент; Ф. Ф. Царук, доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПО ИЗМЕНЕНИЮ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМЫ

The article reveals the influence of test base on resonance frequency change of vibration system. The possibility to determine the level of aluminum alloys cyclic damage has been given.

Работа большинства ответственных деталей машин, механизмов, элементов инженерных конструкций связана с сочетанием статических, динамических и циклических нагрузок. Известно, что значительная часть выходов их из строя вызвана усталостным разрушением. Поэтому создание высоконадежных конструкций, работающих в условиях вибрационных нагрузок, связано как с разработкой и внедрением новых конструкционных материалов, так и с использованием в прочностных расчетах уточненных характеристик усталости. Для исследования эволюции процессов, происходящих по мере накопления усталостного повреждения и способов их описания, необходим большой объем экспериментальных данных. Высокая трудоемкость и энергоемкость усталостных испытаний, особенно при больших базах, делает целесообразным увеличение частоты испытаний. Возможность успешного использования высокочастотного нагружения для прогнозирования низкочастотной усталости показана в [1, 2].

Для возбуждения колебаний в образцах на высоких частотах весьма эффективно использовать установки, основным узлом которых явля-

ется магнитострикционный преобразователь [3]. Испытания на таких установках основаны на создании резонанса в системе преобразователь – концентратор – образец. Изменение микроструктуры испытуемого материала в процессе накопления усталостного повреждения приводит к выходу системы из резонанса, что не позволяет поддерживать приемлемый уровень напряжений в опасном сечении образца, в результате чего отсутствует его физическое разрушение после достижения предела выносливости. Для решения этой проблемы проведены исследования, целью которых было установление зависимости между изменением резонансной частоты колебаний системы и относительного числа циклов.

Испытаниям подвергались следующие алюминиевые сплавы: Д16, АМг2Н и литейный сплав типа АЛ4, полученный из вторичного сырья. Плавка литейного сплава проводилась под покрывным флюсом с продувкой расплава рафинирующим флюсом. Химический состав материалов и режимы термообработки приведены в табл. 1. Механические характеристики исследованных материалов определялись в соответствии с [4] и приведены в табл. 2.

Таблица 1

Химический состав материалов и режимы их термообработки

Материал	Содержание элементов											Режимы термообработки
	Mg	Fe	Si	Mn	Cu	Ti	Ni	Al	Zn	Pb	Sn	
Д16	1,6	0,50	0,33	0,72	3,85	0,07	–	92,95	–	–	–	T = 643°K, выдержка 6 ч, охлаждение с печью
АМг2Н	1,80	0,32	0,28	0,38	0,07	0,03	–	97,12	–	–	–	T = 643°K, выдержка 6 ч, охлаждение с печью
Литейный сплав (типа АЛ4)	0,33	0,98	10,33	0,23	2,65	0,03	0,13	84,27	0,87	0,10	0,04	Термообработка T5

Таблица 2

Механические характеристики исследованных материалов

Материал	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{Т}$, МПа	δ , %	ψ , %	E, МПа
Д16	255	138	6	34	$0,72 \cdot 10^{11}$
АМг2Н	215	151	11	69	$0,73 \cdot 10^{11}$
Литейный сплав (типа АЛ4)	117	–	1,0	–	$0,73 \cdot 10^{11}$

Образцы для усталостных испытаний в условиях циклического изгиба представляли собой балочки прямоугольного сечения 2×6 мм (см. рис. 1). После термообработки, с целью снятия верхнего дефектного слоя и получения необходимой величины шероховатости ($Ra=0,25$ мкм), рабочие поверхности образцов подвергали электролитическому полированию [5].

Проведение усталостных испытаний в автоколебательном режиме позволяло производить регистрацию изменения резонансной частоты колебания системы. Для контроля текущей частоты колебаний системы использовал-

ся цифровой частотомер типа ЧЗ-35, позволявший с достаточной точностью определять динамику ее изменения. Данное обстоятельство особенно существенно при проведении высокочастотных испытаний, когда относительное падение частоты колебаний непосредственно перед разрушением составляет всего лишь доли процента.

По результатам эксперимента были получены зависимости изменения резонансной частоты колебаний системы от относительного числа циклов на различных частотах нагружения, которые приведены на рис. 2, 3.

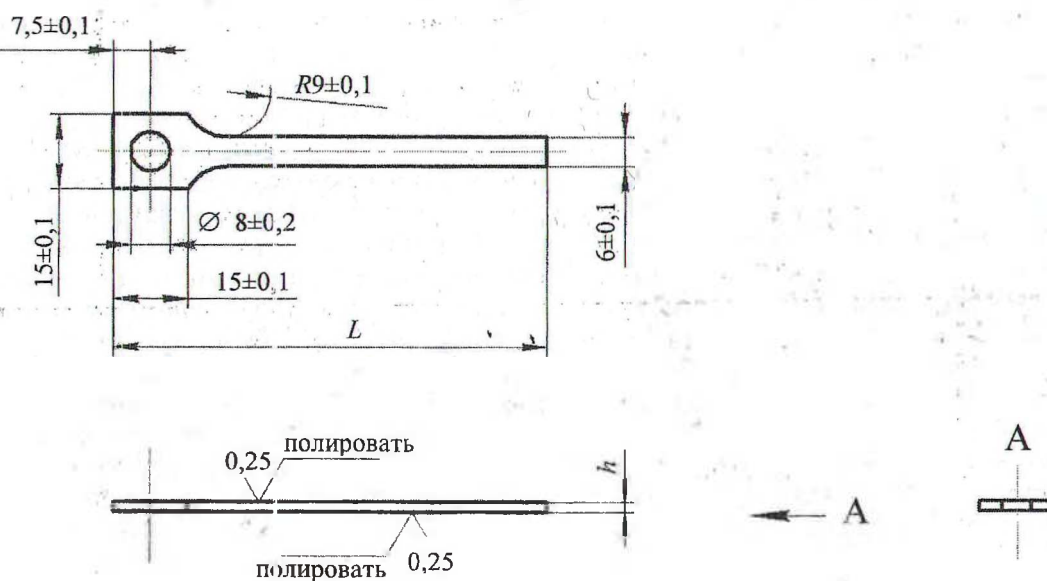


Рис. 1. Образцы для усталостных испытаний

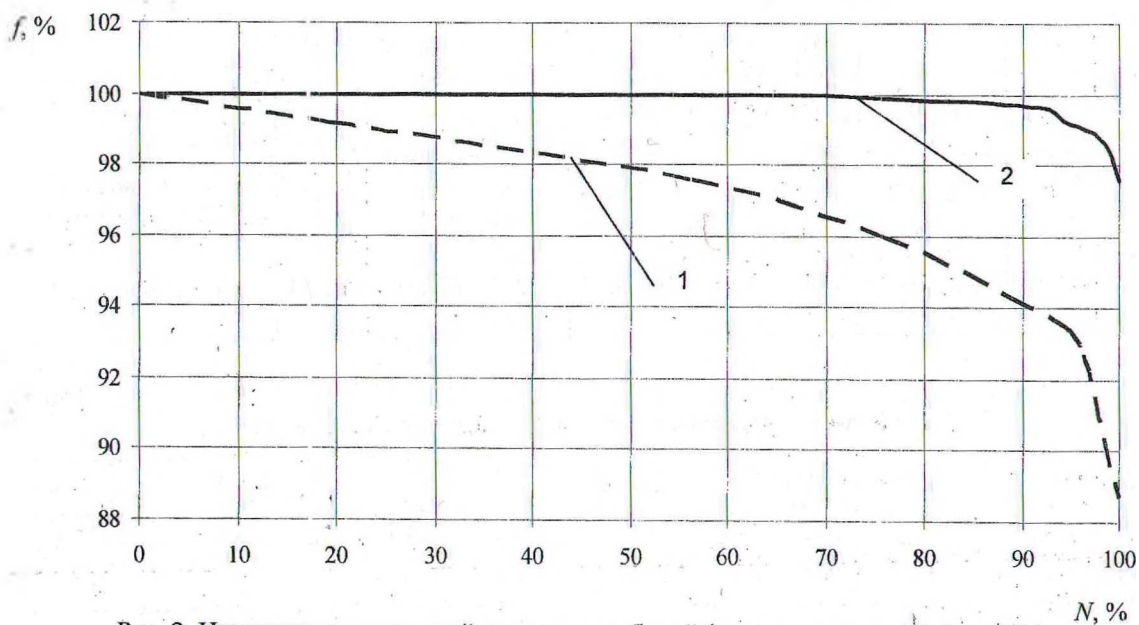


Рис. 2. Изменение резонансной частоты колебаний (частота испытаний 0,3 кГц):
1 – сплав типа АЛ4; 2 – АМг2Н

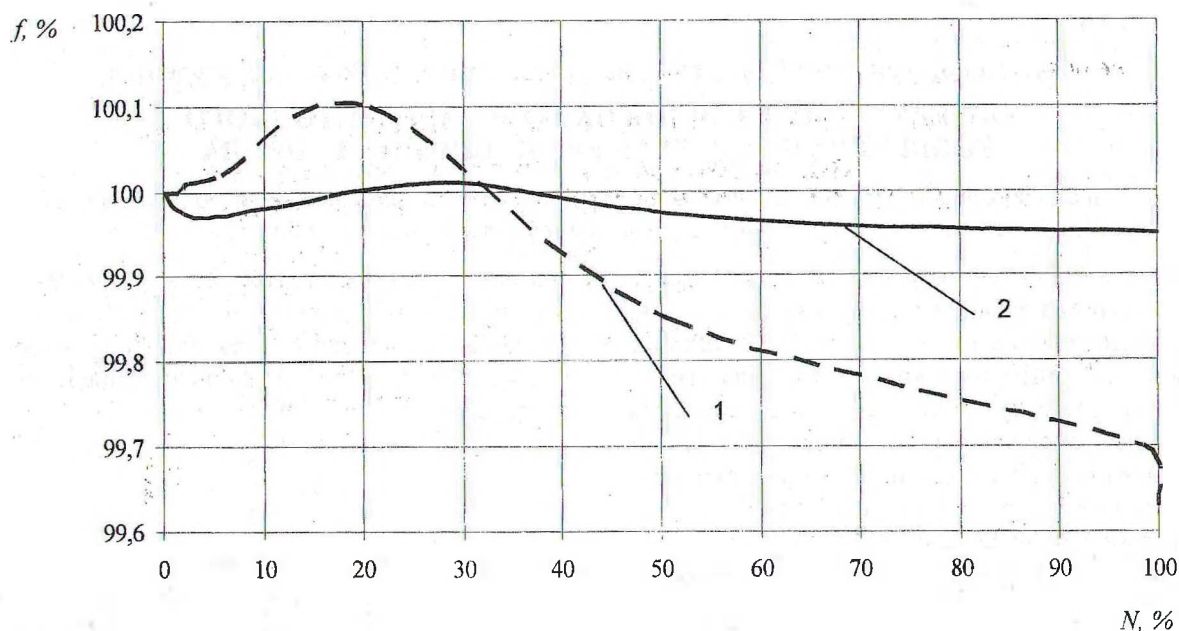


Рис. 3. Изменение резонансной частоты колебаний (частота испытаний 18 кГц):
1 – сплав типа АЛ4; 2 – Д16

Анализ зависимостей показывает, что с ростом суб- и микроскопических, а затем и макроскопических трещин усталости происходит уменьшение жесткости испытываемой модели и снижение собственной частоты колебаний системы, так как ее общая добротность в основном определяется добротностью образца.

Как видно из приведенных данных, значительная часть времени нагружения (до 60% и более) для отожженных образцов, выполненных из сплавов Д16 и АМг2Н, характеризуется приблизительно стабильной частотой колебаний. Т. е. в этих условиях возникающие в материале структурные искажения и микротрещины не оказывают существенного влияния на резонансные характеристики системы. Далее по мере развития и слияния микротрещин в одну или несколько магистральных трещин влияние их на геометрические характеристики (площадь поперечного сечения неповрежденной части, момент ее сопротивления) резко возрастает, что и проявляется в резком падении частоты колебаний. В то же время для литейного сплава наблюдается устойчивое снижение резонансной частоты колебаний почти с самого начала испытаний. Это можно объяснить более сложной начальной микроструктурой, наличием большого количества макродефектов, свойственных материалам, полученным литьем, поэтому начало роста и развитие микротрещин, оказывающих влияние на геометрические параметры модели, проявляются на более ранних стадиях.

При равенстве геометрических параметров образцов данное обстоятельство позволяло контролировать достижение необходимой сте-

пени повреждения образцов по относительной площади усталостного разрушения на изломе (отношение площади усталостной трещины к площади поперечного сечения образца) для разных частот колебаний. Использование такого подхода позволяет уменьшить разброс результатов испытаний за счет правильного выбора критерия момента разрушения.

Литература

1. Dovgyallo I., Tsaruck F., Dolbin N., Dovgyallo A. Estimation of influence of frequency of flexural vibrations of structural sensitive characteristics of 20x13 steel // The 4 Th. International Symposium on Creep and Coupled Processes. – Bialostok. 1992. – P. 57 – 63.
2. Довгьялло И. Г., Царук Ф. Ф., Новицкий А. В., Рудченко Д. Н. Влияние высокочастотных колебаний на изменение усталостных характеристик сплава АМг2 в условиях повышенных температур // Труды БГТУ. Серия II. Лесная и деревообаб. пром-сть. – Мн: БГТУ, 1999. – Вып. 7. – С. 145–148.
3. Блохин А. В., Царук Ф. Ф., Гайдук Н. А. Комплекс оборудования для усталостных испытаний элементов технологического оборудования // Труды БГТУ. Серия II. Лесная и деревообаб. пром-сть. – Мн., 2002. – Вып. X. – С. 213–215.
4. ГОСТ 1497-84 Металлы. Методы испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 42 с.
5. Баранова П. В., Демина Э. Л. Металлографическое травление металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1981. – 256 с.