

УДК 620.178.3:537.39

Канд. фіз.-мат. наук Правда М. І., Сейдаметов С. В.

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

УПОВІЛЬНЕННЯ РОЗВИТКУ ВТОМИ В АЛЮМІНІЇ ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Мета роботи. Дослідити процес розвитку втоми металів в умовах пропускання через них постійного електричного струму.

Методи дослідження. Для дослідження розвитку втоми в алюмінії під впливом електричного струму використовувалася методика випробувань металів на симетричний знакозмінний вигин.

Отримані результати. Проведені випробування на симетричний знакозмінний вигин зразків з алюмінію технічної чистоти в умовах пропускання через зразок постійного електричного струму та без нього. Виявлено, що пропускання струму через зразок сприяє уповільненню розвитку втоми металу.

Наукова новизна. Запропонований механізм збільшення довговічності зразків з алюмінію при випробуваннях на симетричний знакозмінний вигин в умовах пропускання через зразок постійного електричного струму. Збільшення довговічності пов'язано з релаксацією дефектної структури при проходженні через зразок постійного електричного струму внаслідок перебудови кристалічної решітки, в результаті чого відбувалося деяке уповільнення розвитку втоми металу.

Практична цінність. Отримані результати уповільнення розвитку втоми в алюмінії під впливом електричного струму дозволяють використовувати електричний вплив для збільшення довговічності та ресурсу деталей машин та конструкцій.

Ключові слова: випробування на вигин, втома металу, електронний газ, електричний струм, алюміній технічної чистоти.

Вступ

Під втомою металу розуміють процес поступового накопичування пошкоджень в ньому під впливом циклічних навантажень, що призводить до утворення тріщин в томи, їх розвитку і остаточного руйнування зразка або деталі. Всебічне дослідження явища втоми є важливим науковим та технічним завданням, тому що, як показує практика, більшість випадків руйнувань деталей машин та конструкцій відбувається саме через втому матеріалу.

Згідно з сучасними уявленнями природа зв'язку у металах пов'язана з великою концентрацією у кристалах металу електронів провідності, так що від'ємно заряджений «електронний газ» утримує позитивно заряджені іони кристалічної решітки на певних відстанях один від одного. Це означає, що перебудови кристалічної решітки, які мають місце, зокрема, і при втомі, повинні впливати на стан електронного газу та змінювати його параметри. Про те що такий вплив дійсно існує, свідчать результати низки робіт, зокрема роботи [1–3], в яких йдеться про те, що в ділянці зародження та розвитку тріщин в томи спостерігаються зменшення роботи виходу електронів – важливого параметру електронного газу.

Беручи до уваги наведене вище, можна очікувати, що при певному впливі на стан електронного газу в металі в той чи в інший спосіб, наприклад при пропусканні через зразок електричного струму, буде змінюва-

тись і протікання процесів перебудови кристалічної решітки, яка має місце при втомі металу. Перші результати щодо електромагнітного впливу на розвиток втоми металу було опубліковано в роботі [4].

Матеріали і методи

В цій роботі досліджувався вплив сталого електричного струму на розвиток втоми в алюмінії технічної чистоти. Зразки мали вигляд камертону (рис. 1) із утвореним шляхом фрезерування прямокутним концентратором напружень, в якому гарантовано зароджувалися та розвивалися тріщини в томи.

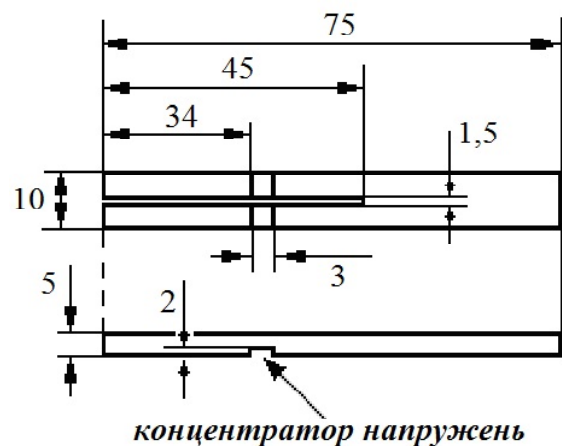


Рис. 1. Зразки для випробувань на втому (розміри у мм)

Після фрезерування подальша обробка зразків полягала у наступному: механічна обробка поверхні до 8-го класу чистоти; хімічне травлення у 30 % водному розчині H_2SO_4 при температурі 40 °С протягом 15 хв; вакуумний (при тиску $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.) відпал при температурі 330 °С упродовж 2 год.

Експерименти

Зразки випробовувалися на симетричний знакозмінний вигин за допомогою установки, принципова схема якої зображена на рис. 2. Синусоїдальний сигнал генератора 1 посилювався посилювачем 2 та живив вібростенд 3, в ізолюючих затискувачах 4 якого закріплювався зразок 5.

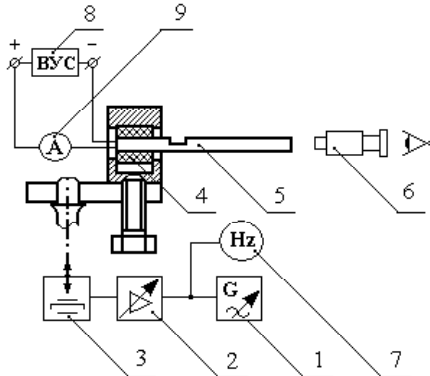


Рис. 2. Принципова схема експериментальної установки (позначення у тексті)

Амплітуда коливань вимірювалась за допомогою мікроскопа 6. Частота коливань зразка контролювалась частотоміром 7 з точністю не гірше 1 Гц. Причому в процесі випробувань на втому через зразок від джерела 8 можна було пропускати електричний струм, сила якого вимірювалась амперметром 9.

Партія із десяти однакових зразків була поділена на дві групи по п'ять зразків в кожній. Перша партія випробовувалася на втому без пропускання електричного струму, а друга партія випробовувалася на втому за тих самих умов, але із пропусканням через зразок постійного струму силою 10 А. Початкові резонансні частоти ν_0 у різних зразків дещо відрізнялись одна від одної і коливались у межах 1100–1350 Гц. Кожен зразок було випробувано до руйнування при однаковій для всіх зразків амплітуді коливань. У якості критерія руйнування було вибрано падіння резонансної частоти коливань

на 10 % від початкового значення, що приблизно становило 150 Гц. На всіх зразках саме в ділянці концентратора напруги утворились тріщини втоми.

Результати і обговорення

Характерною особливістю розвитку втоми в алюмінії є повільне і безперервне зменшення резонансної частоти коливань зразка практично із самого початку випробувань (рис. 3), якщо, звичайно, амплітуда коливань і, відповідно, напруження у поверхневих шарах матеріалу є достатніми для «запуску» втомних процесів. Відрізнити стадію зародження тріщини втоми в алюмінії від стадії її розвитку досить важко, і резонансна частота є практично єдиним інтегральним індикатором протікання втомних процесів. Результати випробувань, представлені у табл. 1, виявили наступне. Середня кількість циклів навантаження до того, як резонансна частота коливань зразку зменшиться на 10 % у першій партії зразків, які випробовувалися без пропускання струму дорівнювала: $N_{cp} = 3,6 \cdot 10^6$. Аналогічна середня кількість циклів навантаження для другої партії зразків, які випробовувались із пропусканням через зразок струму, відповідно, дорівнювала: $N_{cp} = 7,0 \cdot 10^6$.

На рис. 3 представлені порівняльні графіки залежності резонансної частоти коливань від кількості циклів навантаження для двох зразків із близькими початковими резонансними частотами, один із яких випробовувався без пропускання через нього струму (№ 10), а другий (№ 11) – зі струмом.

Із графіків видно, що у другому випадку падіння резонансної частоти є більш повільним. Таким чином можна припустити, що пропускання струму через зразок під час його випробувань дещо уповільнює розвиток втоми в металі.

На рис. 3 представлені порівняльні графіки залежності резонансної частоти коливань від кількості циклів навантаження для двох зразків із близькими початковими резонансними частотами, один із яких випробовувався без пропускання через нього струму (№ 10), а другий (№ 11) – зі струмом.

Із графіків видно, що у другому випадку падіння резонансної частоти є більш повільним. Таким чином можна припустити, що пропускання струму через зразок під час його випробувань дещо уповільнює розвиток втоми в металі.

Таблиця 1 – Результати випробувань на втому алюмінію

Без струму			Зі струмом		
№ зразку	ν_0 , Гц	$N \cdot 10^6$	№ зразку	ν_0 , Гц	$N \cdot 10^6$
2	1200	3,7	4	1252	7,1
3	1346	4,7	6	1264	5,3
7	1346	2,3	8	1112	7,9
9	1185	5,3	11	1260	3,6
10	1257	2,1	12	1275	9,1
–	–	$N_{cp} = 3,6 \cdot 10^6$	–	–	$N_{cp} = 7,0 \cdot 10^6$

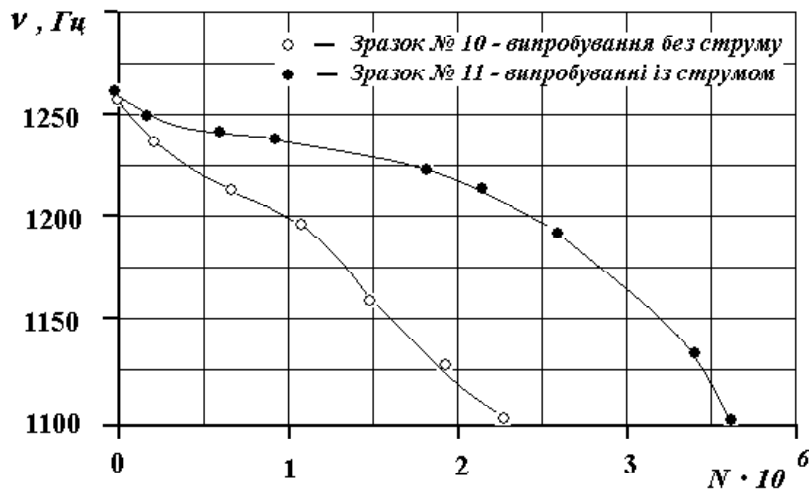


Рис. 3. Зменшення резонансної частоти під час випробувань на втому

Отримані результати добре узгоджуються із даними роботи [5], де було виявлено збільшення довговічності зразків, виготовлених із титанового сплаву ОТ4-1 при пропусканні через зразок імпульсного електричного струму за допомогою високовольтної дуги.

Висновки

В результаті випробувань на симетричний знакозмінний вигин було виявлено збільшення довговічності зразків із алюмінію технічної чистоти при пропусканні через них постійного електричного струму, ніж без нього. Виявлене зростання довговічності, ймовірно, пов'язано з релаксацією дефектної структури при проходженні через зразок постійного електричного струму внаслідок перебудови кристалічної решітки, в результаті чого відбувалось деяке уповільнення розвитку втоми металу.

Подяки

Автори висловлюють подяку доц. каф. фізики ЗНТУ Маньку В.К. за допомогу у підготовці зразків для випробувань на втому.

Список літератури

1. Levitin V. V. Influence of cyclic stresses upon the electronic work function for the metal surface / V. V. Levitin, S. V. Loskutov, M. I. Pravda and etc. // Solid State Communications. – 1994. – Vol. 92, № 12. – P. 973–976.
2. Левітін В. В. Прогнозування розвитку втоми металів в металевих матеріалах вимірюванням роботи виходу електронів / В. В. Левітін, М. І. Правда, С. В. Лоскутов // Металознавство та обробка металів. – 1995. – № 2. – С. 37–40.
3. Levitin V. V. Work function for fatigue tested metals / V. V. Levitin, S. V. Loskutov, M. I. Pravda [and other] // Nondestr. Test. Eval. – 2001. – Vol. 17. – P. 79–89.
4. Лоскутов С. В. Влияние поверхностного электрического заряда на характеристики циклического деформирования металла / С. В. Лоскутов, М. И. Правда // Новые материалы і технології в металургії та машинобудуванні. – 2006. – № 1. – С. 21–23.
5. Правда М. И. О влиянии импульсного электрического тока на сопротивление усталости металла / М. И. Правда // Вісник СевНТУ. – 2010. – Вип. 107. – С. 183–184.

Одержано 15.06.2018

Правда М.И., Сейдаметов С.В. Замедление развития усталости в алюминии под воздействием электрического тока

Цель работы. Исследовать процесс развития усталости металлов в условиях пропускания через них постоянного электрического тока.

Методы исследования. Для исследования развития усталости в алюминии под воздействием электрического тока использовалась методика испытаний металлов на симметричный знакопеременный изгиб.

Полученные результаты. Проведены испытания на симметричный знакопеременный изгиб образцов из алюминия технической чистоты в условиях пропускания через образец постоянного электрического тока и без него. Обнаружено, что пропускание тока через образец способствует замедлению развития усталости металла.

Научная новизна. Предложен механизм увеличения долговечности образцов из алюминия при испытаниях на симметричный знакопеременный изгиб в условиях пропускания через образец постоянного электрического тока. Увеличение долговечности связано с релаксацией дефектной структуры при прохождении через образец постоянного электрического тока в результате перестройки кристаллической решетки, в результате чего происходило некоторое замедление развития усталости металла.

Практическая ценность. Полученные результаты замедления развития усталости в алюминии под воздействием электрического тока позволяют использовать электрическое воздействие для увеличения долговечности и ресурса деталей машин и конструкций.

Ключевые слова: испытания на изгиб, усталость металла, электронный газ, электричество, алюминий технической чистоты.

Pravda M., Seidametov S. Slow down fatigue development in aluminum under the influence of electric current

Purpose. To study the process of development of metal fatigue under the conditions of passing a permanent electric current through them.

Methods of research. To study the development of fatigue in aluminum under the influence of electric current, the method of testing metals for symmetric alternating bending was used.

Results. Tests for symmetric alternating bending of samples made of technical purity aluminum under conditions of passing a direct electric current through the sample and without it were conducted. It was found that the current flow through the sample helps to slow the development of metal fatigue.

Scientific novelty. A mechanism for increasing the durability of aluminum specimens during tests on symmetric alternating bending under conditions of passing a permanent electric current through the sample is proposed. The increase in durability is associated with the relaxation of the defective structure when a direct electric current passes through the sample as a result of the restructuring of the crystal lattice, as a result of which there has been a slight slowdown in the development of metal fatigue.

Practical value. The obtained results of slowing the development of fatigue in aluminum under the influence of electric current make it possible to use electric influence to increase the durability and resource of machine parts and structures.

Key words: bending tests, metal fatigue, electronic gas, electricity, technical grade aluminum.
