

УДК 620.178.3: 669.187.56

**Канд. техн. наук Е. Н. Парахневич, канд. техн. наук Г. А. Бялик,
д-р техн. наук В. В. Лунев, канд. техн. наук С. И. Адамчук**

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОВ НА МАЛОЦИКЛОВУЮ УСТАЛОСТЬ

Разработано и установлено на машину ИП-2М специальное видеоконтрольное устройство, предназначенное для наблюдения за процессами зарождения и распространения трещин непосредственно в ходе испытаний на малоцикловую усталость. Построили зависимости малоцикловой усталости от количества наплавов. Показано, что с увеличением количества восстановлений происходит повышение выносливости металла основы по малоцикловой усталости.

Ключевые слова: малоцикловая усталость, механические свойства, образец, термическая обработка, зона сплавления.

Большинство деталей современных машин и механизмов функционирует в условиях циклических нагрузок. Поэтому, кроме обычных показателей статической прочности и пластичности металлических материалов (временное сопротивление разрыву σ_B , предел текучести σ_T , относительное удлинение δ , относительное сужение ψ), необходимо учитывать выносливость — способность сопротивляться усталостному разрушению. Количественным показателем выносливости является предел выносливости σ_{-1} [1].

Предел выносливости определяют в процессе испытаний образцов на специальных машинах. Напряжения в образце обычно не превышают предел текучести. Однако, ряд деталей машин работает в жестких условиях циклического нагружения, при которых напряжения в металле могут превышать предел текучести. Это нештатные ситуации, периодически возникающие в процессе эксплуатации транспортных средств: самолетов, автомобилей, железнодорожного транспорта.

Основным качественным показателем металла в этом случае является малоцикловая выносливость, критерием — количество циклов напряжений, которое выдерживает образец до появления макротрещины в процессе испытаний.

Наибольшее распространение, в настоящее время, получил метод испытаний на малоцикловую усталость (МЦУ) с жесткой нагрузкой в условиях чистого изгиба (ГОСТ 25.505—85).

Для проведения таких испытаний часто используется испытательная машина ИП-2М конструкции Физико-механического института НАН Украины. При этом применяют стандартный плоский образец.

Если на поверхности рабочей зоны образца приготовить металлографический шлиф, можно

наблюдать процессы зарождения и распространения трещины. Для этого, образец периодически через определенное количество циклов необходимо снимать с машины и изучать под металлографическим микроскопом.

Однако такая методика имеет следующие недостатки:

1. Периодичность изучения образца на микроскопе не позволяет с достаточной точностью выявить момент зарождения трещины.
2. Многократная переустановка образца может нарушить условия проведения испытаний.
3. Существенно возрастает время проведения испытаний.

Указанные недостатки могут быть устранены при установке видеоконтрольного устройства для наблюдения за процессом зарождения и распространения трещин непосредственно на испытательную машину ИП-2М.

В Запорожском национальном техническом университете было разработано и установлено на машину ИП-2М специальное видеоконтрольное устройство, предназначенное для наблюдения за процессами зарождения и распространения трещин непосредственно в ходе испытаний на малоцикловую усталость.

Видеоконтрольное устройство (рис. 1) состоит из объектива 1, опак-иллюминатора 2, светодиодного осветителя 3, WEB-камеры 4, соединенной с компьютером 5. Устройство жестко закреплено на станине машины 6 с помощью опорной стойки 7 и горизонтального кронштейна 8. Реечно-кремальерное устройство 9 предназначено для фокусировки видеоконтрольного устройства относительно образца 10.

В устройстве видеоконтроля использована WEB-камера Genius (разрешающая способность при фотографировании 1280×960 пикселей, при

видеосъемке – 640×480 пикселей). Объектив видеокамеры необходимо удалить. Резьба объективного гнезда видеокамеры используется для соединения при помощи переходного кольца с опак-иллюминатором, создающим эффект лобового освещения образца. В данном устройстве использовали опак-иллюминатор от металлографического микроскопа МВТ. Объектив И90У с фокусным расстоянием 75 мм присоединяется с помощью переходного кольца к объективному гнезду опак-иллюминатора. Видеоконтрольное устройство с указанным объективом позволяет наблюдать центральную часть образца размером 6×10 мм.

Разрешающая способность объектива И90У при апертуре 0,15 составляет 5 мкм и соответствует разрешающей способности WEB-камеры в режиме фотографирования.

При необходимости применения для видеоконтроля больших увеличений используются микрообъективы, которые вворачиваются непосредственно в объективное гнездо опак-иллюминатора. Однако поле зрения при этом существенно уменьшается.

Управление видеоконтрольным устройством осуществляется при помощи компьютера, с использованием программного обеспечения WEB-камеры. Возможны непрерывная видеосъемка образца с частотой 30 и 15 кадров/с или покадровое фотографирование.

Разработанное видеоконтрольное устройство использовали при определении предела выносливости образцов, вырезанных из карданного вала электровоза ЧС-8, восстановленного электрошлаковым методом [2]. Фотографии с распространением трещины в плоском образце приведены на рис. 2.

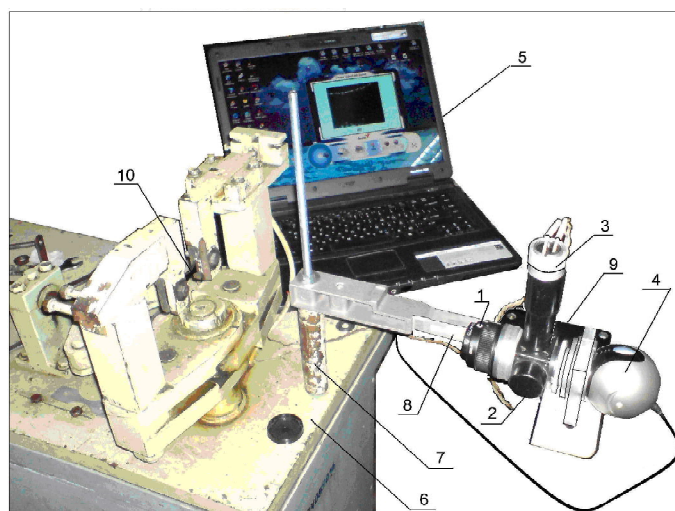


Рис. 1. Видеоконтрольное устройство, установленное на машине для испытаний на малоцикловую усталость ИП-2М: 1 – объектив; 2 – опак-иллюминатор; 3 – светодиодный осветитель; 4 – WEB-камера; 5 – компьютер; 6 – станина установки ИП-2М; 7 – опорная стойка; 8 – горизонтальный кронштейн; 9 – речечно-кремальерное устройство; 10 – образец

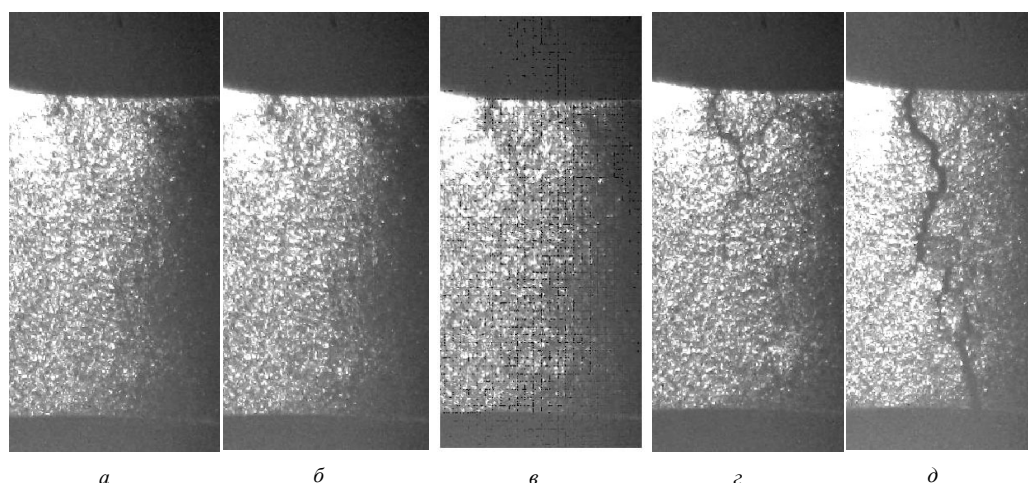


Рис. 2. Распространение трещины в образце, вырезанном из карданного вала электровоза ЧС-8, в процессе испытаний на малоцикловую усталость: а, б, в – стабильный рост трещины; г, д – катастрофическое разрушение

Использование видеоконтрольного устройства позволило существенно повысить достоверность и надежность результатов испытаний на малоцикловую усталость.

Образцы для испытаний изготавливали таким образом, чтобы в зоне разрушения находились металл основы, зона сплавления и наплавленный металл. Также образцы изготавливали из металла одно-, трех- и пятиразовых наплавов.

Образцы испытывали до полного разрушения и строили зависимости малоцикловой усталости (количество циклов до полного разрушения в зависимости от напряжений). График малоцикловой усталости металла основы представлен на рис. 3.

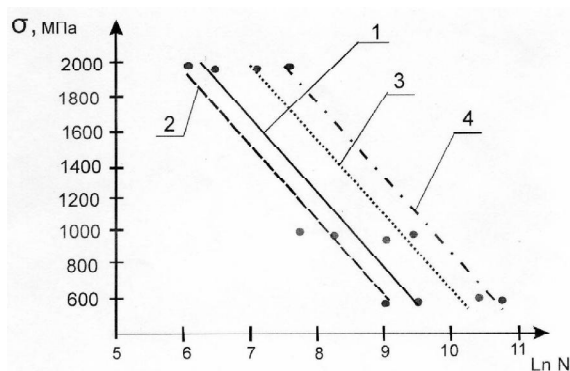


Рис. 3. Зависимости малоцикловой усталости от напряжения металла основы: 1 – карданный вал; 2 – одноразовое восстановление; 3 – трехразовое восстановление; 4 – пятиразовое восстановление

На рис. 3 представлены данные по МЦУ для детали «карданный вал», которая изготовлена ковкой. Полученные данные свидетельствуют о повышении стойкости металла основы с увеличением количества восстановлений. Такой эффект связан с тем, что металл основы в процессе восстановления подвергается действию высоких температур и происходит, так называемая, «маятниковая» термическая обработка [3], которая повышает МЦУ металла основы. Таким образом, с увеличением количества восстановлений металл основы имеет больший уровень МЦУ благодаря специфической термической обработке.

Показатели МЦУ металла зоны сплавления и наплавленного металлов представлены на рис. 4 и 5.

Как показали испытания образцов зоны сплавления и наплавленного металлов, их малоцикловая усталость не зависит от количества восстановлений. Это можно объяснить тем, что перед каждым следующим восстановлением детали металл зоны сплавления и наплавленный металл удаляются, и поэтому они не подвергаются влиянию «маятниковой» термической обработки (в от-

личие от металла основы, который в процессе восстановлений не удаляется). Во всех вариантах коэффициент в пределах 0,96-0,98.

Металлографическое исследование образцов после испытаний на МЦУ показало, что в металле зоны сплавления трещина проходит по структуре металла, а не по неметаллическим включениям (рис. 6). Образование трещины в наплавленном металле также происходит по структуре.

Таким образом, с увеличением количества восстановлений происходит повышение выносливости металла основы по малоцикловой усталости. Это связано с тем, что в процессе наплавов происходит «маятниковая» термическая обработка, которая способствует повышению малоцикловой усталости металла основы.

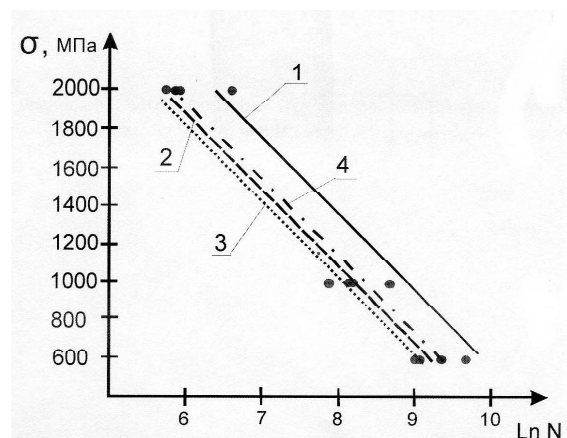


Рис. 4. Зависимости малоцикловой усталости от напряжения металла зоны сплавления: 1 – карданный вал; 2 – одноразовое восстановление; 3 – трехразовое восстановление; 4 – пятиразовое восстановление

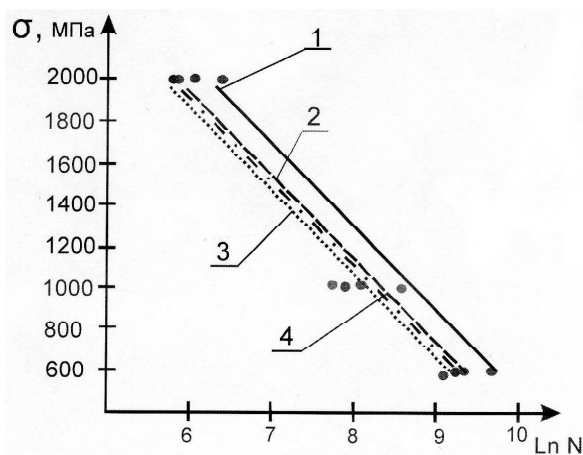


Рис. 5. Зависимости малоцикловой усталости от напряжения наплавленного металла: 1 – карданный вал; 2 – одноразовое восстановление; 3 – трехразовое восстановление; 4 – пятиразовое восстановление

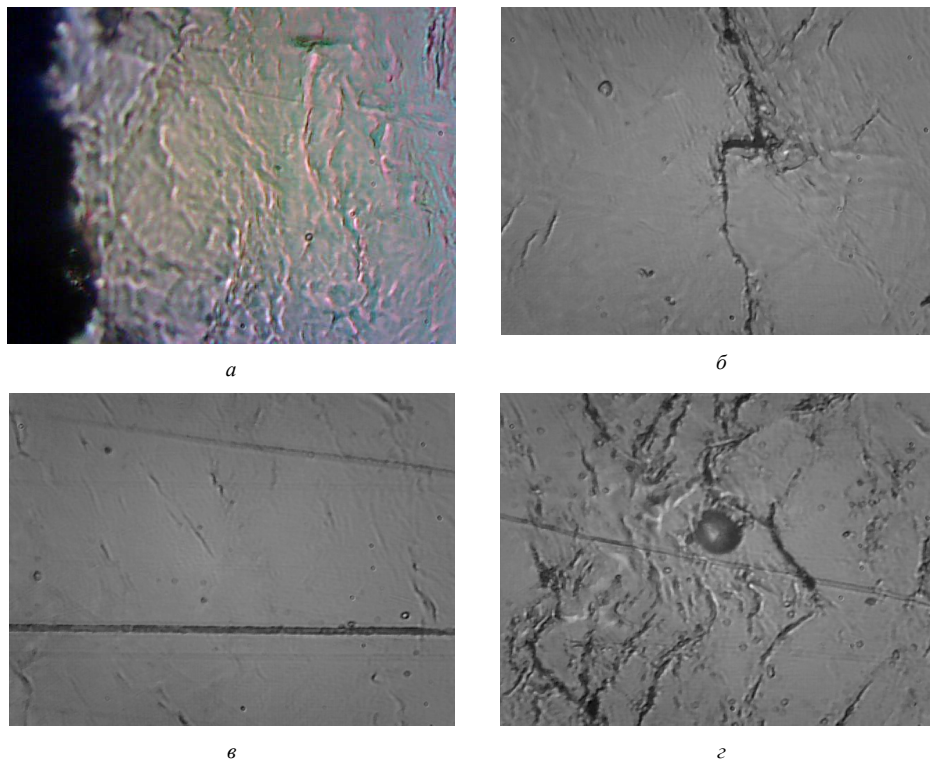


Рис. 6. Микроструктури образцов после испытаний на МЦУ: а, б, в – по зоне сплавления; г – по наплавленному металлу, $\times 900$

Список литературы

1. Форрест П. Усталость металлов ; [пер. с англ.] – М. : Машиностроение, 1968. – 352 с.
2. Парахневич Є. М. Особливості технології відновлення деталей електрошлаковим методом / Є. М. Парахневич, Ю. П. Петруша, В. В. Луньов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2003. – № 1. – С. 60–62.
3. Применение сталей электрошлакового переплава для изготовления бурового породоразрушающего инструмента / [В. В. Панасюк, К. Б. Кацов, Т. А. Илык и др.] // Проблемы специальной электрометаллургии. – 1987. – № 4. – С. 25–29.

Поступила в редакцию 09.03.2011

Парахневич Є.М., Бялік Г.А., Луньов В.В., Адамчук С.І. Вдосконалення методики випробувань металів на малоциклову втому

Розроблено і встановлено на машину ИП-2М спеціальний відеоконтрольний пристрій, який призначений для спостереження за процесами зародження і розповсюдження тріщин безпосередньо під час випробувань на малоциклову втому. Побудовано залежності малоциклової втоми від кількості відновлень. Показано, що зі збільшенням кількості відновлень відбувається збільшення витривалості металу основи по малоцикловій втомі.

Ключові слова: малоциклова втома, механічні властивості, зразок, термічна обробка, зона сплавлення.

Parahnevich E., Balik G., Lunev V., Adamchuk S. Perfection of a technique of tests of metals on low-cycle fatigue

The special picture monitor intended for supervision over processes of origin and distribution of cracks directly during tests on low-cycle fatigue is developed and established on machine ИП-2М. Have constructed dependences low-cycle fatigue from quantity of restored. It is shown, that to quantity increase restored there is an increase of endurance of metal of a basis on low-cycle fatigue.

Key words: low-cycle fatigue, mechanical properties, the sample, heat treatment, a zone of fusion.