

МОДУЛЬНЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МАШИНЫ СЕРИИ СИ И МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИЗНОСОУСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

ЕЛОВОЙ О.М., Институт механики машин НАН Беларуси

Модульные испытательные машины серии СИ предназначены для работы в научно-исследовательских лабораториях, технических университетах и лабораториях на предприятиях машиностроительного и металлургического профиля. Они позволяют проводить как традиционные испытания на трение и изнашивание, на механическую усталость (при консольном изгибе образца с вращением), так и комплексные испытания на фрикционно-механическую усталость (ФМУ), контактно-механическую усталость (КМУ) и фреттинг-усталость (ФУ) [1 - 4]. Разработчиком и изготовителем модульных машин серии СИ является Научно-производственное объединение «ТРИБОФАТИКА». Машины созданы с использованием 10 изобретений. Модульный принцип построения машин позволяет в широком диапазоне скоростей и нагрузок реализовать не только стандартные и общеизвестные методы испытаний, но и проводить оригинальные исследования моделей силовых систем (например, пар "колесо - рельс"; "вал - втулка" и т. д.).

ИСПЫТАНИЯ НА ФРИКЦИОННО-МЕХАНИЧЕСКУЮ УСТАЛОСТЬ

Схема испытаний на ФМУ представлена на рис. 1,

а.

Цилиндрический образец 1 одним концом закреплен в шпинделе 2 и вращается с угловой скоростью ω . На другом его конце приложена вертикальная изгибающая нагрузка Q (вверх или вниз). А к его рабочей зоне диаметром $d = 10$ мм прижимается под действием контактной нагрузки F_N закрепленный неподвижно контробразец 3, например, пластина или частичный вкладыш. Таким образом, в рабочей зоне образца одновременно возникают максимальные контактные и изгибные напряжения.

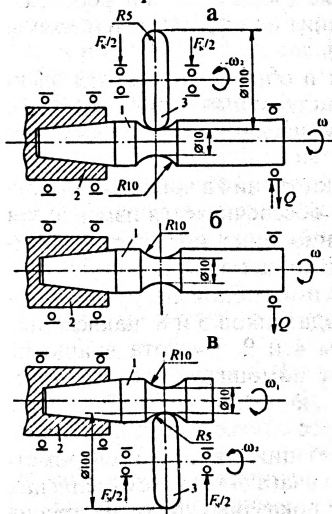


Рис. 1 Схемы испытаний на фрикционно-механическую усталость (а), механическую усталость (б) и трение скольжения (в) (обозначения в тексте)

Нетрудно видеть, что, имея машину для реализации схемы испытаний согласно рис. 1, а, можно проводить:

- износоусталостные испытания на фрикционно-механическую усталость (рис. 1, а) с варьированием величин F_N , Q и ω ;
- испытания на механическую усталость при изгибе с вращением (рис. 1, б) с варьированием величин Q и ω . В этом

случае контробразец 3 снимают, так что $F_N = 0$;

- испытания на трение и изнашивание при скольжении (рис. 1, в) с варьированием величин F_N и ω . В этом случае изгибающая нагрузка отсутствует ($Q = 0$), а образец 1, с целью экономии материала, делают укороченным.

ИСПЫТАНИЯ НА КОНТАКТНО-МЕХАНИЧЕСКУЮ УСТАЛОСТЬ

Эта схема (рис. 2, а) отличается от схемы испытаний на фрикционно-механическую усталость (рис. 1, а) тем, что неподвижно закрепленный контробразец заменен на вращающийся ролик 3. При этом образец и ролик могут в общем случае вращаться с разными угловыми скоростями ω_1 и ω_2 . Имея машину для реализации схемы испытаний согласно рис. 2, а, можно проводить:

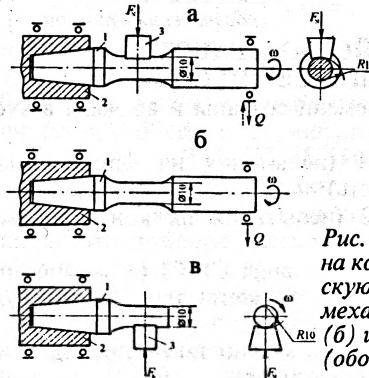


Рис. 2. Схемы испытаний на контактно-механическую усталость (а), механическую усталость (б) и трение качения (в) (обозначения в тексте)

- износоусталостные испытания на контактно-механическую усталость (рис. 2, а) с варьированием величин F_N , Q , ω_1 и ω_2 ;

- испытания на механическую усталость при изгибе с вращением (рис. 2, б) с варьированием величин Q и ω_1 . В этом случае ролик 3 снимают, так что $F_N = 0$ и $\omega_2 = 0$;

- испытания на трение качения или трение качения с проскальзыванием (рис. 2, в) с варьированием величин F_N , ω_1 и ω_2 . В этом случае изгибающая нагрузка отсутствует ($Q = 0$), а образец 1, с целью экономии материала, делают укороченным.

ИСПЫТАНИЯ НА ФРЕТТИНГ-УСТАЛОСТЬ

В отличие от схем испытаний на фрикционно-механическую усталость (см. рис. 1, а) и контактно-механическую усталость (см. рис. 2, а), в этом случае (см. рис. 3, а) к рабочей зоне вращающегося цилиндрического образца 1, изгибаемого нагрузкой Q , прижимают диаметрально противоположной контактной нагрузкой F_N два контробразца 3, называемых мостиками фреттинга. Мостиками фреттинга можно сообщать окружное (со скоростью v_1) или осевое (со скоростью v_2) колебательное движение малой амплитуды либо возбуждать оба движения одновременно. Имея машину для реализации схемы испытаний согласно рис. 3, а, можно проводить:

- износоусталостные испытания на фреттинг-усталость (см. рис. 3, а) с варьированием величин F_N , Q , ω , v_1 и v_2 ;

– испытания на механическую усталость при изгибе с вращением (рис. 3, б) с варьированием величин Q и ω . В этом случае мостики фреттинга не монтируются, так что $F_N = 0$, $v_1 = v_2 = 0$;

– испытания на фреттинг при осевом и/или окружном проскальзывании (рис. 3, в) с варьированием величин F_N , v_1 и v_2 . В этом случае изгибающая нагрузка отсутствует ($Q = 0$), а образец 1, с целью экономии материала, делают укороченным.

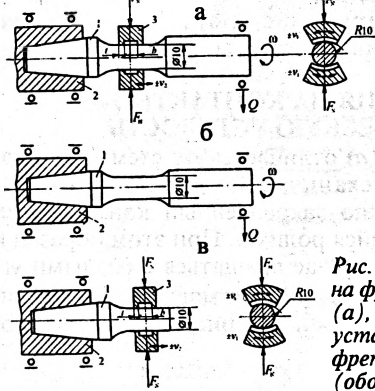


Рис. 3. Схемы испытаний на фреттинг усталость (а), механическую усталость (б) и фреттинг (в) (обозначения в тексте)

УСТРОЙСТВО И РАБОТА МАШИН СЕРИИ СИ

К настоящему времени созданы и введены в эксплуатацию:

- машина СИ-01 (испытания на фрикционно-механическую усталость);
- машина СИ-02 (испытания на контактно-механическую усталость);
- полнокомплектная машина СИ-03 (испытания на фрикционно-механическую и контактно-механическую усталость).

На всех этих машинах можно также проводить и испытания на фреттинг-усталость.

Технические характеристики машин приведены в таблице.

Машины серии СИ состоят из следующих модулей:

- испытательной установки 3, которая содержит узлы и механизмы, необходимые для закрепления и испытания образцов или моделей силовых систем;
- специальных столов 1 и 6;
- электрошкафа 4, встроенного в тумбу стола и содержащего силовую пускорегулирующую аппаратуру, электронные блоки управления приводами образца, контроробразца и нагрузателей;
- блока информационно-управляющей системы (ИУС) 2, включающего в себя первичные датчики оборотов и частот вращения, нагрузок, температуры, вибрации, линейного износа и др., электронный блок, содержащий усилители и АЦП для преобразования сигналов датчиков и аварийных сигналов в цифровые последовательности для передачи в ПЭВМ, ЦАП для управления приводами вращения образца, контроробразца и нагрузателей;
- ПЭВМ с принадлежностями 5 и программным обеспечением.

Взаимосвязь составных частей испытательной установки машины СИ-03 показана на схеме (рис. 4).

Электрошпиндель 1 привода образца вращает вал, в котором закреплен испытываемый образец 19.

Электродвигатель 13 привода контроробразца через гибкий вал 3 вращает вал, на котором закреплен контроробразец – ролик 2. В этом случае на машине реализуется трение качения. Электродвигатель 13 постоянного тока с по-

мощью тиристорного блока управления по команде ИУС позволяет изменять в широком диапазоне и поддерживать с высокой точностью заданную частоту вращения контроробразца, обеспечивая заданную скорость проскальзывания пары трения.

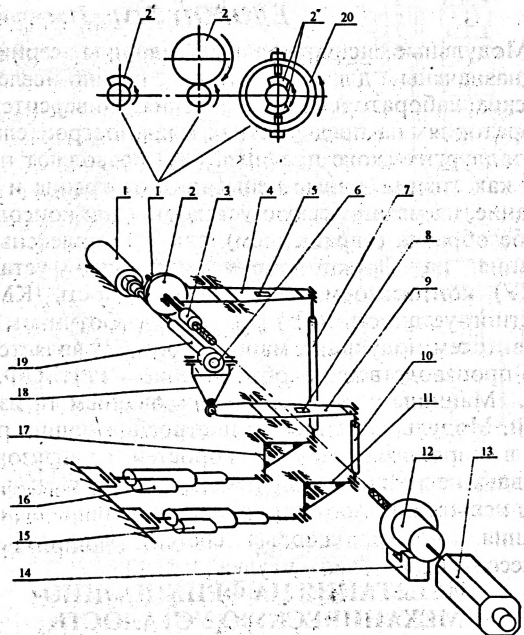


Рис. 4. Принципиальная схема испытательной установки машины СИ-03 (обозначения в тексте)

Контроробразец 2 прижимается к рабочей поверхности образца 19 с помощью электромеханизма 16 через систему рычагов 17, 7, 5, создавая заданную контактную нагрузку.

Вместо вращающегося контроробразца – ролика 2 на рычаге 4 может быть установлена кассета с неподвижным контроробразцом 2', или динамометрическое кольцо 20 с мостиками фреттинга 2''. В этом случае в используемой на машине силовой системе (образец - контроробразец) реализуется трение скольжения или фреттинг (см. схемы испытания – поз. I на рис. 4).

Изгибные напряжения в образце создаются электромеханизмом 15 через систему рычагов 11, 10, 9, 18 и обойму 6 с подшипником, насаженным на хвостовик вращающегося образца.

Расположение площадки трения в зоне растяжения или в зоне сжатия образца обеспечивается изменением направления (соответственно вниз или вверх) изгибающей силы Q , действующей на образец.

Величины контактной и изгибной нагрузок определяются с помощью тензодатчиков 5 и 8, наклеенных на нагружающие пружины 4 и 9. Частота вращения контроробразца измеряется с помощью оптоэлектрического датчика 14. Линейный износ либо сближение осей пары трения измеряется с помощью индуктивного датчика, параметры вибрации – виброакселерометром, установленным на рычаге 4 в зоне крепления контроробразца (на схеме не показаны). Момент трения измеряется с помощью моментомера 12, смонтированного на валу электродвигателя 13.

На машинах реализованы специально разработанные методы измерения и регистрации износа (сближения осей) как интегральным способом (через любые промежутки времени), так и дискретным (в определенных восьми точках по периметру поверхности опасного сечения образца) [5, 6].

Таблица – Технические характеристики модульных машин серии СИ

Наименование показателей	Значение		
	Машина СИ-01	Машина СИ-02	Машина СИ-03
Пара трения	Цилиндр-колодка	Цилиндр-ролик	Цилиндр-колодка цилиндр-ролик
Диаметр рабочей части образца, мм	10	10	10
Размеры контрообразца, мм	10×10×11,5	∅ 100	10×10×11,5 ∅ 100
Диапазон частот вращения образца, мин ⁻¹	40–4000	3000	600–6000
Диапазон частот вращения контрообразца, мин ⁻¹	–	50–500	50–500
Диапазон изгибающих нагрузок, Н	70–700	70–700	70–700
Диапазон контактных нагрузок, Н	10–500	50–1000	10–2000
Предел допускаемой погрешности измерения нагрузок, %	2	2	2
Диапазон измерения суммарного износа образца и контрообразца, мкм	0,5–50 10–4000	0,5–50 10–3000	0,5–50 10–4000
Предел допускаемой погрешности измерения суммарного износа образца и контрообразца, %, не более	5	5	5
Диапазон измерения момента трения, Н·м:			
– при трении скольжения	0,01–1,2	–	0,01–1,2
– при трении качения	–	0,2–20	0,2–20
Предел допускаемой погрешности измерения момента трения, %, не более	3	3	3
Установленная мощность электрооборудования, кВт	2	2,5	2,5

Машина СИ-01 для испытаний на фрикционно-механическую усталость отличается от машины СИ-03 тем, что испытуемый образец приводится во вращение двигателем постоянного тока с бесступенчатым регулированием частоты (диапазон частот вращения 40 – 4000 мин⁻¹). Привод контрообразца на этой машине отсутствует, так как в процессе испытаний реализуется только трение скольжения.

Машина СИ-02 для испытаний на контактно-механическую усталость отличается от машины СИ-03 тем, что испытуемый образец приводится во вращение асинхронным электродвигателем переменного тока с номинальной частотой вращения 3000 мин⁻¹. Широкий диапазон скоростей проскальзывания обеспечивается за счет изменения частоты вращения привода контрообразца – ролика. Привод контрообразца на этой машине аналогичен приводу контрообразца на машине СИ-03.

В настоящее время в рамках трибофатики разрабатывается специальная серия машин для испытаний при высоких скоростях нагружения. Такие машины получили название суперскоростные и будут использоваться для ускоренных испытаний [7]. Создана машина с частотой испытаний до 18000 мин⁻¹. Предусматривается увеличение частоты испытаний до 60000 и далее, возможно, до 8000 мин⁻¹. При этом размеры объектов испытаний остаются неизменными.

Машины серии СИ снабжены информационно-управляющей системой (ИУС), построенной на базе современной компьютерной техники. ИУС позволяет с высокой точностью осуществлять управление, измерение и регистрацию параметров испытаний.

Основные достоинства машин серии СИ: полная автоматизация испытаний; отсутствие механических передач, что существенно повышает точность результатов испытаний и уменьшает габариты машины; низкая материалоемкость и энергоемкость; унификация и стандартизация объектов испытаний; проведение испытаний моделей силовых систем; бесступенчатое регулирование параметров нагружения (скорости вращения образца и контрообразца, контактной и из-

гибной нагрузок) в широком диапазоне с высокой точностью; удобство обслуживания машин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданы и изготавливаются три модификации машин серии СИ, которые имеют модульную конструкцию, что позволяет легко изменять их конфигурацию и технические характеристики в зависимости от реализуемых схем испытаний и требований заказчика. Кроме того, потребитель может приобрести машину с ограниченным набором модулей для проведения испытаний только по одной схеме, а затем постепенно оснащать ее комплектами модулей для проведения всего комплекса испытаний. Машины серии СИ позволяют реализовывать новые технологии комплексных износоусталостных испытаний. Технические требования к машинам серии СИ и методы износоусталостных испытаний стандартизованы. Машины введены в эксплуатацию на некоторых предприятиях и организациях Беларуси.

Использованная литература

1. СТБ 1067-97. Трибофатика. Машины для износоусталостных испытаний. Общие технические требования. – Минск: Госстандарт, 1997. – 10 с.
2. СТБ 994-95. Трибофатика. Термины и определения. – Минск: Белстандарт, 1995. – 98 с.
3. ГОСТ 30638-99. Трибофатика. Термины и определения. – М.: Госстандарт, 1999. – 99 с.
4. Сосновский Л.А. Методы износоусталостных испытаний материалов// Заводская лаборатория. – 1990. №6. – С. 90 - 95.
5. Трибофатика-95: Ежегодник / Под общей ред. Сосновского Л.А. Вып. 1. Машины серии СИ для износоусталостных испытаний/ Авт.: Белиц Ф.Ю., Богданович А.В., Высоцкий М.С. и др.; Под ред. Высоцкого М.С. – Гомель: НПО "ТРИБОФАТИКА", 1996. – 80 с.
6. Сосновский Л.А., Еловой О.М., Марченко А.В. Некоторые особенности повреждения при фрикционно-механической усталости// Заводская лаборатория. – 1998. №12. – С. 39 - 42.
7. СТБ 1233-2000. Методы износоусталостных испытаний. Ускоренные испытания на контактно-механическую усталость. – Минск: Госстандарт, 2000. – 18 с.