

УДК 621.771

П.Э. Морозов

## **ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

*Разработанная и запатентованная НИИАчерметом система технического зрения – оптоэкстензометр – позволяет автоматизировать процесс измерения деформации образцов при проведении испытаний на растяжение. Основанная на оптоэкстензометре автоматическая измерительная система для модернизации разрывных машин внедрена более чем на 10 металлургических и машиностроительных предприятиях Украины и позволила довести имеющееся оборудование до современного уровня и обеспечить проведение испытаний согласно стандартам ДСТУ/ГОСТ, ASTM, ISO, DIN/EN, API, ABS и др. Ил. 2. Библиогр.: 8 назв.*

*Ключевые слова: система технического зрения, оптоэлектронный сканирующий экстензометр, автоматизация процесса измерения и обработки данных, диаграмма растяжения, механические испытания, разрывная машина, модернизация.*

Постоянный рост требований потребителей к качеству металлопродукции и процессу контроля её характеристик, вынуждает производителей массово переходить на проведение испытаний по современным международным стандартам, которые диктуют год от года все более жесткие требования к оборудованию и методикам.

Среди прочих видов контроля механические испытания металлов на растяжение с использованием специализированных разрывных испытательных машин являются одним из наиболее информативных инструментов контроля качества металлопродукции. Получаемые в ходе таких испытаний диаграммы в координатах "напряжение-деформация" позволяют рассчитать механические характеристики, определяющие ключевые свойства металла – прочность, упругость, пластичность, сопротивление разрыву.

Для построения корректной диаграммы растяжения в процессе испытаний необходимо обеспечить ввод данных по двум каналам – усилия и удлинения. При этом если измерение усилия не представляет трудности, то качественное измерение деформации испытываемого образца непосредственно в процессе его нагружения

---

© Морозов П.Э., 2010

связано с трудностями. Так, для получения полной диаграммы контроль деформации должен проводиться от начала испытания до разрушения образца (при котором практически мгновенно высвобождается накопленная в образце энергия, что сопровождается сильной вибрацией и ударами) и характеризуется требованием высокой точности (особенно – на начальном, упругом участке диаграммы, где деформация составляет доли процента).

Известны разнообразные способы и устройства для измерения деформации: резистивные, механические и другие тензометры [1 – 4]. Их недостатком является небольшой диапазон измерений (как правило, до начала пластической деформации). При увеличении диапазона измерения точность существенно падает, а при разрыве образца разрушается и сам тензометр.

В последнее время также стали появляться высокоинформативные системы технического зрения (СТЗ) на основе матричных фотоприемников высокого разрешения, основное свойство которых – бесконтактность – позволяет полностью удовлетворить требования к информационному обеспечению механических испытаний материалов.

Отталкиваясь от перечисленных предпосылок, в НИИАЧермете разработали оптоэлектронный бесконтактный сканирующий измеритель деформации образца для испытаний материалов на растяжение (оптоэкстензометр) на базе матричного фотоприемника с выводом сигнала в телевизионном стандарте, сочетающий в себе удобство настройки и эксплуатации с высокой точностью и быстродействием.

Ключевыми особенностями разработанной СТЗ – оптоэкстензометра – являются его высокая точность, удовлетворяющая требованиям современных стандартов на испытания, способность измерять деформацию образцов на расчетной длине от начала нагружения до разрыва без приостановки испытаний и дополнительных манипуляций с экстензометром и образцом, большой диапазон измерения деформаций, а также простота в настройке и эксплуатации, что немаловажно в заводских условиях.

Суть работы оптоэкстензометра заключается в том, что на поверхности образца, на расчетной длине друг от друга с помощью двух ножевых прижимов закрепляются световые маркеры, которые в

процессе испытаний удаляются друг от друга по линии, параллельной оси растяжения (деформации). Наблюдая с помощью матричного оптоэлектронного преобразователя (ОЭП) за перемещением проекций световых маркеров в поле зрения ОЭП, можно вычислить удлинение образца на расчетной длине.

Для повышения точности определения положения проекций световых маркеров, в качестве их координат приняты центры светимости. Поскольку удлинение образца при испытаниях на растяжение имеет принципиально одноосный характер, в процессе испытаний необходимо вычислять изменение положения световых маркеров только по одной координате – вертикальной, что упрощает задачу.

При традиционном подходе для определения вертикальной координаты центра светимости маркера, учитывая дискретный характер видеосигнала в отдельных строках, необходимо для каждой строки проинтегрировать амплитуды видеосигнала по строке. При этом формула для нахождения вертикальной координаты центра светимости проекции маркера  $y_u$  примет вид:

$$y_u = \frac{\sum(i \times U_i)}{\sum U_i}, \quad (1)$$

где  $i$  – номер строки, а  $U_i$  – интеграл величины видеосигнала в строке  $i$ :

$$U_i = \int A(x, i) dx, \quad (2)$$

где  $A(x, i)$  – амплитуда видеосигнала в строке  $i$ ,  $x$  – горизонтальная (вдоль строки видеосигнала) координата.

Расположив матричный телевизионный ОЭП таким образом, чтобы видимое перемещение световых маркеров происходило поперек строк, можно ограничиться вводом только одного обобщенного значения видеосигнала с каждой строки – максимальной амплитуды. При постоянной видимой форме светового маркера, это значение будет пропорционально интегралу амплитуды видеосигнала (2), и формула (1) примет вид:

$$y_u = \frac{\sum(i \times A_i)}{\sum A_i}, \quad (3)$$

где  $A_i$  – максимальная амплитуда видеосигнала в строке  $i$ .

Задачу выделения максимальной строчной амплитуды можно переложить на аппаратную часть оптоэкстензометра и получать, например, с помощью пик-детектора. При таком подходе количество информации, которое необходимо передавать с ОЭП в вычислительный модуль и затем обрабатывать, определяя координаты световых маркеров, резко сокращается (с 10 Мб/с при стандартном методе до 15 Кб/с – более чем в 600 раз).

Получаемый таким путем массив данных легко обработать в режиме реального времени не только с помощью компьютера, но и силами сравнительно маломощного контроллера – разработанный с применением описанного подхода в НИИАчермете оптоэкстензомер ОЭ-01 вычисляет в непрерывном режиме координаты световых маркеров и деформацию образца 50 раз в секунду (см. рис. 1).



Рисунок 1 - Структурная схема оптоэкстензометра ОЭ-01

Оптоэкстензомер ОЭ-01 состоит из ОЭП, микропроцессорного блока сопряжения (МБС) и видеоконтрольного устройства (ВКУ). Обмен информацией с управляющим компьютером осуществляется по последовательному интерфейсу RS-232. Кроме вычисления координат световых маркеров и деформации образца, у МБС достаточно ресурсов для одновременного и синхронного ввода аналоговой информации от датчика усилия, управления объективом ОЭП для изменения поля зрения (диапазона измерения) оптоэкстензометра, контроля работоспособности и исправности оборудования, а также для обмена командами и данными с управляющим компьютером системы автоматизации механических испытаний на растяжение.

Характеристики оптоэкстензометра ОЭ-01 следующие:

- Диапазон начальных расчетных длин, мм 25...200
- Диапазон измерения деформации, % до 50
- Абс. погрешность измерения упругой деформации, мкм ± 5

- Относит. погрешность измер. пластич. деформации, %  $\pm 0,5$

Иными словами, по результатам опытной эксплуатации оптоэкстензометра погрешность измерения деформации образца на расчетной длине составила порядка  $\pm 4\%$  от расстояния между строками развертки видеокадра ОЭП или  $\pm 0,007\%$  от его вертикального поля зрения. Оптоэкстензометр соответствует классу точности B1 ASTM E83 и классу 1 по DIN EN10002-4.

Говоря о точности, необходимо учитывать, что оптический метод измерения деформации для таких малых допустимых погрешностей чувствителен к изменению расстояний между ОЭП и образцом, яркости и однородности свечения световых маркеров, наклону образца и/или ОЭП относительно оси деформации и др. факторам.

Поскольку эксплуатировать оптоэкстензометр предполагается в заводских условиях, единственным способом получения гарантированного, метрологически надежного результата стало введение автоматической калибровки оптоэкстензометра перед каждым циклом измерения.

Суть автоматической калибровки заключается в следующем. На одном из ножевых прижимов для крепления световых маркеров на образце устанавливается дополнительный световой маркер – калибровочный – на фиксированном и аттестованном расстоянии  $L_K$  от основного, рабочего маркера, закрепленного там же (см. рис. 2).

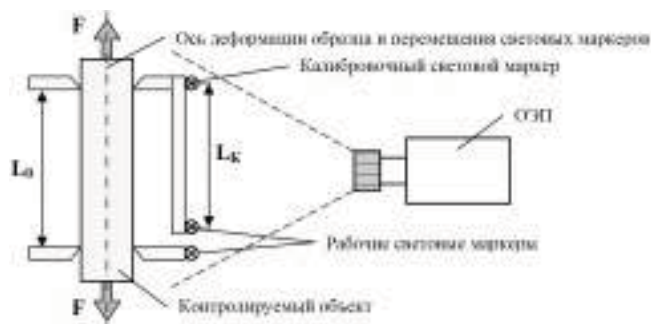


Рисунок 2 - Схема калибровки оптоэкстензометра

Непосредственно перед циклом измерения в течение нескольких секунд оптоэкстензометр рассчитывает видимое расстояние между указанными световыми маркерами и вычисляет масштабный коэффициент  $M$  по формуле:

$$M = \frac{L_K}{k_K - k_P}, \quad (4)$$

где  $k_K$  – координата проекции калибровочного светового маркера,  $k_P$  – координата проекции рабочего светового маркера, закрепленного на одном прижиме с калибровочным.

Тогда удлинение образца на расчетной длине  $\Delta L_0$  в ходе испытаний будет определяться по формуле:

$$\Delta L_0 = (k_{P2} - k_{P1}) \times M - L_0, \quad (5)$$

где  $k_{P1}$  и  $k_{P2}$  – координаты проекций двух рабочих световых маркеров,  $L_0$  – начальное расчетное расстояние.

При установке на ОЭП вариобъектива калибровочный световой маркер позволяет реализовать еще один режим работы оптоэкстензометра – с автоматическим изменением поля зрения (диапазона измерения) и непрерывной калибровкой по мере увеличения деформации образца. Такой режим расширяет диапазон измеряемых деформаций и позволяет начинать испытания с минимальным полем зрения ОЭП (и, следовательно, максимальной точностью) и по мере необходимости увеличивать поле зрения, настраиваясь "на ходу" на измерение растущей деформации.

Описанный способ и устройство бесконтактного измерения деформации образца защищены патентом Украины [5]. При реализации оптоэкстензометра его основные параметры оптимизированы [6, 7].

На базе оптоэкстензометра в НИИАЧермет разработана система для автоматизации испытаний на растяжение для разрывных испытательных машин [8]. Система выполняет следующие функции:

- автоматический ввод в компьютер в течение всего времени нагружения образца данных по усилию и удлинению;

- автоматический расчет механических свойств металла (условного или физического предела текучести, временного сопротивления, относительного равномерного удлинения, относительного удлинения после разрыва и др.);

- построение на экране компьютера диаграммы растяжения в масштабе от 5:1 до 500:1 с возможностью автоматической и ручной обработки, интерактивной настройки параметров просмотра, а также распечатки диаграммы на принтере;

- ведение компьютерного журнала (базы данных) испытаний с информацией о каждом испытании, в т. ч. – с диаграммой;



- распечатку на принтере и/или сохранение в виде текстового файла протокола единичного испытания или серии испытаний;

- выдачу информации о результатах испытаний и соответствующей им диаграмме растяжения по требуемым исходным данным (марке стали, номеру плавки, дате испытания и др.);

- обеспечение интерфейса оператора системы с предоставлением дополнительных функций (настройка системы, предоставление нормативно-справочной информации, округление результатов расчетов по различным стандартам, перевод расчетных величин в различные единицы измерения и др.).

В настоящее время система автоматизации механических испытаний внедрена более чем на 10 металлургических и машиностроительных предприятиях Украины. Все модернизированные разрывные машины метрологически аттестованы на соответствие требованиям современных отечественных, зарубежных и международных стандартов и широко применяется при контроле экспортной продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Измерения в промышленности. Справочник. Пер. с нем. – М. "Металлургия", 1980, 648с.
2. Zwick Materials Testing. Product Information. Zwick 066920 Optical Extensometer / Проспект фирмы № 7.22.1.93 PI-148, 6 с.
3. Патент Швейцарии № 679072 "Capteur et appareil de mesure du déplacement" ("Датчик и прибор для измерения перемещений") G01B 11/00, 1992 (РЖ ИСМ 82-08-93).
4. Универсальные системы фирмы Walter+Bai AG (Швейцария) для испытания материалов / Проспект фирмы, 19 с.
5. Патент Украины № 67889 А "Способ и устройство бесконтактного измерения деформации образца"
6. П.Э. Морозов, В.Я. Ободан. Расчет основных параметров оптоэлектронного экстензометра для систем автоматизации разрывных машин // Металлург. и горноруд. пром-сть. 1998. № 4. С. 84-86.
7. П.Э. Морозов. Определение целесообразной формы и размеров световых маркеров при контроле механических свойств проката оптоэлектронным методом // Вестник Харьковского Государственного Политехнического Университета. 1999. № 56 С. 69-74.
8. Система автоматизации разрывной машины с оптоэлектронным экстензометром / В.М. Кирсанов, Б.А. Перков, П.Э. Морозов, И.А. Иванова, В.Я. Ободан, А.И. Скрипниченко, А.Д. Малыш // Металлург. и горноруд. пром-сть. 1999. № 2. С. 72-76.