

ВЕРИФИКАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ЮНГА С ПОМОЩЬЮ МИКРОЗОНДОВОЙ СИСТЕМЫ «МИКРОН-ГАММА»

Ю. А. ХОХЛОВА, И. Н. КЛОЧКОВ, А. А. ГРИНЮК, М. А. ХОХЛОВ

Модуль Юнга (модуль упругости) условно считается абсолютной характеристикой материала, поэтому для верификации значений, получаемых микротвердомером «Микрон-Гамма», была проведена серия сравнительных механических испытаний. Целесообразность такого сравнения обусловлена не только необходимостью корректировки получаемых значений при калибровке прибора, но и созданием статистической базы данных по механическим свойствам материалов и изготовлением калибровочных образцов.

Modulus of elasticity (Young) is conditionally regarded as the absolute characteristic of the material, so a series of comparative mechanical testing was conducted in order to verify the values obtained by «Mikron-Gamma» microhardness meter. The rationality of such a comparison is due not only to the need to correct the obtained values at instrument calibration, but also to create a statistical data base on the mechanical properties of the material and to prepare the calibration samples.

Важной задачей при макро- и микромеханических испытаниях на современных компьютеризированных системах является корректное определение модуля Юнга — одной из главных механических характеристик материала. Модуль Юнга (E) характеризует жесткость материала, т. е. интенсивность увеличения напряжения с ростом относительной деформации при упругом растяжении/сжатии. Численно он равен величине напряжения при достижении деформацией единицы. Совместно с другой независимой характеристикой материала (коэффициентом Пуассона), модуль Юнга отражает способность материала сопротивляться изме-

нению его формы и объема. В этой связи представляет интерес оценка достоверности определения величины E с помощью микромеханических испытаний методом непрерывного вдавливания индентора. Целесообразность такого исследования обусловлена не только необходимостью корректировки получаемых значений при калибровке прибора, но и созданием статистической базы данных по механическим свойствам материалов и изготовлением калибровочных образцов.

Целью данной работы является верификация значений модуля Юнга, получаемых при испытаниях микрозондовой системой «Микрон-Гамма», и сервогидравлической испытательной системой MTS 318.25 (Material Test System).

Для создания статистической основы такой верификации проведена серия испытаний на статическое одноосное растяжение образцов из конструкционных высокопрочных алюминиевых сплавов Д16, АМг6 (вдоль и поперек волокна), а также создание калибровочных образцов из этих материалов для последующих микромеханических испытаний индентором Берковича.

С целью определения механических свойств испытания на статическое одноосное растяжение проводили в лабораторных условиях на универсальной многоцелевой сервогидравлической машине MTS 318.25, разработанной компанией MTS Systems Corporation в США (рис. 1). Система позволяет при монотонном нагружении выполнять такие испытания, как растяжение, сжатие, а также испытания на ползучесть и изгиб. Все испытания могут быть выполнены при контроле нагрузки или деформации с использованием экстензометра, а также при контроле перемещения. Высокая скорость цилиндра, достигаемая сервогидравликой, позволяет выполнять испытания в широком диапазоне скоростей деформирования [1, 2].



Рис. 1. Сервогидравлическая испытательная система MTS 318.25

© Ю. А. ХОХЛОВА, И. Н. КЛОЧКОВ, А. А. ГРИНЮК, М. А. ХОХЛОВ, 2009

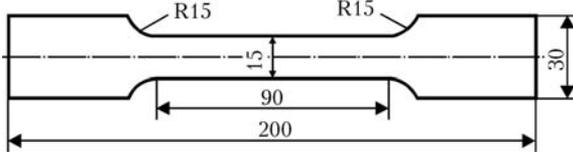


Рис. 2. Схематическое изображение образца для статических испытаний

Для обработки результатов использовали программный пакет TestWorks 4, имеющий большой диапазон возможностей при проведении статических испытаний. Встроенная библиотека расчетов включает формулы, применимые для большинства стандартов ASTM, ISO и DIN.

Проверку системы осуществляют один раз в год согласно РД 50-482-84 «Методические указания. Машины разрывные и универсальные для статических испытаний металлов и конструкционных пластмасс. Методика поверки». По результатам поверки ГП Укрметрстандарт оборудование признано пригодным к использованию согласно ГОСТ 28840-90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования». По результатам поверки оборудования выдано свидетельство № 34/8355. Погрешность показателей силоизмерителя не превышала $\pm 0,2\%$.

Испытания проводили до полного разрушения на плоских образцах толщиной 5 мм с выфрезерованной рабочей частью (рис. 2).

На рис. 3 точки В и М ограничивают область, в пределах которой определяется модуль Юнга.

С помощью программного обеспечения построены диаграммы статического растяжения в координатах напряжение – деформации (рис. 3). Расчеты всех необходимых механических характеристик сплава представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Значение предела прочности, условного предела текучести и модуля Юнга при механических испытаниях на MTS 318.25

Сплав	Предел прочности σ_b , МПа	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Модуль Юнга E , ГПа
Д16	224,0	110,4	57,7
АМг6 вдоль проката	368,6	165,0	68,9
АМг6 поперек проката	365,8	159,2	65

Испытания малоразмерных образцов обычными разрушающими методами весьма проблематичны и сопряжены с большим проявлением влияния дополнительных внутренних напряжений, возникающих при их изготовлении, что снижает точность результатов исследования. Существует метод оценки микромеханических свойств по глубине внедрения индентора при непрерывном вдавливании [4], что позволяет изучать локальное изменение свойств материалов по градиенту рас-

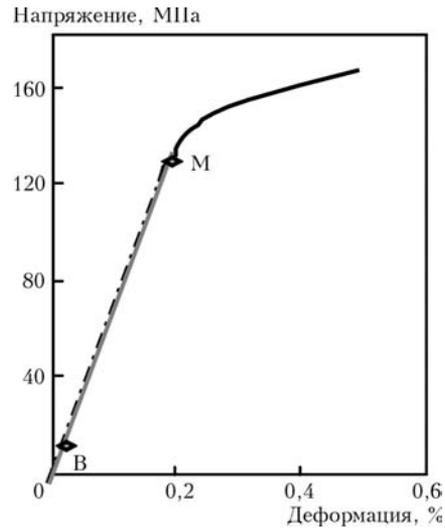


Рис. 3. Начальный участок диаграммы статического растяжения образца из сплава АМг6 (поперек проката)

пределения микротвердости и модуля Юнга в зонах термического влияния сварных соединений.

В работе использовали прибор «Микрон-Гамма» (рис. 4), предназначенный для определения микромеханических свойств материалов методами непрерывного вдавливания индентора, сканирования индентором (склерометрия), металлографии и топографии [5].

Методика микро- и наноиндентирования алмазом Берковича стандартизирована (ISO 14577-2). Тестирование микротвердости таким индентором является наиболее применяемым аналитическим методом контроля микромеханических свойств сверхтвердых и хрупких материалов. Точность цифровой техники позволяет осуществлять «прицельное» индентирование микронеоднородностей структуры. Во время испытаний регистрируется зависимость глубины внедрения индентора от нагрузки как при росте нагрузки, так и при ее снижении. Это позволяет получить значения «невосстановленной» твердости, что исключает влияние упругого восстановления материала на фактическое значение микротвердости [5-8]. По сути, диаграмма «нагрузка-разгрузка» (рис. 5, б) представляет собой работу, затраченную инденто-



Рис. 4. Компьютеризированная микрозондовая система «Микрон-Гамма» для микромеханических испытаний при нагрузках от 5 до 500 г

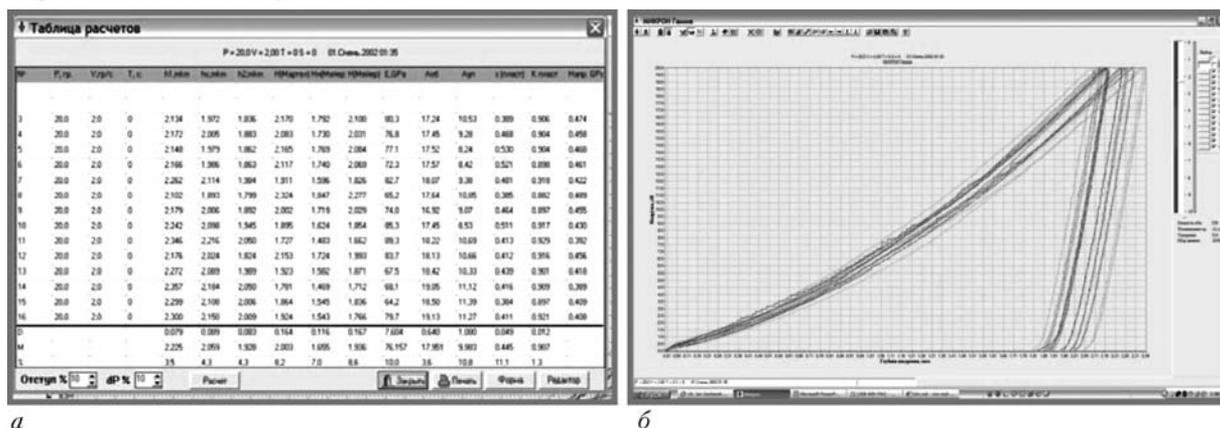


Рис. 5. Электронная таблица обработанных значений (а) и диаграмма «нагружение–разгрузка» (б) при индентировании сплава АМГ6 поперек проката

Таблица 2. Средние значения микротвердости и модуля Юнга по результатам индентирования на приборе «Микрон-Гамма»

Сплав	Микротвердость, ГПа	Модуль Юнга E, ГПа
Д16	0,30	66,00
АМг6 вдоль проката	0,46	74,00
АМг6 поперек проката	0,40	65,40

ром на преодоление сопротивления материала (площадь под ветвью нагружения), и работу, затраченную материалом на восстановление своих свойств (площадь под ветвью разгрузки).

Компьютеризированная система прибора включает индентор Берковича; шток с датчиком регистрации глубины внедрения индентора, механизм нагружения с широким диапазоном нагрузок; видеокамеру и микроскоп (×200... 1000); автоматизированную систему позиционирования образца с программой цифровой навигации по исследуемому объекту. Для уменьшения вибрации прибор установлен на виброизолирующей подставке. Перемещение индентора измеряется с точностью 1 нм в режиме нагружения 0,1... 500 г, что позволяет проводить испытания при небольших глубинах отпечатка. Полученная диаграмма «нагружение–разгрузка» состоит из 2000 точек. Обработка результатов индентирования выполняется специализированной программой и позволяет автоматически определять значения твердости и модуля Юнга при регистрации перемещения вершины индентора.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Испытания проводили при нагрузке 20 г по схеме: «нагружение–разгрузка» индентора (без выдержки). Каждая серия укулов состояла из 16 последовательных внедрений индентора с шагом 30 мкм; скорость нагружения 2 г/с. Зафиксированные прибором данные индентирования и диаграмма «нагружение–разгрузка» индентора показаны на рис. 5. Средние значения микротвердости и модуля Юнга приведены в табл. 2.

Разброс значений модуля Юнга, полученных по результатам проведения механических испытаний на сервогидравлической испытательной системе MTS 318.25 и микронзондовой системой «Микрон-Гамма» (см. табл. 1, 2) может изменяться в зависимости от марки сплава и пространственной ориентации волокон. Разница в измерениях не превышает 9 %, что является допустимой погрешностью для инденторов данного типа.

1. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений: Справ. пособие / Б. С. Касаткин, А. Б. Кудрин, Л. М. Лобанов и др. — Киев: Наук. думка, 1981. — 584 с.
2. <http://www.mts.com/downloads/100-027-556a.pdf>
3. ГОСТ 1497–84 Металлы. Методы испытаний на растяжение. — М.: Изд-во стандартов, 1985.
4. Oliver W. C., Pharr G. M. // J. Mater. Res. — 2004. — № 10. — P. 3–20.
5. А. с. 373581 СССР, МКИ G01N3/42/. Прибор для испытаний материалов на микротвердость / В. В. Запорожец, И. М. Закнев, Ю. А. Никитин. — Заявл.19.04.90; Опубл. 07.02.93, Бюл. № 5. — 4 с.
6. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. — М.: Наука, 1976. — 230 с.
7. С. И. Бульчев, В. П. Алехин. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора. — М.: Машиностроение, 1990. — С. 3–180.
8. Kazuhisa Miyoshi. surface characterization techniques: an overview. National Aeronautics and Space Administration. Glenn Research Center. Cleveland, Ohio 44135. NASA/TM-2002-211497.

Поступила в редакцию 10.12.2008