

УДК 620.1.05

Н. Н. Автономов, М. С. Пучнин

РЕГИСТРАЦИЯ ДИАГРАММЫ ВДАВЛИВАНИЯ ШАРОВОГО ИНДЕНТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

Описана конструкция измерительной головки и измерительного стенда для проведения испытаний металлических материалов. Результаты экспериментов представлены в виде диаграмм «нагрузка – глубина вдавливания».

Ключевые слова: шаровой индентор, глубина вдавливания, твердость.

С появлением простых испытаний на твердость в начале XX в. сразу же возник вопрос о том, нельзя ли по измерениям твердости судить о механических свойствах металлов. В своих экспериментах О. А. Бригелль, Н. А. Минкевич и многие другие исследователи стремились найти связь между твердостью по Бригеллю НВ и пределом прочности σ_b , а также с другими механическими характеристиками.

Такие связи между НВ и σ_b были найдены и даже стандартизованы. Так, в Германии в немецких инженерных нормах DIN 50359–1 для сталей была рекомендована зависимость между НВ и σ_b . Американское инженерное автомобильное общество получило экспериментальные зависимости, позволяющие по значениям НВ определять для сталей σ_b , предел текучести $\sigma_{0,2}$ и относительное поперечное сужение ψ . Однако эти зависимости являются чисто экспериментальными, теоретически не обоснованы и носят частный характер. В ISO 14577–1 предусмотрено кинетическое индентирование и рекомендуется определять расчетное значение твердости как отношение максимально приложенной нагрузки к контактной площади лунки под нагрузкой.

Для оценки качества металлов по твердости Н. Н. Давиденков в 1943 г. высказал мысль о необходимости оценивать твердость не какому-то одному частному значению, а по диаграмме, которая охватывает несколько значений [1]. Это исследование удалось осуществить только после того, как в 1949 г. М. П. Марковцом [2] был предложен способ количественного определения степени деформации в лунке по формуле

$$\psi = \frac{M - F}{M}, \quad (1)$$

где M – площадь поверхности отпечатка; F – площадь проекции отпечатка на первоначальную плоскость.

Равенство (1) также можно представить в виде

$$\psi = 1 - \frac{d^2}{D \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2} \right]} = \frac{4h^2}{4h^2 + d^2}, \quad (2)$$

где D – диаметр шара; d, h – диаметр и глубина восстановленного отпечатка.

Зависимости (1) и (2) характеризуют усредненную величину степени деформации в лунке, однако они не отражают максимальных деформаций, наблюдаемых на оси вдавливания шарика на глубине, примерно равной половине радиуса площадки контакта. Но, тем не менее, эти зависимости дают возможность в первом приближении оценить деформированное состояние. Напряжение в лунке можно подсчитать путем деления нагрузки P , приложенной к шару, на площадь поверхности лунки M :

$$H = \frac{P}{M}. \quad (3)$$

Эксперименты показывают, что диаграмма твердости, построенная в координатах $H - \psi$, $H - d$ или $H - h$, аналогична диаграмме растяжения. В частности, на диаграмме твердости наблюдаются такие же характерные точки $H_{\text{пл}}$, $H_{\text{г}}$ и H_{max} , что и на диаграмме растяжения, т. е. твердости на пределе пропорциональности, текучести и максимуме.

Наличие на диаграмме твердости характерных точек, таких же как на диаграмме растяжения, открывает более широкие возможности для определения механических свойств простыми испытаниями на твердость. В связи с этим само испытание на твердость принимает самостоятельное значение, по-видимому, не меньшее, чем испытание на растяжение.

Сопоставление твердости в характерных точках с соответствующими напряжениями при растяжении в таких же точках можно выполнить экспериментально и теоретически.

Теоретические исследования зависимостей вдавливания шара в идеально жестко-пластическое тело проводились академиком А. Ю. Ишлинским [3]. Напряжения под индентором в упругой области деформирования были определены М. П. Марковцом и В. И. Пашниной [4], а М. П. Марковцом совместно с Л. И. Куртеном [5] исследовалось пластическое деформирование в условиях ползучести. Коллективом М. П. Марковца также был разработан один из первых приборов для регистрации диаграммы «нагрузка – глубина вдавливания индентора».

Локальность и возможность безобразцового применения метода вдавливания шарового индентора делают его незаменимым в таких отраслях современной промышленности, как космическая, нефте-

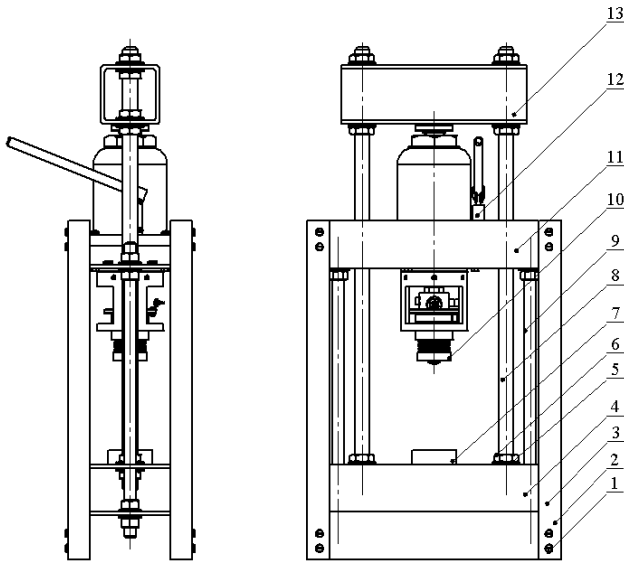


Рис. 2. Общий вид измерительного стенда (обозначения см. в тексте)

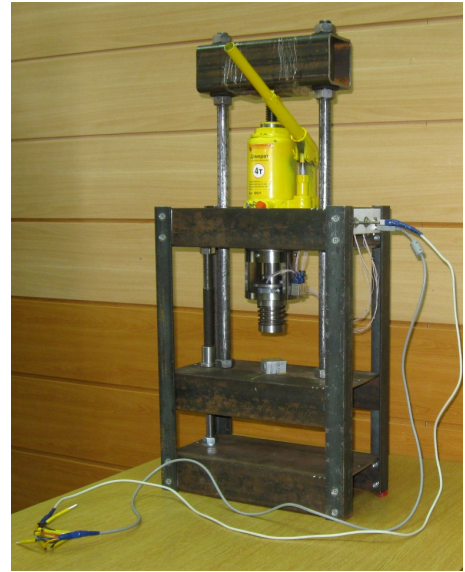


Рис. 3. Измерительный стенд в сборе

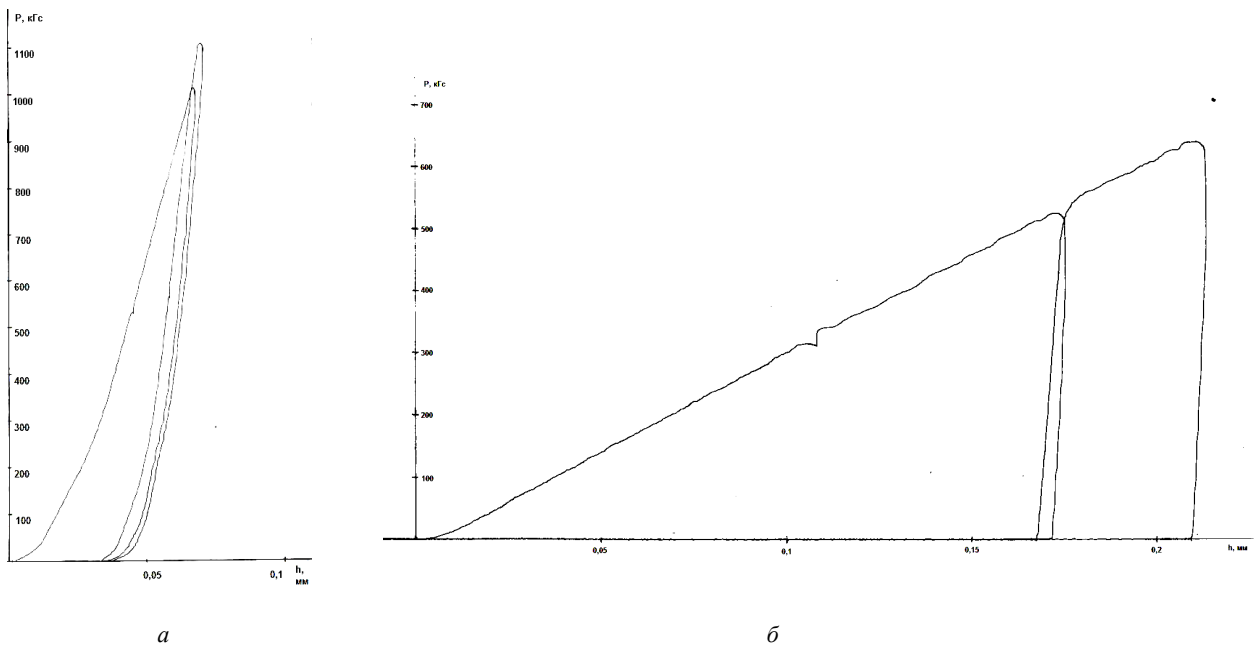


Рис. 4. Диаграммы «нагрузка – глубина вдавливания» для алюминиевого сплава (а) и легированной стали (б)

Стенд не требует строгой установки по уровню, так как в нем не используется сила тяжести для создания нагрузки с помощью грузов, как в твердомере Бринелля. Кроме того, он гораздо легче твердомера и может использоваться в передвижных лабораториях.

Тарировка измерительной системы проводится при помощи рычажного динамометра и индикатора часового типа с погрешностью измерения 0,01 мм.

Для оценки работоспособности измерительной системы были получены диаграммы «нагрузка – глубина вдавливания» (рис. 4) с использованием измерительного стенда и двухкоординатного потенциометра.

Испытания проводились на частях алюминиевых (рис. 4, а) и стальных образцов (рис. 4, б), прошедших стандартные испытания.

Представленное в данной статье конструктивное решение защищено патентом РФ на полезную модель 100291 и с полным основанием может быть рекомендовано для промышленной апробации.

Библиографические ссылки

1. Давиденков Н. Н. Некоторые проблемы механики металлов. Л. : Лениздат, 1943.

2. Марковец М. П. Построение диаграммы истинных напряжений по твердости и технологической пробе // Журн. техн. физики. 1949. Т. XIX, вып. 3. С. 371–382.

3. Ишлинский А. Ю. Осесимметричная задача пластичности и проба Бринелля // Прикл. математика и механика. 1943. Т. 8. С. 201.

4. Марковец М. П., Пашнина В. И. Исследования в области измерения твердости // Тр. металлург. инт-ов СССР. 1967. Вып. 91/151.

5. Марковец М. П., Куртен Л. И. Определение сопротивления ползучести металлов методом длительного вдавливания шара в вырезанную лунку // Проблемы прочности. 1981. № 9. С. 88–91.

N. N. Avtonomov, M. S. Puchnin

REGISTRATION OF THE SPHERICAL BALL INDENTOR DIAGRAM WITH THE USE OF THE NEW MEASURING HEAD

In the article the authors describe the new measuring head and stand for mechanical testing of metal materials. The experimental results are presented in the article as a «load-indentation depth» diagram.

Keywords: spherical indenter, indentation depth, hardness.

© Автономов Н. Н., Пучнин М. С., 2011

УДК 621.791.72

В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев, Т. Г. Вейсвер

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО СЛЕЖЕНИЯ ЗА СТЫКОМ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ*

Рассмотрено устройство автоматического позиционирования электронного луча по стыку свариваемых деталей во время сварки, в котором реализован поиск экстремума синхронным детектированием сигнала датчика (рентгеновского или вторично-эмиссионного). Измерительные операции осуществляются во время вывода луча из канала по направлению сварки.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, вторично-электронная эмиссия, рентгеновское излучение, синхронный детектор.

В настоящее время достаточно много внимания уделяется вопросам обеспечения точного позиционирования электронного луча по стыку свариваемых деталей при сварке протяженных стыков. В качестве источников информации о положении луча относительно стыка используются такие сопутствующие явления, как вторичная электронная эмиссия и рентгеновское излучение. В случае отсутствия оплавления свариваемых кромок характер изменения вторично-эмиссионного тока и интенсивности тормозного рентгеновского излучения от положения луча относительно стыка является одинаковым – экстремальным, при этом экстремум – минимум характеристики – соответствует совпадению координат луча и стыка, благодаря чему становится возможным применение унифицированного аппаратного состава для построения устройств слежения за стыком.

Анализ вторичных излучений при отсутствии оплавления не случаен, поскольку выделение информации о положении луча относительно стыка из канала проплавления затруднено из-за наличия высокого уровня помех. В то же время требуемую в процессе

сварки информацию можно получить в непосредственной близости от канала, что может быть реализовано, например, кратковременным выводом луча из канала, осуществлением измерительных операций и возвращением луча в зону сварки. При этом максимальное время вывода должно быть таким, чтобы не произошло заметных изменений в сварочной ванне, а скорость перемещения луча должна обеспечить ввод энергии, недостаточной для оплавления кромок стыка.

В разработанном авторами устройстве для автоматического слежения за стыком при электронно-лучевой сварке реализован поиск экстремума, основанный на способе синхронного детектирования сигнала датчика стыка. Применение синхронного детектирования основано на том, что при сканировании стыка электронным лучом в спектре сигнала датчика стыка появляются гармонические составляющие с частотами, кратными частоте сканирования. Так, амплитуда составляющей сигнала с частотой, равной частоте сканирования, пропорциональна отклонению луча относительно стыка, а ее фаза определяет направление смещения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 2.1.2/9274).