

пожара подкласса А1 порошками вследствие конечности времени передачи тепла, запасенного при пожаре, частицам огнетушащего порошка и ограниченности времени взаимодействия частиц с горючим материалом.

Результаты теоретического анализа процесса тушения пожара по площади качественно согласуются с результатами экспериментального изучения закономерностей тушения по площади модельных очагов пожара подкласса А1 огнетушащим порошком общего назначения, полу-

ченными работе [1].

#### Литература

1. Кицак, А.И. Экспериментальная оценка эффективности тушения пожара подкласса А1 локально по площади и локально по объему огнетушащим порошком общего назначения при его кратковременном воздействии на очаг пожара / С.М. Палубец, Д.В. Дробыш // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2019. – №1 (45) – С. 29–41.

УДК 621.3

## УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЕЙ МЕДИЦИНСКОГО ПРИБОРА

Скицюк В.И., Ключко Т.Р., Булык М.А.

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
Киев, Украина*

**Введение. Постановка задачи.** Медицинские приборы имеют разное строение, модификацию, особенности конструкций, и разную возможность их применения. Такое стремительное развитие вызвано совершенствованием отдельных блоков и модулей приборов, одни из которых отвечают за функции контроля, наблюдения, регистрацию показателей и их обработку, другие же отвечают за изменение положения конструкций отдельных модулей медицинского прибора. Вполне естественно, что они содержат в себе элементы механики. Такое разнообразие конструкций и свойств медицинской аппаратуры должен обладать высокой работоспособностью и надежностью при эксплуатации, ведь от них может зависеть жизнь человека, состояние его здоровья. Поэтому актуальной задачей является создание устройств, которые будут осуществлять контроль изготовления приборов, в частности медицинских, а именно их деталей и узлов [1–3].

Важным параметром является твердость материалов, из которых изготавливаются детали медицинских приборов, поскольку твердость этих материалов имеет большое значение для износостойкости детали и ее возможности выполнять ту или иную поставленную задачу в определенных узлах прибора. В особенности, это касается сочетания деталей с различной твердостью и шероховатостью, когда их сочетанная работа может привести к быстрому износу в том случае, когда физико-механические параметры этих деталей не измерены достаточно точно [4].

Сама конструкция прибора также должна осуществлять свои функции и отвечать тем параметрам, которые нужны на производстве, а узлы данного прибора имеют иметь хорошую работоспособность и выработку. Если все эти условия будут обеспечены, то использование данного прибора будет эффективным, а учет и расчет поломок и

износа отдельных деталей и частей прибора для контроля твердости, может предотвратить случайные поломки и своевременно заменить компоненты прибора, чтобы продлить работоспособность прибора.

**Цель работы.** Разработка схмотехнических решений и принципов измерения микротвердости материала деталей разного назначения в условиях производства.

**Метод исследования.** Стойкость режущего инструмента при обработке деталей приборов [5] имеет первоочередное значение при режимах обработки, которые являются следствием свойств материалов, подлежащих обработке. Только на следующем этапе является контроль скорости износа режущего инструмента. Как следствие, современная промышленность произвела ряд методик измерения износа инструмента, при этом ситуация с определением твердости материала остается в том же состоянии, что и 10–20 лет назад. Как правило, используется ряд измерителей ручной конструкции, которая позволяет определять твердость при остановке станка и последующего введения систему CNC. Поэтому разработка таких измерителей твердости, которые работают в автоматическом режиме, требует конструкций и схем, подобных по своим принципам построения системам активных нулевых баз, но по обратному принципу.

Основной метод состоял в исследовании работы блок-схемы (рис. 1), которая разработана для контроля микротвердости деталей приборов, а также деталей, предназначенных для совместного функционирования с организмом, что составляет биотехническую систему [6, 7].

Таким образом, система состоит из модуля 1 контроля касания вершиной индентора поверхности контролируемой детали; датчика 2; блока 3 отладки рабочей частоты; каскадного динами-

ческого усилителя 4; компаратора 5; ключевого элемента 6; триггера 7. В системе предусмотрены блок 8 индикации; блок 9 гальванической развязки; модуль 10 контроля силы нагрузки. Основным модулем является датчик 11 электромагнитный. Система содержит блок 12 отладки на рабочую частоту; каскадный динамический усилитель 13; компаратор 14; ключевой элемент 15; триггер 16; устройство индикации 17; блок 18 гальванической развязки; генератор 19 дополнительный электромагнитного поля. Система измерителя соединена с системой CNC станка 20. На схеме (рис.1) представлены контролируемая деталь 21; индентор 22; упругий элемент 23; штанга 24 индентора; прецизионный элемент касания 25; а также регулятор 26 диапазонов давления.

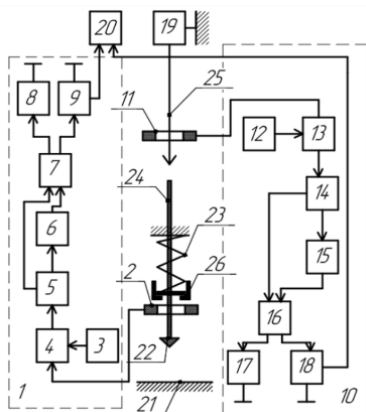


Рисунок 1 – Блок-схема микротвердомера

**Результаты исследования.** Разработана конструкция измерителя Микротвердомер М20-2. Данная конструкция является оригинальной, и разработана для использования на производствах имплантов и протезов, а также деталей разных приборов, а в частности медицинских.

Разработанный микротвердомер М20-2 имеет сложную конструкцию. Сущность конструкции заключается в том, что он имеет возможность измерять твердость в двух координатах, то есть по Z или Y, или X. Для того, чтобы обеспечить такие возможности измерения, М20-2 имеет свойство изменения формы. В устройстве микротвердомера это обеспечивается специальной конструкцией, которая позволяет менять форму. При этом это или прямая, или Г-образная.

В связи со сложностью конструкции у прибора можно выделить несколько отдельных фрагментов описания функциональных частей. Такими частями являются: радиоэлектронная часть измерения и управления; хвостовик с движущим механизмом; подвижная часть с индикатором; модуль индентора.

**Технические характеристики М20-2:**

- Диапазон нагрузок 0,0019 ... 5 Н;
- Управление нагрузками – автоматическое;
- Условия эксплуатации: -5 °С...+40 °С;

- Габаритные размеры, не более 296×52×72 мм;
- Масса, не более 1 кг.

Особенностью данной конструкции является то, что она используется непосредственно на обрабатывающих металлорежущих станках, с помощью которых осуществляется обработка металлических частей протезов, имплантов, медицинских деталей. Ведь другие современные микротвердомеры, например, типа НМV-G20, НМV-G21, ПМТ-3[4], предназначенные для измерения твердости материалов по шкале Викерса в соответствии с ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007, не имеют таких свойств и возможностей работы с отдельным оборудованием, которое требует дополнительного пространства, а также имеет особые требования к установке и эксплуатации в производстве.

**Выводы.** Преимуществами разработанного прибора для измерения свойств различных типов и модификаций деталей из различных материалов является его применение на промышленных станках, что позволяет использовать данный прибор в промышленности при производстве деталей приборов, а также металлических имплантов, осуществлять контроль их твердости, не снимая предварительно деталь из рабочего пространства станка. Это дает современному приборостроению возможность экономии времени и оптимизации производства, что также может в большей степени отразиться на экономике предприятия. Ведь операции контроля различных типов имплантов требуют специальных установок, которые используются только в лабораториях, и которые имеют значительные размеры и требуют соблюдения соответствующих условий эксплуатации. Кроме того, представленная головка может устанавливаться в портативных переносных приборах для расширения их областей применения.

Таким образом, мы можем сказать, что данный прибор, его конструкции и особенности применения делают его практическим средством для контроля микротвердости, который может составить конкуренцию современным приборам контроля, обуславливает дальнейшее развитие и совершенствование модели.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке МОН Украины НИР ДР 0117U004263.

**Литература**

1. Тимчик, Г.С. Засоби контролю процесів механообробки надточних деталей: монографія / Г.С. Тимчик, В.І. Скицюк, М.А. Вайнтрауб, Т.Р. Ключко. К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 516 с.
2. Скицюк, В.И. Физика технологии ТОНТОР: монография / В.И. Скицюк, Т.Р. Ключко. – Саарбрюкен, Германия: ИД LAP Lambert Academic Publishing, 2015. – 332 с.
3. Tymchyk, Gr.S. Basic principles of technological object's touch registration during machining materials /

Gregory S. Tymchyk, Volodymyr I. Skytsiuk, Tatiana R. Klotchko, Andrzej Kotyra, Azat Turgunbekov, Saule Smailova // *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 95, NR 4/2019.

4. Крагельский, И.В. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн. Кн. 1. / И.В. Крагельский, В.В. Алисица. – М.: Машиностроение, 1978. – 400 с.

5. Армарего, И. Дж. А. Обработка металлов резанием / И. Дж. А. Армарего, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.

6. Булик, М.О. Автоматизованый модуль контролю твердості матеріалу штучних імплантів / В.І. Скицюк, Т.Р. Ключко / Збірн. статей. XI науково-практ. конфер. студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє», 15-16 травня 2018 р., м. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – С. 329-332.

7. Патент Украины 128709 МПК (2017.01) GOIN 3/40. Спосіб вимірювання мікротвердості деталі / В.І. Скицюк, Т.Р. Ключко, М.О. Булик, М.М. Печонка. – Опубл. 10.10.2018. Бюл. № 19.

УДК 620.178

## ОЦЕНКА ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УДАРНОГО ВДАВЛИВАНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ИНДЕНТОРА, СКОРОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛА

Ланцман Г.А., Рудницкий В.А., Крень А.П.

Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики НАН Беларуси»  
Минск, Республика Беларусь

Известно, что механические характеристики металлов, измеренные при динамическом нагружении, как правило, имеют более высокие значения, чем эти же характеристики, определенные при плавном приложении нагрузки. Считается, что основным параметром, который влияет на это увеличение, является скорость пластической деформации  $\dot{\epsilon}$ . Особым случаем нагружения является удар. При ударном индентировании процесс деформирования не является в полной мере контролируемым со стороны исследователя, а  $\dot{\epsilon}$  является сложной характеристикой, зависящей как от условий испытаний, так и от свойств контролируемого материала.

Для определения скорости пластической деформации в настоящее время применяются различные выражения [1–3]. Так, в работе [1] предлагается использовать с этой целью отношение скорости перемещения индентора  $V$ , которая в процессе испытания поддерживается постоянной, к величине параметра индентирования  $\gamma$ :

$$\dot{\epsilon} = \frac{V}{\gamma} \quad (1)$$

В качестве  $\gamma$  может использоваться как диаметр пластического отпечатка  $d_c$ , так и контактная глубина вдавливания  $h_c$ , образующиеся при внедрении в металл индентора диаметром  $D$  и массой  $m$  с предударной скоростью  $V_0$  (рис.1). Влияние  $d_c$  и  $h_c$ , оказываемое на  $\dot{\epsilon}$ , примерно одного порядка, и порядок значений  $\dot{\epsilon}$  тоже примерно сохраняется. При этом  $d_c$  можно считать мерой сдвиговой (радиальной), а  $h_c$  – нормальной составляющей пластической деформации. Применительно к ударному нагружению  $\dot{\epsilon}$  может рассчитываться как усредненная за весь удар, так и мгновенная, изменяющаяся в процессе нагружения. Рассмотрим влияние параметров индентирования ( $D$ ,  $m$ ,  $V_0$ ) и характеристик материала (динамической твердости  $H_d$ ) на значение средней скорости пластической деформации  $\bar{\dot{\epsilon}}$ .

Не смотря на то, что в процессе удара скорость вдавливания  $V(t)$  меняется, будем рассматривать  $V = V_0$ . Для определения  $\bar{\dot{\epsilon}}$ , для случая  $\gamma = d_c$ , найдем  $d_c$  из уравнения для динамической твердости [4]:

$$H_d = \frac{W_0 \cdot 32 D}{\pi d_c^4}, \quad (2)$$

где  $W_0 = \frac{mV_0^2}{2}$  – предударная энергия,  $\frac{\pi d_c^4}{32D}$  – объем пластического отпечатка.

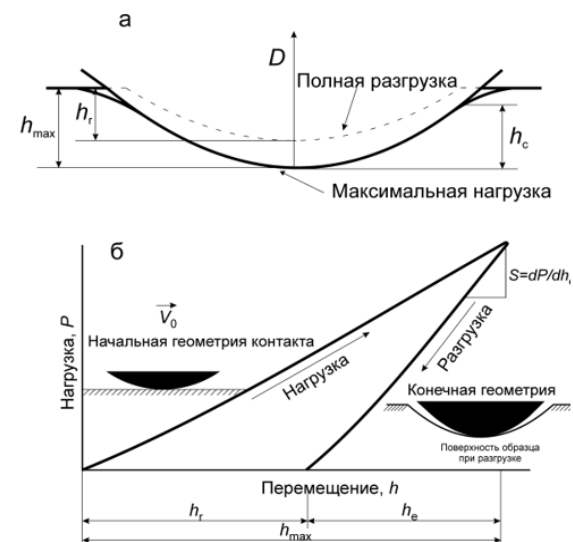


Рисунок 1 – Процесс динамического взаимодействия индентора и испытуемого материала:  
а – схема контакта, б – диаграмма нагружения

Определим  $d_c$  из (2) и подставим в (1), получим выражение для скорости радиальной составляющей пластической деформации:

$$\bar{\dot{\epsilon}}_r = 0,66 \cdot \left( \frac{V_0^2 H_d}{mD} \right)^{1/4}. \quad (3)$$