

УДК 620.178.153

КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ*

Докт. техн. наук, проф. РУДНИЦКИЙ В. А., асп. МИНЧЕНЯ В. В., РАБЦЕВИЧ А. В.

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Твердые металлические покрытия, нанесенные на металлическую основу, с точки зрения механики контактного взаимодействия представляют собой сложные структуры, обладающие комплексными реологическими свойствами, формируемыми как материалом покрытия, так и материалом основы с учетом межслойного взаимодействия. Чувствительность таких структур к скорости деформации проявляется в зависимости контактной силы от глубины внедрения $P(\alpha)$, что позволяет по экспериментально определенным усилиям внедрения дать оценку динамического сопротивления структуры [1, 2]. Испытание при высоких скоростях деформирования представляет интерес в связи с разработкой модели взаимодействия жесткого индентора с двухслойной металлической структурой в условиях высокоскоростного контактного взаимодействия и основанной на ней методики измерений твердости защитных покрытий.

Особенностью индентирования тонких металлических покрытий является вклад основы в полученную экспериментальную зависимость $P(\alpha)$. Таким образом, для регистрации механических свойств покрытия и снижения влияния основы необходимо придать индентору геометрическую форму, способствующую интенсивному развитию пластической деформации в непосредственной близости от поверхности контакта. Такими свойствами обладают конусные и пирамидальные инденторы. В работе использованы конусные наконечники с углами при вершине 60, 90 и 120°.

Динамическую зависимость $P(\alpha)$ легко получить в результате численного интегрирования и дифференцирования кривой скорости $v(t)$ движения индентора в процессе соударения [3]. Поэтому в целях определения значений P и α необходимо иметь осциллограмму ударного процесса для конкретных условий удара. Для снятия кривой изменения скорости индентора в ходе ударного взаимодействия была разработана специальная установка динамического индентирования с гравитационным разгоном индентора и индукционным датчиком скорости. Схема механической части установки приведена на рис. 1.

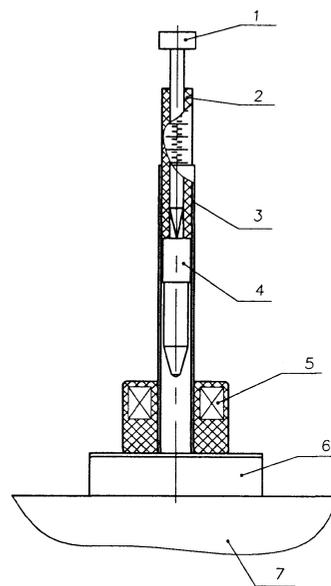


Рис. 1

* Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор Т99/128) и международного фонда INTAS (договор YSF 2001/2-107).

Устройство состоит из направляющей трубки 3 с катушкой индукционного датчика 5. Индентор 4 удерживается пусковым штоком 1 на высоте H , которая определяется уровнем установочной втулки 2, снабженной для этой цели специальной шкалой с ценой деления 0,5 мм. Таким образом обеспечивается заданная предупредительная скорость $v_0 = \sqrt{2gH}$ (g – ускорение свободного падения). Устройство устанавливается на образец 6, который приклеен тонким слоем консистентной смазки к массивной накопительной базе 7. На рис. 2 представлен типовой индентор

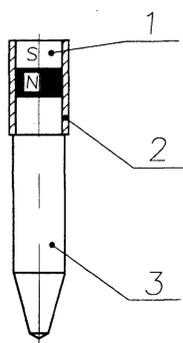


Рис. 2. Индентор для высокоскоростных испытаний двухслойных металлических структур: 1 – магнит (Sm-Co); 2 – втулка (латунь ЛС-59); 3 – наконечник (ВК-8)

тор, применявшийся в ходе экспериментальных исследований. Магнит индентора 1 (рис. 2) является якорем индукционного датчика (рис. 1), а также служит для удержания индентора штоком на требуемой высоте в направляющей трубке.

При выполнении измерения шток поднимают до нарушения магнитного контакта с индентором, в результате чего последний под действием силы тяжести падает с заданной высоты на поверхность образца. Процесс контактного взаимодействия в форме зависимости скорости от времени регистрируется индукционным датчиком.

Механическая энергия системы определяется величиной кинетической энергии индентора в момент его соударения с поверхностью образца. Очевидно, что при динамическом характере процесса внедрения реакция структуры определяется соотношением составляющих кинетической энергии, т. е. при неизменной ее величине определяющим является соотношение

массы индентора и его скорости. Следовательно, при выполнении единичного испытания следует строго оговаривать не только величину предупредительной энергии, но и значение массы индентора, а также его предупредительной скорости.

Применяемые в работе инденторы имели массу $4,5 \pm 0,1 \cdot 10^{-3}$ кг. Предупредительные скорости изменялись в диапазоне 0,01...0,5 м/с в условиях гравитационного движения инденторов при высотах сбрасывания от 0,5 до 20 мм.

Электрическая часть установки представляет собой систему аналого-цифрового преобразования сигнала индукционного датчика с выводом информации в цифровой форме в память персонального компьютера для ее последующей обработки посредством программного обеспечения. Структурная схема аналого-цифрового преобразователя представлена на рис. 3. Индукционный преобразователь 1 является устройством, чувствительным к скорости механического перемещения. При движении магнита индентора в катушке преобразователя наводится ЭДС, которая подлежит усилению предварительным усилителем 2 и далее подается на вход АЦП 3. Одновременно ЭДС датчика подается на компаратор 6, срабатывающий при изменении полярности сигнала, что соответствует точке изменения направления вектора скорости индентора, т. е. сигнал с компаратора поступает в момент начала этапа отскока индентора.

Значения мгновенного уровня ЭДС датчика в цифровой форме подаются с выхода АЦП на входы оперативного запоминающего устройства 4 и записываются по адресу, выставленному счетчиком 8. Устройства синхронизируются кварцевым генератором, работающим с частотой 1 МГц. Емкость оперативного запоминающего устройства равна $2K \times 8$, что при периоде следования тактовых импульсов $T_{\text{и}} = 2 \cdot 10^{-7}$ с соответствует ~408 мкс записи в реальном времени. Процесс аналого-цифрового преобразования с записью в ОЗУ выполняется непрерывно. При возникновении сигнала с компаратора процессор 7 запоминает состояние выходов счетчика и, когда счетчик отсчитывает половину адресного пространства оперативной памяти с момента срабатывания компаратора, останавливает процесс счета. В памяти оказывается записанная кривая изменения скорости индентора

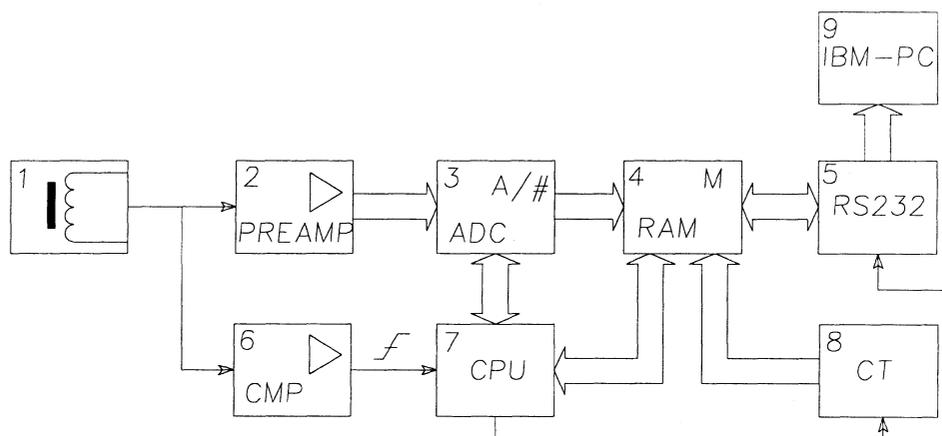


Рис. 3

тора на активном (204 мкс до срабатывания компаратора) и пассивном (204 мкс после срабатывания компаратора) этапах контактного взаимодействия. Далее устройство 5 выставляет на шину интерфейса с ПЭВМ сигнал готовности данных. Посредством программного обеспечения производится поадресное считывание информации из ОЗУ устройства АЦП в память ПЭВМ 9 в асинхронном режиме, т. е. процессор дает команду о выставлении данных по следующему адресу только при сообщении ПЭВМ о готовности. Процесс является наиболее продолжительным ввиду того, что операционная система компьютера, как правило, параллельно выполняет ряд других процессов. Особенно это проявляется при работе под управлением MS Windows.

Для представления экспериментальной информации в графической форме, расчета физико-механических характеристик исследуемого материала и управления работой экспериментальной установки был разработан пакет прикладных программ, который реализует алгоритмы решения задач, связанных с вводом информации в ЭВМ из АЦП, обработкой этой информации и выдачей результатов на устройства вывода для обслуживания эксперимента.

Для решения поставленной задачи программирования периферийного оборудования и оборудования связи компьютера с экспериментальной установкой был использован язык программирования высокого уровня Pascal фирмы

Borland®. Язык программирования согласуется с международным стандартом ИСО 7185–83 и включает ряд расширений для повышения эффективности эксплуатации. Интерфейс программы представлен на рис. 4.

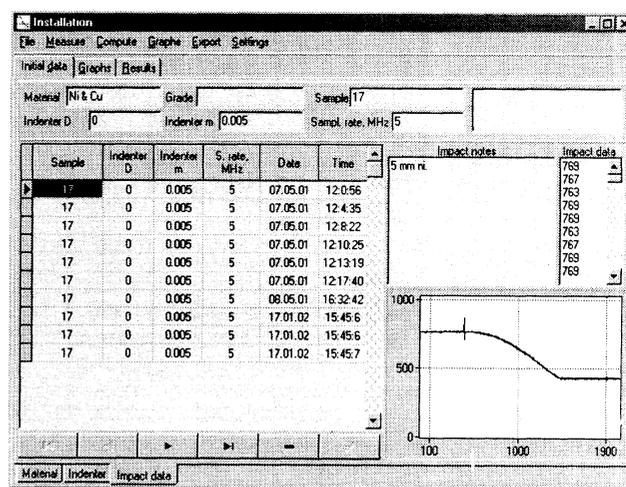


Рис. 4

ЛИТЕРАТУРА

1. Инженерные методы исследования ударных процессов / Г. С. Батуев, Ю. В. Голубков, А. К. Ефремов, А. А. Федосов. – М.: Машиностроение, 1977. – 240 с.
2. Степанов Г. В., Сафонов Э. Г. Сопротивление металлов динамическому внедрению конического индентора // Проблемы прочности. – 1986. – № 5. – С. 80–83.
3. Rudnitsky V. A., Djakovich V. V. The estimation of Metallic Materials by Dynamic Indentation Method // Materials Science Forum. – 1996. – Vol. 210–213. – P. 391–396.