

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕТАНИЯ

Ю. В. Гаек, С. П. Клявзо, В. П. Мелихов

(Днепропетровск)

Измерение с высокой степенью точности параметров метания стенки трубы скользящей детонационной волной является сложной экспериментальной задачей. Определяют процесс метания параметры: угол поворота β и скорость точки контакта с воображаемой поверхностью соударения v_k [1]. В экспериментальной практике бывает необходимо измерить значения β и v_k с погрешностью, не превосходящей 1%. Такая необходимость возникает при изучении разброса β и v_k по поверхности трубы от опыта к опыту или при оценке факторов, вызывающих слабые возмущения режима метания, при проверке теоретических соотношений и т. д. Экспериментальная практика пока не располагала методом, который одновременно достаточно прост, точен и надежен. Различные оптические методы высокоскоростной регистрации обеспечивают пространственную разрешающую способность не более 50 л/мм [2] и тем самым при измерении β и v_k дают погрешность заметно большую, чем 1%; реохордные методы [3, 4] гарантируют, по нашим оценкам, предельную точность около 2%; интерферометрические [5] и радиоэлектрические методы на основе эффекта Доплера [6] дают точность измерений на уровне 1%, но они громоздки и труднодоступны.

В данной статье описан дифференциальный электроконтактный метод, позволяющий определять параметры метания с точностью не хуже 1% и отличающийся от известных [8] электроконтактных методов тем, что измерение не вызывает каких-либо нарушений режима метания. Определение «дифференциальный» подчеркивает, что фактически измеряется не абсолютное значение угла поворота β , а небольшая поправка $+\Delta\beta$ к величине $\beta_{расч}$, рассчитанной по одному из известных [7, 8] соотношений. Благодаря этому достигается высокая разрешающая способность предлагаемого метода.

Схема датчика в случае измерения предельного угла поворота метаемого слоя (после окончания разгона) приведена на рисунке, из которого нетрудно получить следующее соотношение для определения β :

$$\operatorname{ctg} \beta = (x_{12} - v_k t_{12}) / y_{12}, \quad (1)$$

где t_{12} — промежуток времени между замыканиями контактов 1 и 2 с метаемым слоем — берется со знаком плюс или минус в зависимости от очередности замыкания, которая определяется из осциллограммы ($t_{12} > 0$ при $\beta > \beta_{расч}$ и $t_{12} < 0$ при $\beta < \beta_{расч}$). Контакты 1 и 2 задают угол $\beta_{расч}$, контакты 2 и 3 — поверхность соударения, п — контакт для запуска развертки осциллографа. Пользуясь теорией ошибок [9], можно показать, что погрешность определения β по (1) может быть вычислена из следующих выражений:

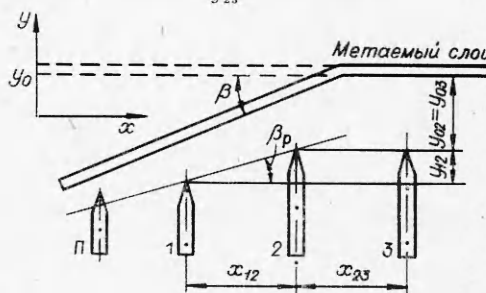
$$\sigma_\beta = \frac{\sin^2 \beta}{y_{12}} \sqrt{\sigma_{x_{12}}^2 + (t_{12} \sigma_{v_k})^2 + (v_k \sigma_{t_{12}})^2 + (\sigma_{y_{12}} \operatorname{ctg} \beta)^2}, \quad (2)$$

$$\left(\frac{\sigma_{v_k}}{v_k} \right)^2 \approx \left(\frac{\sigma_{x_{23}}}{x_{23}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{t_{23}}}{t_{23}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{y_{23}}}{y_{23}} \right)^2, \quad (3)$$

$$\sigma_t = \frac{NT}{L} \sqrt{\left(\frac{l}{L} \sigma_L \right)^2 + \sigma_l^2}, \quad (4)$$

где σ_A — средняя квадратичная погрешность величины A ; $\sigma_{y_{23}}$ — погрешность, обусловленная тем, что на практике строгое равенство $y_{02} = y_{03}$ (см. рисунок) никогда не достигается; $v = 2v_k \sin(\beta/2)$ — скорость метания стенки трубы; L — длина N периодов меток времени на осциллограмме; T — длительность периода меток времени, причем в (4) принято $\sigma_T = 0$; l — длина измеряемого на осциллограмме отрезка времени t (l_{12} или l_{23} для t_{12} и t_{23} соответственно).

Анализ формул (2)–(4) показывает, что описанный метод дает минимальную погрешность при $t_{12} = 0$,



т. е. при $\beta = \beta_{\text{расч}}$. При $\beta > \beta_{\text{расч}}$ погрешность быстро увеличивается, а при $\beta < \beta_{\text{расч}}$ имеет место медленное нарастание σ_β . Следовательно, для обеспечения высокой точности измерений необходимо располагать контакты 1 и 2 так, чтобы выполнялось неравенство $\beta \leq \beta_{\text{расч}}$.

Предложенный метод прошел длительную проверку. В экспериментах применялись контакты игольчатого типа из медной проволоки диаметром 1 мм. Заострение проводилось химическим или электрохимическим способом так, чтобы под микроскопом УИМ-21 практически не было заметно скругление острия. Процесс замыкания контактов регистрировался осциллографом ОК-33. Многократные измерения на микроскопе дали следующие значения суммарных (с учетом погрешности УИМ-21) средних квадратичных ошибок: $\sigma_t \approx 4 \cdot 10^{-6}$ м, $\sigma_L \approx 10^{-5}$ м, $\sigma_{x_{12}} \approx \sigma_{x_{23}} \approx 3 \cdot 10^{-6}$ м, $\sigma_{y_{12}} \approx \sigma_{y_{23}} \approx 10^{-5}$ м. Примеры вычисления погрешности в конкретных опытах приведены в таблице.

Параметры трубы				Результаты парных измерений			6 σ_β расчет
наружный диаметр, мм	толщина стенки, мм	длина, мм	материал	v_k	β	$\Delta\beta$	
42	3	200	12X18H10T	3570	6°09'	3'	13'
				3580	6°12'		
				3580	6°02'	12'	13'
				3570	6°14'		
34	4	250	АМг6	2600	7°45'	17'	16'
				2630	8°02'		
				2980	8°35'	4'	18'
				3010	8°39'		

Примечание. Относительная погрешность $\sigma_\beta / \beta = 0,6\%$.

С целью проверки соотношений (2) — (4) проведено несколько экспериментов, в которых металась стенка водонаполненной цилиндрической оболочки взрывом соосно расположенного цилиндрического заряда. Угол поворота измерялся одновременно двумя датчиками, соответствующие контакты которых располагались вблизи одних и тех же точек (чтобы исключить влияние случайного разброса параметров метания). Согласно теории ошибок [9], разность измеренных таким способом двух значений угла поворота не должна выходить за пределы $6\sigma_\beta$ с доверительной вероятностью 99,4%. Результаты экспериментов приведены в таблице. Сравнение приведенных в ней значений $\Delta\beta$ и $6\sigma_\beta$ для каждого опыта говорит о том, что оценка точности метода по (2) — (4) согласуется с экспериментом.

В заключение следует отметить, что предложенный метод можно использовать и для регистрации участка разгона метаемого слоя. Для этого необходимо увеличить число контактов и расположить их по предполагаемой (расчетной) конфигурации метаемого слоя. Суть метода останется той же самой, изменятся лишь расчетные соотношения.

Поступила в редакцию
4/XI 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерibas, В. М. Кудинов и др. ФГВ, 1967, 3, 2.
2. К. Фольрат.— В сб.: Физика быстротекающих процессов. М., «Мир», 1971.
3. П. Рольф. Патент ФРГ, В23К 37/00, № 2205497.
4. Г. Е. Кузьмин, В. И. Мали, В. В. Пай. ФГВ, 1973, 9, 4.
5. Дюран, Лаараг и др. Приборы для научных исследований, 1977, 3.
6. Б. Кох.— В сб.: Физика быстротекающих процессов. М., «Мир», 1971.
7. А. А. Дерibas. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
8. Н. Н. Тарасенко. ФГВ, 1974, 10, 5.
9. А. Н. Зайдель. Ошибки измерения физических величин. Л., «Наука», 1974.