

O METODACH POMIARÓW PARAMETRÓW RUCHU ZEWNĘTRZNEJ POWIERZCHNI ŚCIANKI RURY ROZPĘCZANEJ WYBUCHOWO

WIKTOR BABUL, HENRYK DERENTOWICZ, MAREK FRUCZEK, EDWARD
WŁODARCZYK, ZBIGNIEW ZIÓŁKOWSKI (WARSZAWA)

1. Wstęp

W dziedzinie badań nad przemysłowym zastosowaniem energii materiału wybuchowego wiele prac poświęca się obecnie problemowi wybuchowego mocowania i zgrzewania rur w dnach oraz ścianach sitowych różnych urządzeń przemysłowych, a w szczególności urządzeń ciepłowniczych [1-4].

W każdym konkretnym przypadku otrzymanie właściwego zamocowania lub zgrzania rury w ścianie sitowej musi być poprzedzone wyznaczeniem parametrów ruchu ścianki rury w warunkach dynamicznych obciążeń. Wartości tych parametrów oraz ich zmianę w czasie wyznaczano teoretycznie w pracach [5-8] przyjmując, że masa inercyjna (osłona ładunku wybuchowego) i materiał rury są ośrodkami nieściśliwymi. Przybliżenie to w wielu praktycznych przypadkach nie zdaje egzaminu, otrzymuje się w rzeczywistości inny charakter zmian prędkości ścianki rury, szczególnie w początkowym okresie jej ruchu.

Lepsze przybliżenie do rzeczywistości daje model zaproponowany w pracy [9], w której zbadano procesy falowe w ośrodku wielowarstwowym z uwzględnieniem parametrów wytrzymałościowych poszczególnych warstw. Mimo to nie można jeszcze w chwili obecnej uwzględnić teoretycznie wiele czynników mających wpływ na charakter zmian prędkości i odkształcenia rozpęczanej wybuchowo rury, dlatego też równoległe prowadzone są prace nad odpowiednimi metodami pomiarowymi.

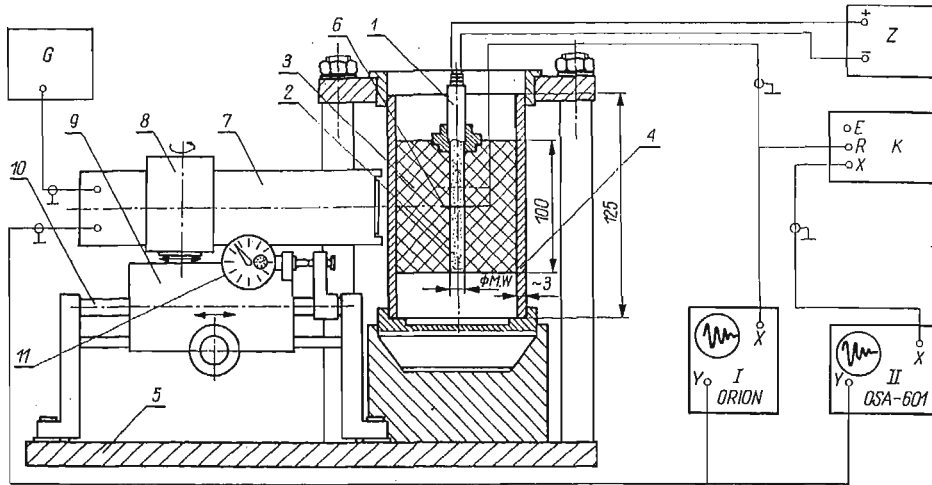
W pracy niniejszej przedstawiamy dwie metody pomiarów parametrów ruchu rury — pojemnościową i fotoelektryczną. Pierwsza z nich umożliwia dokładny pomiar ruchu ścianki rury w ograniczonym zakresie zmian parametrów ruchu. Druga natomiast nie ma ograniczeń ze względu na zakres pomiarów, jednak w porównaniu z pierwszą jest mniej dokładna.

Metodę pojemnościową stosujemy w przypadkach, kiedy chcemy mieć dokładną informację o poszczególnych fragmentach ruchu badanego obiektu, natomiast metodę fotoelektryczną stosujemy wtedy, kiedy interesuje nas całość ruchu bez wchodzenia w szczegóły poszczególnych jego faz.

W punkcie 2 dajemy opis metod, w trzecim omawiamy wyniki pomiarów. W punkcie 4 zamieszczamy wnioski dotyczące przedstawionych metod i otrzymanych za ich pomocą wyników pomiarowych.

2. Opis metod pomiarowych

2.1. Metoda pojemnościowa. Metoda pojemnościowa oparta jest na wykorzystaniu zjawiska zmiany pojemności końcowej głowicy w.cz. pod wpływem oddziaływania przemieszczającej się ścianki rury. Zmiana pojemności powoduje odstrojenie rezonatora od częstotliwości rezonansowej, wskutek tego zmienia się sygnał w.cz. podawany na detektor. Na wyjściu detektora otrzymuje się sygnał, którego amplituda jest funkcją odległości ścianki rury od czoła głowicy w.cz. Sygnał ten jest rejestrowany na lampie oscyloskopu.



Rys. 1

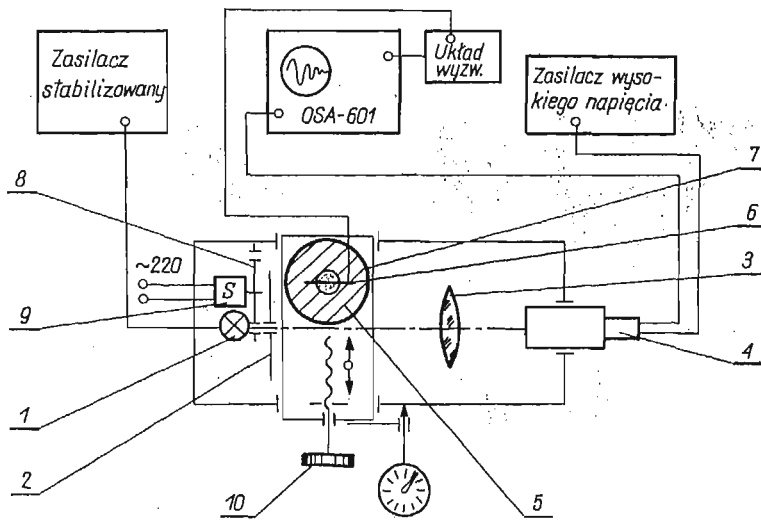
Schemat układu pomiarowego pokazano na rys. 1. Głowica w.cz. czujnika pojemnościowego 7, umieszczona jest w obszarze 8 zamontowanej obrotowo na karetkce 9, umożliwiającej jej płynne precyzyjne przesuwanie po prowadnicach statywu 10 w kierunku normalnym do tworzącej ścianki rury 4. Wartość zmian odległości czoła głowicy w.cz. od powierzchni rury wskazuje mikrometryczny czujnik zegarowy 11 o działce elementarnej $e = 0,01$ mm.

Statyw czujnika pojemnościowego umieszczony jest na płycie podstawowej przyrządu 5, służącej do sztywnego zamocowania badanej rury. Generator G o stabilizowanej częstotliwości i mocy wyjściowej generując falę ciągłą w pasmie 200 MHz zasila głowicę w.cz. Odległość czoła głowicy w.cz. od powierzchni rury 4 wpływa na pojemność jej obwodu rezonansowego ustalając w ten sposób poziom sygnału wyjściowego, który zostaje podany na wzmacniacze odchylenia pionowego oscyloskopów I i II. Zapalnik 1 inicjuje detonację ładunku wybuchowego 2 powodując zwarcie czujnika 6. Impuls czujnika wyzwala oscyloskop I oraz układ komenderujący K , który realizuje opóźnione wyzwolenie podstawy czasu oscyloskopu II, umożliwiając śledzenie wybranych fragmentów procesu rozpękania. Jednocześnie powierzchnia ścianki rozpękanej rury zbliżając się do czoła głowicy w.cz. powoduje zmianę jej pojemności modulując amplitudę napięcia wyjściowego. Rejestrowany na ekranie oscyloskopu sygnał jednoznacznie określa przemieszczenia ścianki rury w czasie.

Przed każdym pomiarem przeprowadzono skalowanie układu w warunkach statycznych zmieniając odległość między czołem głowicy w.cz. a ścianką rury na przewidywanym

zakresie pomiarowym. Skalowanie przeprowadzono w odcinkach co 0,02mm rejestrując spowodowane tym zmiany na ekranie lampy oscyloskopu. Wybranie tak małej bazy skalowania zapewnia dokładność rejestracji około $1 \div 2\%$.

2.2. Metoda fotoelektryczna. Istota metody polega na zastosowaniu fotopowielacza przetwarzającego zmianę strumienia świetlnego, modulowanego odkształceniem ścianki rozpęczanej rury, na zmianę napięcia rejestrowanego na lampie oscyloskopu katodowego OSA-601.



Rys. 2

Schemat układu pomiarowego pokazano na rys. 2. Strumień świetlny z żarówki o liniowym włóknie 1, ($U = 7V$ i $I = 0,3A$), przechodzący przez szczelinę w diafragmie 2, skupiony w soczewce 3, skierowany jest na fotokatodę fotopowielacza 4 i powoduje powstanie na jego wyjściu odpowiedniego sygnału elektrycznego. Przy detonacji ładunku wybuchowego 5 czujnik 6 powoduje «start» oscyloskopu. Jednocześnie rozpęczana rura 7 powoduje przysłanianie szczeliny i zmianę strumienia świetlnego. W ten sposób uzyskuje się na wyjściu fotopowielacza i na lampie oscyloskopu zmianę napięcia odpowiadającą zmianie odkształcenia rozpęczanej rury.

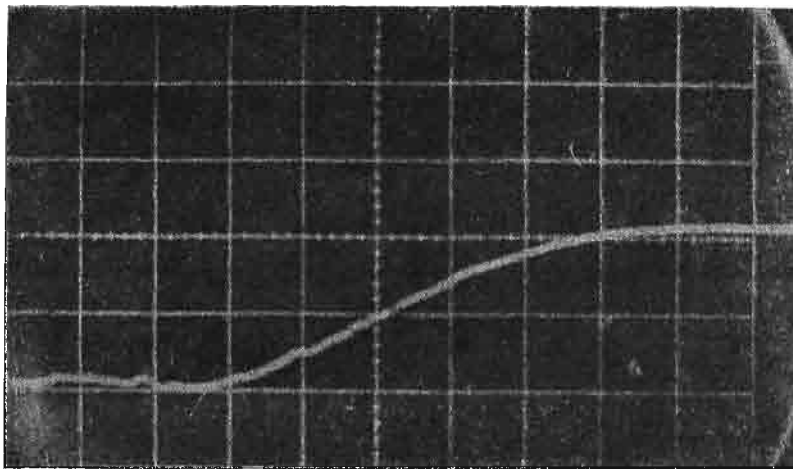
Przeprowadzone pomiary poprzedzono skalowaniem statycznym układu pomiarowego. W związku z zastosowaniem wzmacniacza prądu zmiennego strumień świetlny przy skalowaniu modulowano przy użyciu wirującej przesłony 8 umieszczonej na osi silniczka elektrycznego 9. Skalowanie przeprowadzono punktowo co 0,5mm przy użyciu mechanizmu 10, odczytując amplitudę impulsów na lampie oscyloskopu. Punkt pracy wybierano na prostoliniowym odcinku krzywej skalowania.

Dodatkowo opracowano metodę skalowania dynamicznego w trakcie właściwego pomiaru. W tym celu szczelinę w diafragmie 2 wykonano w postaci okienek o długości 0,3mm w odstępach co 0,2mm. Otrzymano schodkowy wykres przemieszczenia ścianki

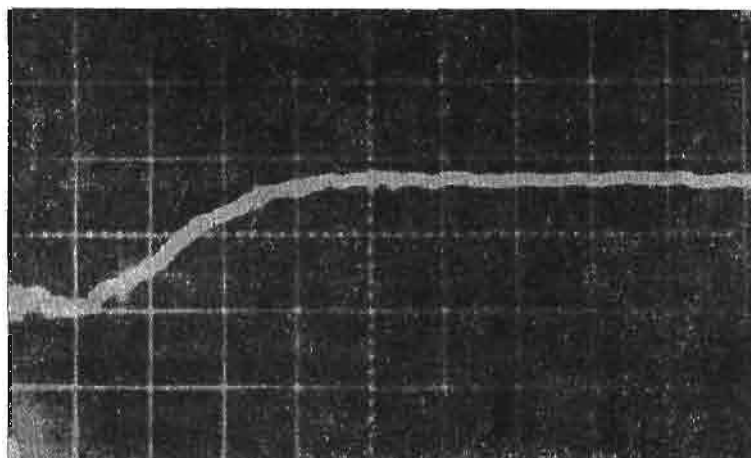
rury, pozwalający na bezpośredni odczyt rzeczywistej wartości tego przemieszczenia dla poszczególnych odcinków czasowych. Zastosowana metoda skalowania zapewnia dokładność odczytu około 10%.

3. Wyniki pomiarów

Za pomocą metody fotoelektrycznej przeprowadzono badania procesu wybuchowego rozpęczania rur o średnicy zewnętrznej $d_2 = 51$ mm i grubości ścianki $g = 3$ mm, wykonanych ze stali K10. Do badań użyto walcowych ładunków, w których obudowę stanowiły masy inercyjne o różnej gęstości, natomiast materiałem wybuchowym był heksogen flegmatyzowany o gęstości $\rho_0 \approx 0,9$ g/cm³.



Rys. 3

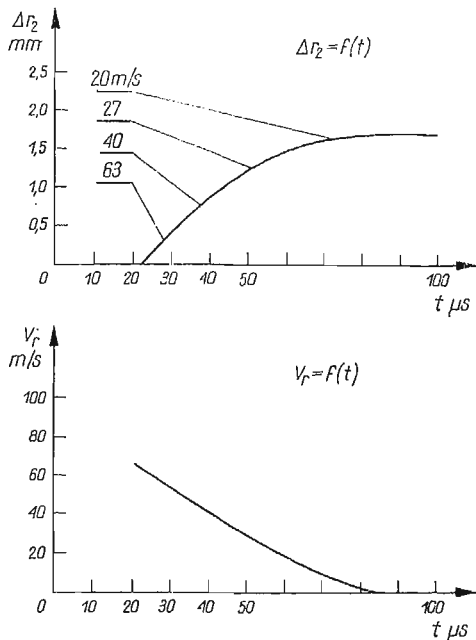


Rys. 4

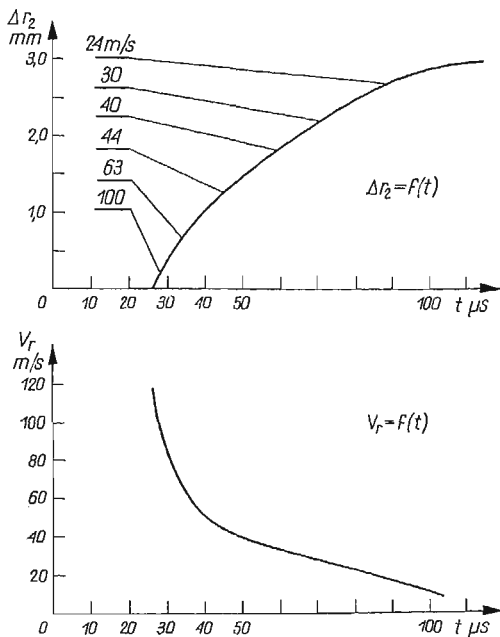
Przykładowe wyniki pomiarów pokazano na rys. 3 i 4. Przedstawiają one zmiany odkształcenia ścianki rury w czasie dla ładunków, w których masą inercyjną była parafina

o gęstości $\rho_1 \approx 0,9 \text{ g/cm}^3$, natomiast materiał wybuchowy posiadał średnicę $d_0 = 5 \text{ mm}$ (rys. 4) i $d_0 = 6,5 \text{ mm}$ (rys. 3).

Obliczone na podstawie przebiegów oscyloskopowych odpowiednie przebiegi zmian odkształcenia $\Delta r_2 = f(t)$ i prędkości $V_r = f(t)$ ścianki rury pokazano na rys. 5 i rys. 6.

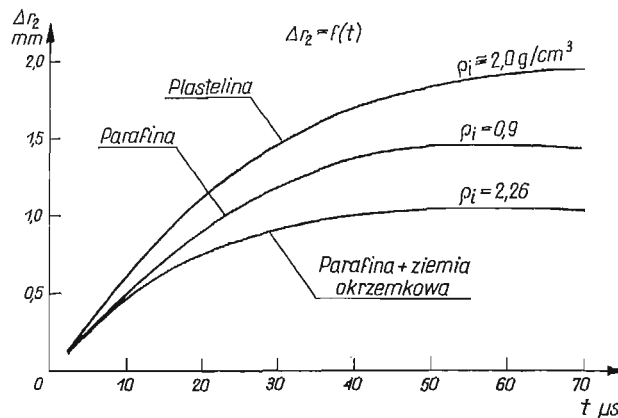


Rys. 5

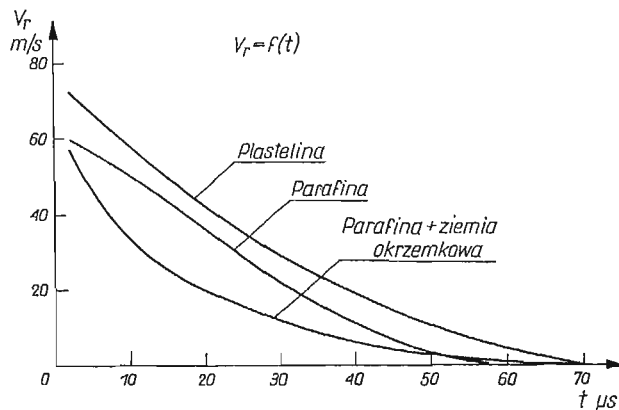


Rys. 6

Podobne wykresy zmian $\Delta r_2 = f(t)$ i $V_r = f(t)$ otrzymano dla różnych rodzajów mas inercyjnych przekonując się o dużym wpływie gęstości i ich struktury wewnętrznej na charakter dynamicznego odkształcenia ścianki rury. Przykład takiego oddziaływania ilustrują wykresy pokazane na rys. 7 i rys. 8. Podano na nich zmianę wartości odkształcenia i prędkości ścianki dla mas inercyjnych posiadających gęstość $\rho_i \approx 0,9, 2,0$ i $2,26 \text{ g/cm}^3$ (odpowiednio: parafina, plastelina i parafina z ziemią krzemkową) przy jednakowej średnicy materiału wybuchowego, wynoszącej $d_0 = 5 \text{ mm}$.



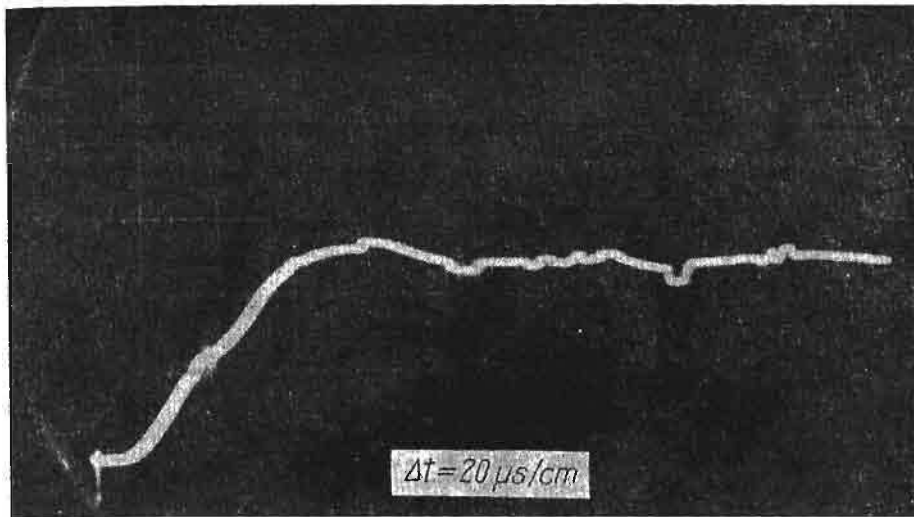
Rys. 7



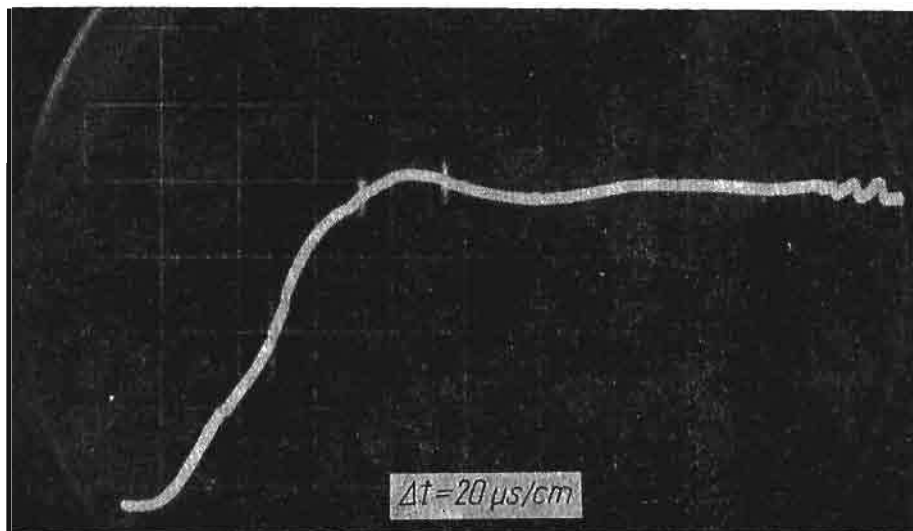
Rys. 8

Przedstawione wyniki pomiarów wykazują, że dla dwóch mas inercyjnych o zbliżonej gęstości można uzyskać różne wartości odkształceń i prędkości ścianki i odwrotnie dla mas o różnych gęstościach omawiane wartości równe. Wynika stąd, że zmiana prędkości i odkształcenia ścianki przy ustalonym ładunku materiału wybuchowego zależy od struktury masy inercyjnej i stopnia jej porowatości, a więc od zdolności tłumienia fali uderzeniowej, jej wytrzymałości, lepkości i innych własności decydujących o stopniu dysypacji energii wyzwolonej przy detonacji materiału wybuchowego.

Z kolei na rysunkach 9, 10, 11 pokazujemy oscylogramy uzyskane metodą pojemnościową dla ładunków wybuchowych o średnicach 4, 5 i 6 mm. Na oscylogramie przedsta-



Rys. 9

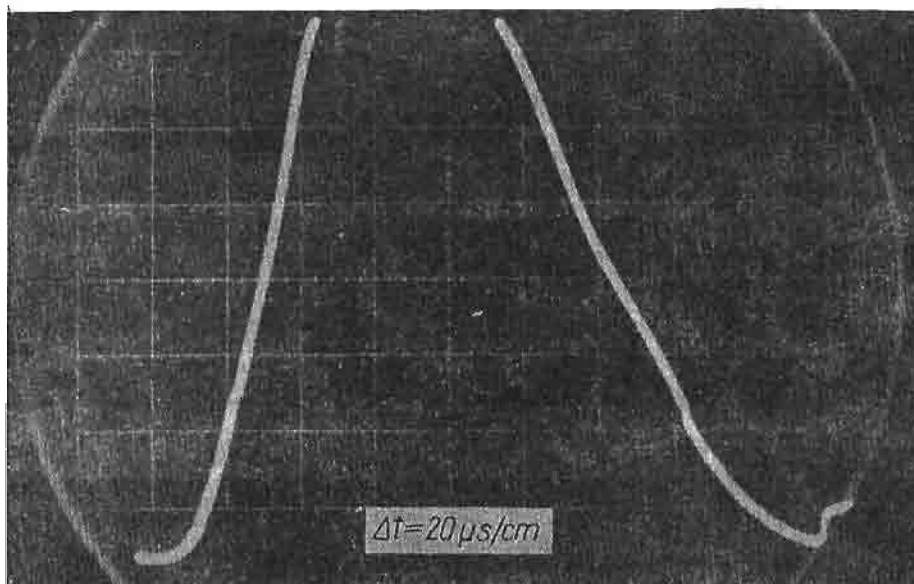


Rys. 10

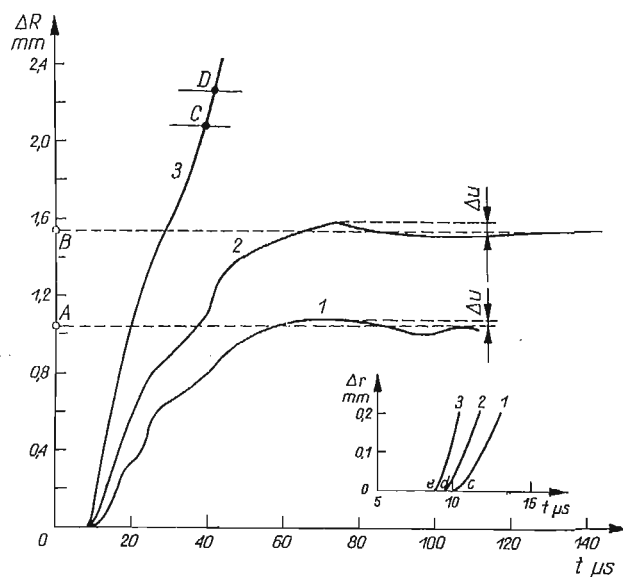
wionym na rys. 11 nie zarejestrowano maksymalnej wartości odkształcenia, co związane jest z ograniczonym zakresem pomiarowym czujnika. Opracowane wyniki pomiarów zmiany przyrostu promienia w funkcji czasu pokazane są na rys. 12. Punktami *A* i *B* zaznaczono tutaj trwałe maksymalne przyrosty promienia rury — ΔR_{max} . Uzyskano bardzo dobrą zgodność wyników dotyczących trwałych odkształceń rury, zmierzonych za pomocą mikrometru i odczytanych z oscylogramów.

Punktami *c*, *d* i *e* zaznaczono chwile rozpoczęcia ruchu ścianki rury. Wynoszą one odpowiednio: dla ładunku o średnicy 4mm — $10 \mu s$, dla 5mm — $9 \mu s$ i dla 6mm — $8 \mu s$. Mikrosekundowe różnice w czasach rozpoczęcia ruchu ścianek rur związane są przede

wszystkim ze zmienną grubością masy inercyjnej spowodowaną rosnącą średnicą ładunków wybuchowych oraz w mniejszym stopniu spadkiem intensywności fali uderzeniowej w płastelinie.

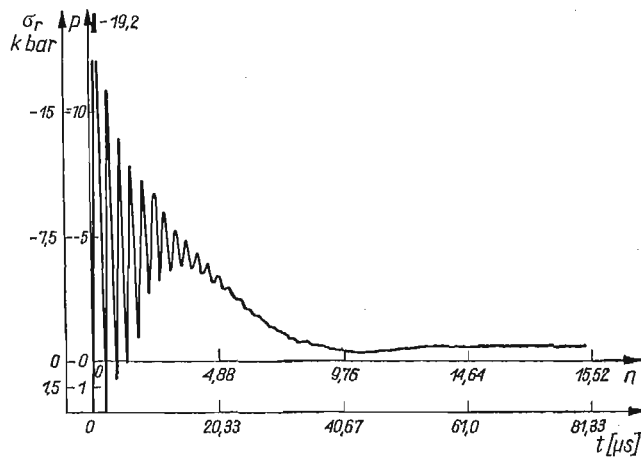


Rys. 11

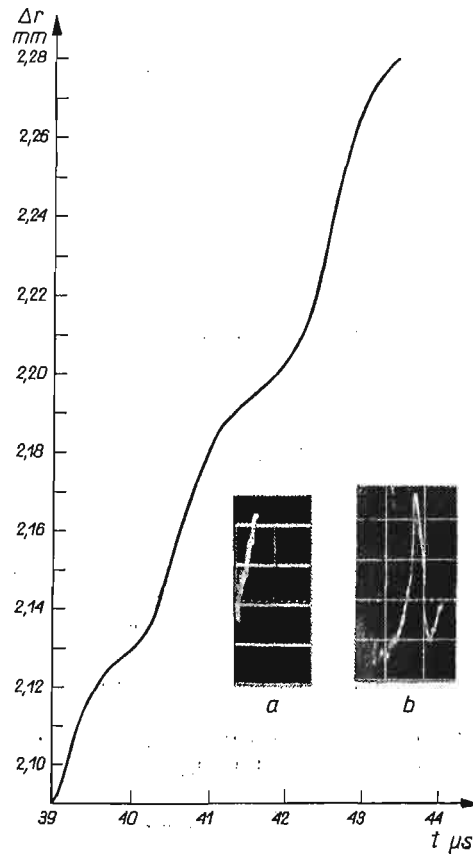


Rys. 12

Czułość metody pojemnościowej jest na tyle wysoka, że udaje się zarejestrować wartość powrotu sprężystego rury Δ_u (por. rys. 12), który odgrywa istotną rolę w doborze parametrów rozłącznego mocowania rur w dnach sitowych wymienników ciepła. Poza tym



Rys. 13



Rys. 14

udaje się również zmierzyć drgający ruch powierzchni rury, spowodowany kolejnymi odbiciami od swobodnych ścianek rury fali naprężenia, pokazanej na rys. 13 (wykres

wykonano na podstawie teoretycznych obliczeń wg wzorów podanych w [9]). Tego typu pomiary wykonano na odcinku krzywej CD (rys. 12) i przedstawiono na rys. 14. Drgający charakter zmiany parametrów w całym zakresie zmiany parametrów można zbadać tylko w sposób numeryczny, co zrobiono w pracy [9].

4. Wnioski końcowe

Przedstawione w niniejszej pracy metody pomiarów dynamiki rur rozpęczanych wybuchowo spełniają wymagania praktyki laboratoryjnej i inżynierskiej: są proste, łatwo dostępne i wygodne w praktycznych zastosowaniach. Metodą pojemnościową można mierzyć z bardzo dużą dokładnością poszczególne fragmenty ruchu badanego obiektu (ścianki rury). Metodę tę stosujemy w przypadkach, kiedy chcemy mieć dokładną informację o poszczególnych fragmentach ruchu lub też gdy zakres zmian parametrów ruchu badanego obiektu jest niewielki (rzędu kilku mm).

Metoda fotoelektryczna jest mniej dokładna w porównaniu do poprzedniej, ale za to nie ma praktycznie ograniczeń w zakresie pomiarowym. Stosujemy ją w przypadkach, kiedy interesuje nas całość ruchu bez wchodzenia w szczegóły poszczególnych jego fragmentów.

Przy okazji sprawdzania poprawności i efektywności metod stwierdzono bardzo istotny wpływ na parametry ruchu rury fizyko-mechanicznych własności masy inercyjnej w warunkach dynamicznych obciążeń.

Literatura cytowana w tekście

1. J. D. WILLIAMS and B. CROSSLAND, *Explosive Welding of Hard Drawn Copper Tubes to Tube-Plates*, Welding and Metal Fabrication, January 1969.
2. В. Г. СТЕПАНОВ, И. А. ШАВРОВ, *Экспериментальное исследование процесса взрывного деформирования труб в трубных досках теплообменных аппаратов*, Кузнечно-штамп. пр.-в. 10, 1969.
3. M. D. SNADWICK and al., *Explosive welding of tubes and tube-plates*, British Welding Journal, October 1968.
4. W. BABUL, H. DERENTOWICZ, J. CZECHOWSKI, J. BAGROWSKI, *Мосowanie rurek w dnach sitowych wymienników ciepła*, Sprawozd. 321(WAT)71, 1971.
5. В. ГАСК, Н. Е. НИКОТЧЕНКО, А. Н. СВИРИДЕНКО, Н. П. ЮРЧЕНКО, *Движение стенки трубы при осесимметричном взрывном нагружении*, Физ. Гор. и Взр., № 3, 1967.
6. Р. П. ДИДЬК, С. С. КРАСНОВСКИЙ, А. Г. ТЕСЛЕНКО, *Приближенный расчет осесимметричных движений стенки трубы при деформации взрывом*, Физ. Гор. и Взр., № 2, 1968.
7. А. В. КАШИРСКИЙ, Ю. В. КОРОВИН, В. А. ОДИНЦОВ, Л. А. ЧУДОВ, *Численное решение двумерной нестационарной задачи о движении оболочки под действием продуктов деформации*, ПМТФ, № 4, 1972.
8. А. В. КАШИРСКИЙ, Ю. В. КОРОВИН, В. А. ОДИНЦОВ, *Движение оболочки при осевой детонации*, ПМТФ, № 1, 1971.
9. W. BABUL, M. FRUCZEK, A. PAPLIŃSKI, E. WŁODARCZYK, *Propagation of a cylindrical wave in layered an elastic-viscoplastic medium*, Proc. Vibr. Probl. [w druku].

Резюме

О МЕТОДАХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СТЕНКИ ТРУБЫ, РАШИРАЕМОЙ ВЗРЫВОМ ЗАРЯДА В.В.

В работе обсуждены два метода непрерывного измерения параметров движения внешней поверхности стенки трубы, рашираемой взрывом заряда В.В.

Первый метод — емкостный, дает возможность точно измерить движение стенки трубы в ограниченном диапазоне изменений параметров движения. Второй — фотоэлектрический метод, дает возможность измерений без ограничения диапазона параметров движения, однако результаты измерений в начальной стадии движения менее точны, чем для первого метода. Перечисленные методы дополняются взаимно, перекрывая весь диапазон измеряемых параметров движения трубы и будучи простыми и удобными для применений в эксперименте. Выполнение исследования свидетельствуют о значительном влиянии физико-механических свойств инерционного материала на кинематические параметры движения стенки трубы.

S u m m a r y

ON MEASUREMENT METHODS OF KINEMATIC PARAMETERS OF EXTERNAL WALL SURFACE OF A TUBE SUBJECT TO EXPLOSIVE EXPANSION

Both the capacitive and photoelectric methods of measurement of kinematic parameters of the outside wall of a tube subject to explosive expanding are discussed in this paper. The first method gives correct measurements of kinematic parameters of the inside surface, but the measuring range is limited. The second one gives a possibility of measurements without limitation in range, but the accuracy is less than that in the first method.

Both methods mentioned above are complementary and cover all measuring ranges. They are simple and very useful in applications.

From the experiments performed a suggestion follows that properties of the intermediate material locked between the explosive charge and the tube significantly influences the kinematic parameters of a tube wall.

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA

Praca została złożona w Redakcji dnia 20 lipca 1973 r.
