

prof. dr hab. inż. Tadeusz Mikulczyński
mgr inż. Daniel Nowak
dr inż. Rafał Więclawek
Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji
Politechniki Wrocławskiej

POMIARY CIŚNIEŃ DYNAMICZNYCH W OŚRODKACH CIĄGŁYCH I ROZDROBNIONYCH

Zaprezentowano zastosowanie czujnika piezoelektrycznego do pomiaru nacisków w ośrodkach ciągłych i rozdrobnionych. Wykazano, że czujnik piezoelektryczny musi być wyposażony w adaptor cieczowy, umożliwiający pomiar bezkierunkowego ciśnienia w ośrodku rozdrobnionym. Zamieszczono wyniki badań własności dynamicznych opracowanego czujnika. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że opracowany adaptor cieczowy jest elementem bezinercyjnym. Przedstawiono również wyniki pomiaru nacisków, za pomocą opracowanego czujnika, w masie formierskiej zagęszczanej dynamicznie.

MEASUREMENTS OF DYNAMIC PRESSURES IN CONTINUOUS AND DISINTEGRATED MEDIA

Application of a piezoelectric sensor for pressure measurement in continuous and disintegrated media is presented. It has been proved that the piezoelectric sensor must be equipped with a liquid adaptor to enable measurement of non-directional pressure in a disintegrated medium. Examination results of the developed sensor dynamic properties are included. It has been found that the developed liquid adaptor is an inertialess element. Results of pressure measurement in dynamically densened moulding sand by means of the developed sensor are also presented.

1. WSTĘP

Zjawiska zachodzące w procesach takich jak: zagęszczanie impulsowe lub prasowanie dynamiczne materiałów rozdrobnionych charakteryzują się dużą dynamiką. Dokładny pomiar ciśnień dynamicznych umożliwiają jedynie czujniki piezoelektryczne. Zakres pomiarowy takich czujników jest rzędu kilkuset MPa, a częstotliwość graniczna sięga ok. 100-200 kHz.

Typowe, piezoelektryczne czujniki ciśnień są przeznaczone do pomiarów w ośrodkach ciągłych, czyli w cieczech i gazach. Z tego względu czujniki takie nie mogą być bezpośrednio stosowane do pomiaru nacisków występujących w ośrodkach rozdrobnionych typu grunty lub masy formierskie.

W pracy wykazano, że jest możliwy pomiar bezkierunkowego ciśnienia w ośrodku rozdrobnionym, z użyciem czujnika piezoelektrycznego, jeśli zostanie on wyposażony w dodatkowy element pośredniczący, przekazujący mierzoną wielkość nacisku do czuj-

nika. Aby pomiar był poprawny, zastosowany element pośredniczący powinien być bezinercyjny. Taki wymóg spełnia adaptor cieczowy.

W pracy zaprezentowano czujnik z adaptorem cieczowym do pomiaru nacisków w ośrodku rozdrobnionym, opracowany w Laboratorium Podstaw Automatyzacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, oraz jego zastosowanie do pomiarów bezkierunkowego ciśnienia wewnątrz masy formierskiej podczas jej dynamicznego prasowania [1, 2].

2. PRZETWORNIKI PIEZOELEKTRYCZNE

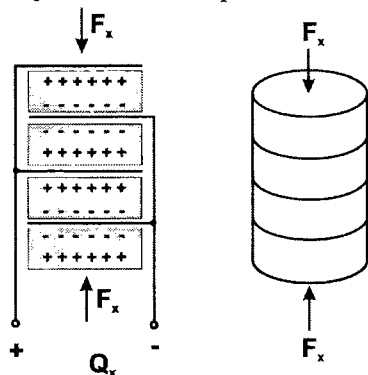
Zjawisko piezoelektryczne, odkryte w 1880 r. przez braci Curie, polega na powstawaniu ładunków elektrycznych na powierzchniach ograniczających niektóre rodzaje kryształów, przy ich rozciąganiu lub ściskaniu wzdłuż określonych osi kryształu. Własności piezoelektryczne wykazują kryształy naturalne np.: kwarc (SiO_2), turmalin, jak również kryształy sztuczne np. tytanian baru (BaTiO_3).

W budowie przetworników do pomiaru szybkozmiennych ciśnień najbardziej rozpowszechnił się kwarc ze względu na dużą wytrzymałość, dobre własności izolacyjne oraz niezależność charakterystyki piezoelektrycznej od temperatury w stosunkowo szerokim zakresie. Kwarc traci bowiem swoje własności piezoelektryczne dopiero po podgrzaniu do temperatury 573°C .

Wartość ładunku powstającego na powierzchni kryształu kwarcu jest proporcjonalna do odkształcenia, a w przypadku odkształceń sprężystych – do nacisku.

2.1. Budowa czujników piezoelektrycznych

W budowie przetworników piezoelektrycznych stosuje się płytki kryształów wykonywane w postaci walców, których wysokość jest mniejsza od średnicy. Aby zwiększyć ładunek, stosuje się stosy płytek nakładanych jedna na drugą i połączonych ze sobą równoległe (rys. 1). Dzięki temu sumują się wszystkie pojawiające się ładunki dodatnie i ujemne, co umożliwia zwiększenie czułości przetwornika.

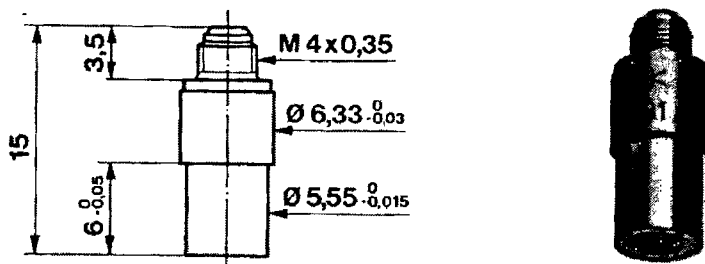


Rys. 1. Schemat budowy przetwornika piezoelektrycznego

Jedną z najistotniejszych cech przetwornika jest liniowość wskazań w całym zakresie pomiarowym. Przy szczególnie starannym wykonaniu i selekcji płytek, błąd nieliniowości może wynosić mniej niż 0,2%. W celu zapewnienia dobrej liniowości przetwornika, wszystkie płaszczyzny styku, zarówno płytek kryształu jak i części metalowych, muszą

być optycznie polerowane dla uzyskania idealnie gładkich płaszczyzn. Ponadto, w celu zapewnienia dużej liniowości przetwornika, płytki kryształów są podczas montażu poddane trwałemu obciążeniu ściskającemu, przez zastosowanie dwuczęściowej konstrukcji kadłuba i skręcenie obu części odpowiednio dużym momentem. Obciążenie płytek wywierane jest poprzez membranę zamykającą przetwornik od strony przestrzeni pomiarowej.

Na rysunku 2 pokazano przykładowy przetwornik ciśnień szybkozmiennych, firmy Kistler, zbudowany na bazie kryształów kwarcu.



Rys. 2. Piezoelektryczny przetwornik ciśnienia typu 601H firmy Kistler [3]

2.2. Czujnik w układzie pomiarowym

Przetwornik piezoelektryczny, po umieszczeniu metalowych elektrod na powierzchniach jego płytek, zachowuje się w obwodzie elektrycznym jak kondensator o określonej pojemności, w którym zgromadzono pewien ładunek. Taki przetwornik może być podłączony do wzmacniacza, który powinien się charakteryzować:

- małą pojemnością wejściową (dla zapewnienia dużej czułości),
- dużą rezystancją wejściową (dla zapewnienia małego upływu ładunku).

Wymaganą rezystancję wejściową zapewniają specjalne układy elektroniczne zwane przedwzmacniaczami. Zadaniem przedwzmacniacza jest przede wszystkim transformacja wysokiej impedancji, wymaganej na jego wejściu, do niskiej impedancji na wyjściu, wymaganej dla prawidłowej współpracy z przyrządami pomiarowymi i analizującymi. W większości przypadków przedwzmacniacz umożliwia także wzmocnienie mierzonego sygnału.

2.3. Wzmacniacze ładunku

Wzmacniacze, służące do pomiaru sygnału z przetwornika piezoelektrycznego, noszą nazwę wzmacniaczy ładunku. Zasada ich działania polega na pomiarze napięcia na wewnętrznym kondensatorze o znanej pojemności C_z . Stosowane są dwie struktury wzmacniaczy ładunku:

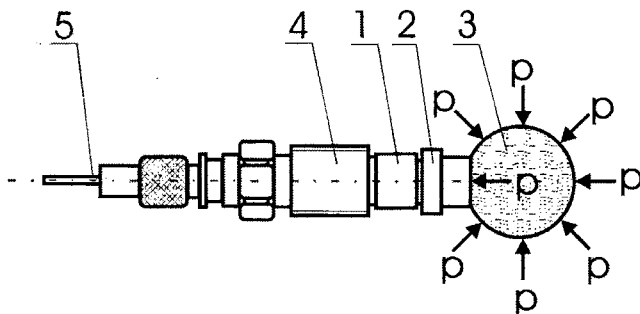
- z kondensatorom C_z w obwodzie wejściowym, zwane wzmacniaczami elektrometrycznymi lub wzmacniaczami napięcia,
- z kondensatorom C_z w obwodzie sprzężenia zwrotnego, zwane wzmacniaczami ładunku.

Największe zastosowanie znalazły te ostatnie, a to ze względu na bardzo małe zniekształcenia liniowości w szerokim zakresie częstotliwości.

3. POMIAR NACISKÓW W OŚRODKU ROZDROBNIONYM

3.1. Stanowisko do pomiarów testujących czujnik z adaptorem cieczowym

Do pomiaru nacisków w ośrodku rozdrobnionym był używany czujnik piezoelektryczny 601H firmy Kistler z adaptorem cieczowym, który pokazano na rys. 3. Adaptor wykonano z cienkiego lateksu, który wypełniono destylowaną wodą i uszczelniono z obudową czujnika tak, aby nie występowały pęcherze powietrza. Idea konstrukcji opiera się na prawie Paskala w cieczech, z którego wynika, że ciśnienie zewnętrzne oddziałujące na powierzchnię adaptora jest równe ciśnieniu oddziałującemu na membranę czujnika.

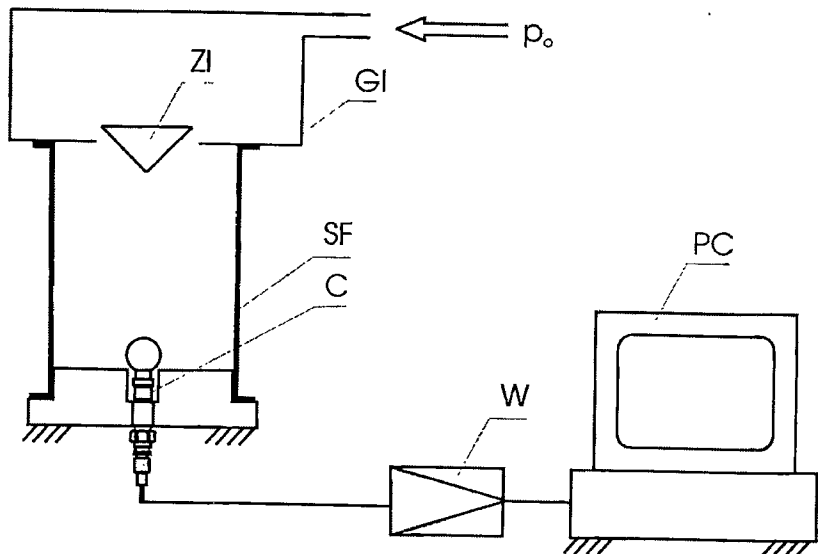


Rys. 3 Schemat czujnika do pomiaru nacisków w ośrodku rozdrobnionym: czujnik piezoelektryczny typ 601H (1), zacisk uszczelniający (2), adaptor cieczowy (3), uchwyt mocujący (4), przewód (5)

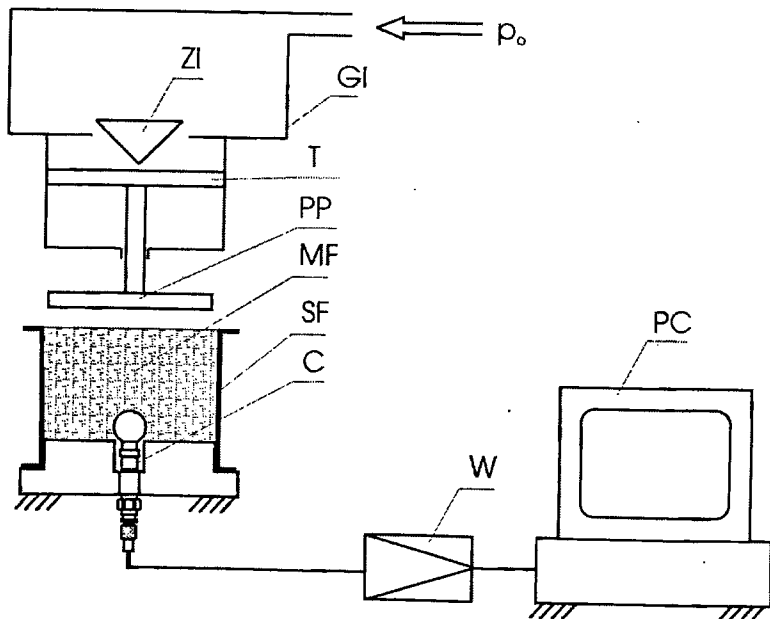
Na rysunku 4 pokazano schemat stanowiska pomiarowego, na którym badano własności dynamiczne czujnika z adaptorem cieczowym. Pomiary realizowano w następujący sposób: po napełnieniu powietrzem głowicy impulsowej GI do zadanej wartości ciśnienia początkowego p_0 , powodowano otwarcie zaworu ZI i jednocześnie uruchamiano tor pomiarowy. Rejestracji sygnałów ze wzmacniacza ładunku elektrycznego dokonywano z częstotliwością 10 kHz i archiwizowano na dysku magnetycznym.

3.2. Stanowisko do pomiaru nacisków w masie formierskiej

Pomiary nacisków w ośrodku rozdrobnionym, z zastosowaniem opracowanego przetwornika, realizowano na stanowisku, którego schemat budowy pokazano na rys. 5. Do badań stosowano masę formierską, którą wypełniano skrzynkę formierską SF. Pomiary nacisków w masie formierskiej realizowano w następujący sposób: po napełnieniu sprężonym powietrzem głowicy prasującej GI do zadanej wartości ciśnienia początkowego p_0 , powodowano otwarcie zaworu ZI i jednocześnie uruchamiano układ pomiarowy. Zawór ZI charakteryzuje się bardzo dużą dynamiką wewnętrzną i umożliwia otwarcie, w bardzo krótkim czasie, wylotu głowicy i w efekcie następuje nadanie dużej wartości przyspieszenia tłokowi T i płycie prasującej. Podczas prasowania masy formierskiej układ pomiarowy rejestrował, z częstotliwością 10 kHz, zmiany nacisków w masie. Dane archiwizowano na dysku magnetycznym.



Rys. 4. Schemat stanowiska pomiarowego do badań własności dynamicznych czujnika nacisków: GI – głowica impulsowa, SF – tuleja pomiarowa, ZI – zawór impulsowy, C – czujnik nacisków, W – wzmacniacz ładunku typ 5001, PC – komputer z kartą pomiarową typ TAD 05

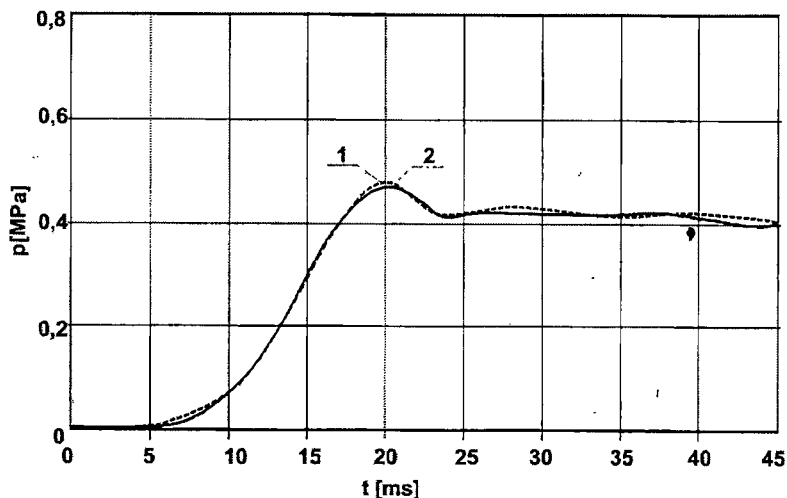


Rys. 5. Schemat stanowiska pomiarowego nacisków w ośrodku rozdrobnionym: GI – głowica prasująca, SF – skrzynka formierska, ZI – zawór impulsowy, PP – płyta prasująca, T – tłok napędu szybkobieżnego, C – czujnik nacisków, W – wzmacniacz ładunku typ 5001, PC – komputer z kartą pomiarową typ TAD 05

4. WYNIKI POMIARÓW

4.1. Wyniki pomiarów testujących czujnik z adaptorem cieczowym

Na rysunku 6 pokazano zmianę ciśnienia powietrza zarejestrowaną w tulei pomiarowej za pomocą czujnika bez adaptora oraz wyposażonego w adaptor cieczowy. Zmiana ciśnienia powietrza w zamkniętej przestrzeni została wywołana w wyniku otwarcia zaworu ZI głowicy impulsowej.



Rys. 6. Zmiana ciśnienia powietrza w tulei pomiarowej zarejestrowana za pomocą czujnika: bez adaptora (1) oraz wyposażonego w adaptor cieczowy (2)

Na podstawie analizy zaprezentowanych wyników pomiarów można stwierdzić, że zarejestrowane przebiegi (1) i (2) są niemal identyczne, zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym. Wobec powyższego można twierdzić, że zastosowany adaptor cieczowy jest elementem bezinercyjnym.

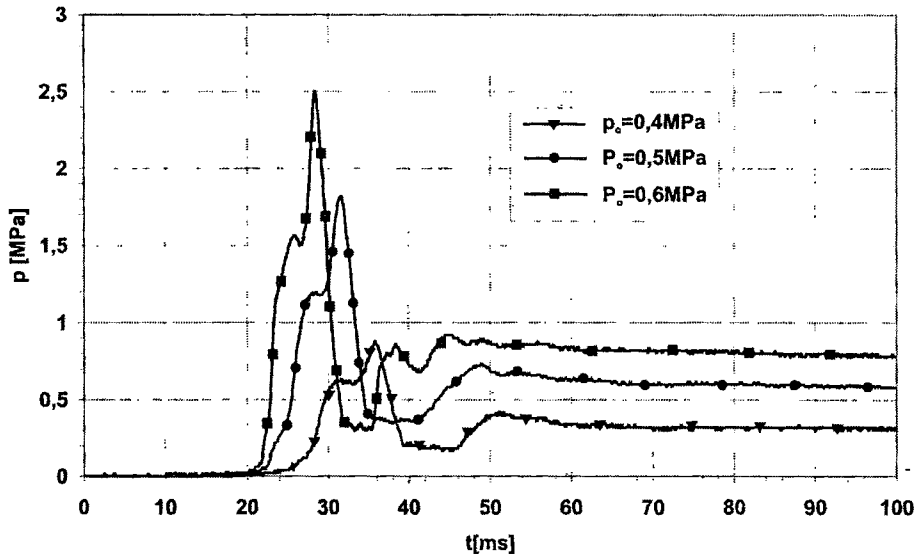
Zatem do pomiaru nacisków w ośrodkach rozdrobnionych mogą być stosowane czujniki piezoelektryczne, ale muszą one być wyposażone w bezinercyjne adaptory cieczowe, umożliwiające pomiar bezkierunkowego ciśnienia wewnątrz ośrodka.

4.2. Wyniki pomiarów nacisków w ośrodku rozdrobnionym

Na rysunku 7 zamieszczono zmiany nacisków zarejestrowane podczas dynamicznego prasowania masy formierskiej. Pomiar był realizowany za pomocą opracowanego czujnika nacisków.

Analizując zależności pokazane na rysunku 7 można stwierdzić, że proces zmian nacisków w zagęszczanej masie formierskiej charakteryzuje się bardzo dużą dynamiką. Świadczą o tym zarejestrowane wartości przyrostu ciśnienia o 2,5 MPa w ciągu kilku milisekund.

Można zatem stwierdzić, że opracowany czujnik umożliwia dokładny pomiar ciśnień dynamicznych w ośrodku rozdrobnionym.



Rys. 7. Zmiany nacisków p w masie formierskiej zarejestrowane dla różnych wartości ciśnienia początkowego p_0 procesu dynamicznego prasowania masy

5. ZAKOŃCZENIE

Zaprezentowano czujnik do pomiarów nacisków w ośrodkach rozdrobnionych. Zamieszczone wyniki badań wykazały, że do pomiaru nacisków w ośrodkach rozdrobnionych mogą być stosowane czujniki piezoelektryczne, wyposażone w adaptor cieczowy. Opracowany adaptor cieczowy dla czujnika typu 601H umożliwia bezinercyjny pomiar bezkierunkowego ciśnienia wewnątrz ośrodka rozdrobnionego.

Analiza pokazanych w pracy zależności zmian nacisków w masie formierskiej, wyznaczonych podczas badań eksperymentalnych, może służyć do oceny np. przebiegu procesu dynamicznego zagęszczania mas formierskich. Pomiar nacisków w zagęszczanych masach formierskich mogą stanowić podstawę do weryfikacji mechanizmu dynamicznego zagęszczania mas formierskich.

Literatura

1. Ganczarek M., Mikulczyński T., Samsonowicz Z.: Pomiar nacisków w masach zagęszczanych dynamicznie. Prz. Odlew. 2001 t. 51 nr 3 s. 106-107
2. Ganczarek M.: Model matematyczny procesu dynamicznego prasowania mas formierskich. Raporty Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej 2003 Ser. PRE nr 3
3. www.kistler.com