

prof. dr hab. inż. Tadeusz Mikulczyński
 dr inż. Stanisław Fita
 mgr inż. Sergiusz Ciskowski
 mgr inż. Łukasz Dworzak
 Politechnika Wrocławska

POMIARY NACISKÓW W OŚRODKACH ROZDROBNIONYCH

W pracy zaprezentowano wykorzystanie piezoelektrycznych czujników ciśnień do pomiaru nacisków w ośrodkach rozdrobnionych, w szczególności do pomiaru nacisków w masach formierskich. Aby zapewnić bezkierunkowy pomiar ciśnień w ośrodkach rozdrobnionych czujnik musi być wyposażony w bezinercyjny adaptor cieczowy, umożliwiający bezinercyjny i bezkierunkowy pomiar. Wyniki pomiarów nacisków, w procesie dynamicznego zagęszczania mas formierskich, można wykorzystać do eksperymentalnej weryfikacji opracowanego przestrzennego modelu matematycznego procesu dynamicznego zagęszczania i deformacji masy formierskiej. Wyniki te mogą również służyć określaniu wytrzymałości formy.

PRESSURE MEASUREMENT IN DISINTEGRATED MEDIUM

Application of a piezoelectric sensor for pressure measurement in disintegrated medium (e.g. moulding sand) has been presented. For non-directional pressure measurement in disintegrated medium, a piezoelectric sensor must be equipped with inertialess liquid adaptor. Results of pressure measurement during dynamic moulding sand densening process can be used for experimental verification of formulated mathematical model of dynamic densening and deformation of moulding sand. These results can be useful in determining mould's strength.

1. WSTĘP

Powszechnie stosowanymi czujnikami do pomiarów ciśnień są czujniki piezoelektryczne. Czujniki te charakteryzują się niewielkimi rozmiarami oraz bardzo dużą precyzją i liniowością w całym zakresie pomiarowym, reagując na bardzo szybkie zmiany wartości ciśnienia o częstotliwości rzędu 100–200 kHz, umożliwiając przy tym pomiary ciśnień szybkozmiennych, o amplitudzie sięgającej kilkuset MPa.

Standardowe czujniki piezoelektryczne, np. 601A firmy Kistler, stosowane są głównie do pomiarów ciśnień w ośrodkach ciągłych, jakimi są ciecze oraz gazy. Z tego powodu ich bezpośrednie wykorzystanie do pomiarów ciśnień w ośrodkach rozdrobnionych, takich jak grunty oraz masy formierskie, nie jest możliwe.

Pomiary nacisków w ośrodkach rozdrobnionych, z użyciem czujnika piezoelektrycznego, są możliwe jedynie w przypadku zastosowania elementu pośredniczącego, przekazującego mierzoną wielkość do czujnika. Najlepszym elementem pośredniczącym jest cieczowy, bezinercyjny adaptor opracowany w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej [3].

Prowadzone w Laboratorium Podstaw Automatykacji Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej pomiary nacisków w masach formierskich, służą

do eksperymentalnej weryfikacji opracowanego przestrzennego modelu matematycznego procesu dynamicznego zagęszczania mas formierskich [2]. Badania te mogą również prowadzić do oceny wytrzymałości formy w dowolnej jej objętości [3].

2. MECHANIZM PROCESU ZAGĘSZCZANIA MAS FORMIERSKICH

Podczas procesu dynamicznego prasowania masa formierska odkształca się, następstwem czego jest jej plastyczne płynięcie. Zagęszczana masa formierska uzyskuje bardzo dużą energię kinetyczną i prędkość ruchu, która pochodzi od czynnika stanowiącego wymuszenie (płyty prasującej w przypadku dynamicznego prasowania lub strumienia sprężonego powietrza w procesie impulsowym). Kolejne warstwy masy formierskiej przemieszczają się w kierunku nieruchomej płyty modelowej. Naciski prasujące p_p , będące efektem zagęszczania się masy formierskiej, w poszczególnych warstwach masy, począwszy od najwyższej położonej, mają odwrotny charakter niż uzyskiwane prędkości ruchu. Największe wartości są w warstwach masy najbliższej położonych w stosunku do płyty modelowej, maleją natomiast w miarę oddalania się od niej. Przebieg zmian nacisków w funkcji czasu trwania procesu dynamicznego zagęszczania mas formierskich ma w przybliżeniu charakter gasnącej sinusoidy [1,2].

Na podstawie analizy procesu zagęszczania masy formierskiej można stwierdzić, że naciski, w poszczególnych fazach procesu zagęszczania, przyjmują następującą postać:

- W stanach nieustalonych naciski w masach formierskich stanowią sumę nacisków wewnętrznych związanych z odkształceniem i tarcie wewnętrzne masy oraz będących efektem zagęszczenia masy.
- Wartość nacisków w stanach ustalonych jest sumą nacisku prasującego (p_p) i nacisku będącego wynikiem zagęszczenia masy (p_{ui}), który wyraża wytrzymałość jaką masa uzyskała w wyniku zagęszczenia.

Nacisk całkowity w masie formierskiej można opisać następującą zależnością [2,6]:

$$p_{Ci} = \frac{k_C(\delta) \cdot x_i + k_T(\delta) \cdot \dot{x}_i}{F} + p_{Ui} \quad (1)$$

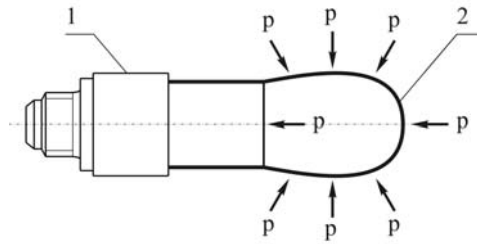
gdzie:

- p_{Ci} - nacisk całkowity w i-tej warstwie masy formierskiej,
- $k_C(\delta)$ - współczynnik sprężystości masy formierskiej,
- $k_T(\delta)$ - współczynnik lepkości formierskiej,
- p_{Ui} - nacisk w i-tej warstwie, będący efektem zagęszczania masy formierskiej,
- x_i - współrzędna położenia i-tej warstwy,
- F - powierzchnia przekroju poprzecznego skrzynki formierskiej.

3. POMIARY NACISKÓW W MASACH FORMIERSKICH

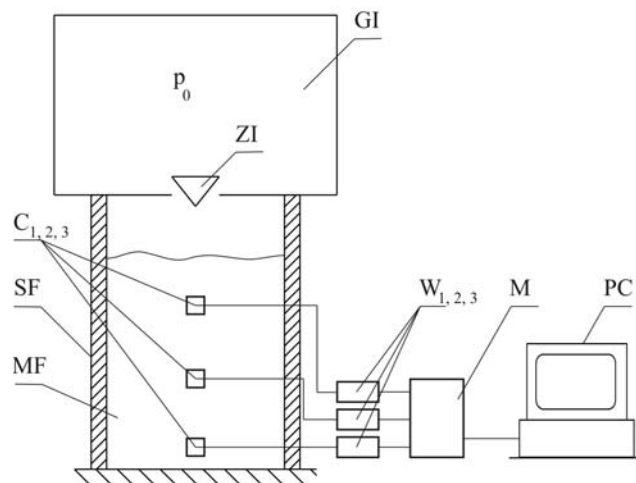
Pomiary nacisków w masie formierskiej możliwe są dzięki wykorzystaniu piezoelektrycznych czujników ciśnienia z zainstalowanym adaptorem cieczowym (rys. 1). Opracowany adaptor umożliwia bezinercyjny pomiar bezkierunkowego ciśnienia wewnątrz ośrodka rozdrobionego. Niewielkie rozmiary czujników ciśnienia wyposażonych w adapter cieczowy

umożliwiają umieszczenie ich i dokonanie pomiaru nacisków w dowolnym miejscu masy formierskiej.



Rys. 1. Schemat czujnika do pomiarów nacisków w masie formierskiej: czujnik piezoelektryczny typ 601A firmy Kistler (1), adapter cieczowy (2)

Schemat procesu dynamicznego zagęszczania masy formierskiej, procesu impulsowego, oraz tor pomiarowy przedstawiono na rys. 2. Tor pomiarowy do rejestracji nacisków w masach formierskich składa się z piezoelektrycznych czujników $C_1 - C_3$, umieszczonych na trzech różnych wysokościach słupa masy, wzmacniaczy ładunków $W_1 - W_3$, modułu akwizycji danych M oraz komputera PC .

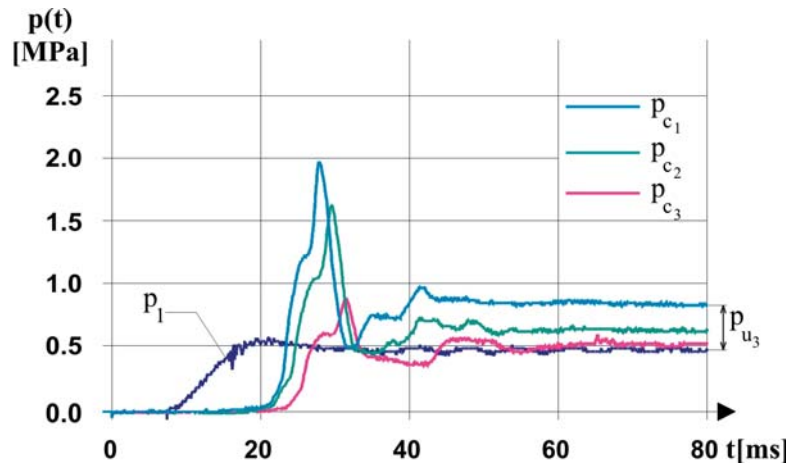


Rys. 2. Schemat procesu impulsowego zagęszczania mas formierskich oraz toru pomiarowego: GI – głowica impulsowa, ZI – zawór impulsowy, SF – skrzynka formierska, MF – masa formierska, $C_{1,2,3}$ – piezoelektryczne czujniki firmy Kistler typ 601A z cieczowym adaptorem, $W_{1,2,3}$ – wzmacniacz ładunku firmy Kistler typ 5015A, M – moduł akwizycji danych Keithley KUSB 3100, PC – komputer

Proces impulsowego zagęszczania mas formierskich rozpoczyna się w momencie napełnienia sprężonym powietrzem, do zadanej wartości ciśnienia początkowego p_0 , zbiornika akumulacyjnego głowicy impulsowej GI. Otwarcie zaworu impulsowego ZI powoduje nagły wzrost ciśnienia w skrzynce nad masą formierską, efektem czego jest plastyczne płynięcie masy i jej zagęszczenie. Przebiegi zmian nacisków w masie formierskiej, mierzone na trzech różnych wysokościach słupa masy, są rejestrowane od momentu otworzenia zaworu impulsowego ZI i zapisywane na komputerze.

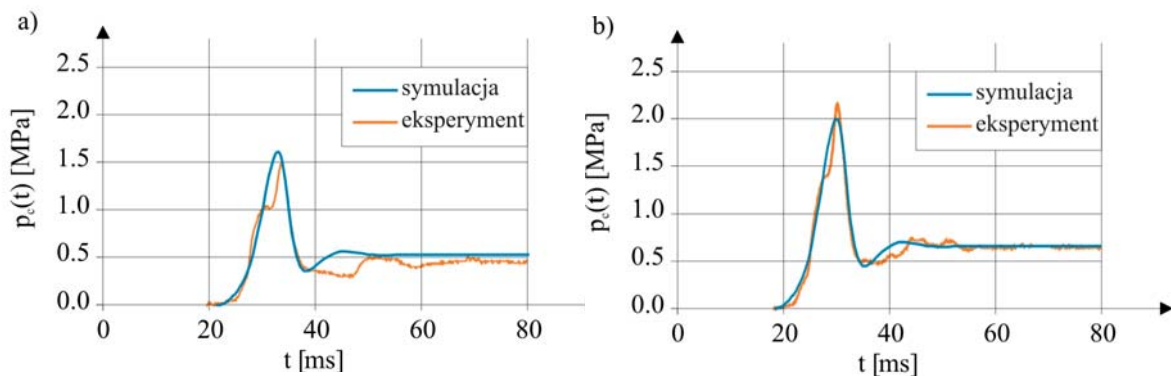
4. WYNIKI BADAŃ

Rys. 3 przedstawia wyniki pomiarów nacisków całkowitych p_c w masie formierskiej zagęszczanej impulsowo, zmierzone na trzech różnych wysokościach: przy płycie modelowej, przebieg nacisków p_{c1} , po środku wysokości skrzynki formierskiej – p_{c2} , przy powierzchni masy formierskiej – p_{c3} . Naciski będące wynikiem umocnienia masy formierskiej stanowią różnicę pomiędzy wartościami nacisków całkowitych p_c i ciśnienia p_1 w przestrzeni technologicznej nad masą formierską.



Rys. 3. Przebiegi zmian nacisków całkowitych $p_c=f(t)$ zmierzone na trzech wysokościach zagęszczanego słupa masy oraz ciśnienia p_1 w przestrzeni technologicznej

Zaprezentowane wyniki pomiarów potwierdzają, że czujniki piezoelektryczne wyposażone w bezinercyjny cieczowy adaptor, mogą być stosowane do pomiarów nacisków w dynamicznie zagęszczanej masie formierskiej. Ponadto, znajomość przebiegów zmian nacisków w masie formierskiej, umożliwia określenie jej wytrzymałości, która w przybliżeniu równa jest wartości nacisku p_u , wynikającego z zagęszczenia i umocnienia masy formierskiej. Na rys. 4 przedstawiono wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych pomiarów nacisków w procesie dynamicznego zagęszczania masy formierskiej, zmierzone przy płycie modelowej, przeprowadzone dla dwóch różnych wartości ciśnień zasilania p_0 . Wyniki te stanowią podstawę do weryfikacji stworzonego przestrzennego matematycznego modelu deformacji i zagęszczania mas formierskich, opracowanego w oparciu o model reologiczny ośrodków rozdrobionych, opisany w pracy [3].



Rys. 4. Zmiany nacisku całkowitego $p_c=f(t)$, wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych dla ciśnień zasilania: $p_0=0,5$ MPa (a) $p_0=0,6$ MPa (b).

5. ZAKOŃCZENIE

Znajomość przebiegu procesu zagęszczania mas formierskich, w szczególności znajomość stopnia zagęszczenia i zmian wartości nacisków w dowolnej objętości formy, umożliwia sterowanie tym procesem poprzez odpowiedni dobór konstrukcji i parametrów pracy formierek do dynamicznego zagęszczania mas formierskich. W pracy przedstawiono metodę pomiaru nacisków w ośrodkach rozdrobnionych takich jak np. masy formierskie. Do pomiarów nacisków w ośrodkach rozdrobnionych można wykorzystać piezoelektryczny czujnik ciśnienia wyposażony w element pośredniczący. Zaprezentowany specjalny adaptor cieczowy spełnia to zadanie, umożliwiając bezinercyjny pomiar bezkierunkowego ciśnienia wewnątrz ośrodka rozdrobnionego. Wyniki pomiarów nacisków potwierdzają słuszność zastosowania czujników piezoelektrycznych wraz z cieczowym adaptorem do pomiarów nacisków w dynamicznie zagęszczanej masie formierskiej. Badanie przebiegów zmian nacisków w masach formierskich może służyć do weryfikacji przestrzennego modelu matematycznego procesu dynamicznego zagęszczania mas formierskich oraz do określania wytrzymałości masy formierskiej.

6. LITERATURA

- [1] T. Mikulczyński, M. Bogdan, S. Ciskowski, Ł. Dworzak: Mechanism of impulse compacting of moulding sands. Archives of Foundry Engineering. 2008 vol. 8, spec. iss. 1.
- [2] M. Ganczarek, S. Ciskowski, T. Mikulczyński: 3D model of impulse compaction of moulding sands model. Archives of Foundry Engineering. 2008 vol. 7, iss. 1.
- [3] T. Mikulczyński, S. Ciskowski, M. Ganczarek, D. Nowak, Ł. Dworzak: Modelling of rheological properties of selected disintegrated media. Archives of Metallurgy and Materials. 2007 vol. 52, iss. 3.
- [4] T. Mikulczyński, D. Nowak: Strength measurement of moulding sand in the mould. Sbornik Vedeckych Praci Vysoke Skoly Banske - Technicke Univerzity Ostrava. Rada Strojni. 2006 Roc. 40, cis. 1.
- [5] S. Ciskowski, M. Ganczarek, W. Kollek, T. Mikulczyński: Nowoczesne metody dynamicznego zagęszczania mas formierskich. W: Rozwój maszyn i urządzeń hydraulicznych. Pod red. Waclawa Kolleka. Wrocław : Wydaw. Wroc. Rady FSNT NOT, 2006.
- [6] M. Ganczarek: Model matematyczny impulsowego zagęszczania mas formierskich, Praca doktorska, Raporty ITMiA PWr, Ser. PRE Nr. 3, Wrocław, 2003.