

SYSTEM TRANSPORTU FLUIDALNEGO W OBRÓBCE HORYZONTALNEJ ELEMENTÓW DO UKŁADÓW FOTOGALWANICZNYCH

Kamil KROT, Piotr GÓRSKI, Wojciech MATUSEWICZ

Streszczenie: W pracy przedstawiono opis prac związanych z opracowaniem innowacyjnych metod transportu fluidalnego elementów stosowanych w układach fotogalwanicznych. Przedstawiono obecnie stosowane rozwiązania do transportu płaskich elementów w procesach produkcyjnych oraz zestawiono niedogodności stosowanych obecnie metod. Zaprezentowano warianty transportu opartego na cieczy procesowej, prototypowe stanowisko badawcze do testowania różnych wariantów transportu oraz wyniki analiz numerycznych i pomiarów na stanowisku testowym.

Słowa kluczowe: transport fluidalny, fotowoltaika

1. Wprowadzenie

Na rynku istnieje obecnie wiele firm zajmujących się produkcją maszyn i urządzeń do wytwarzania obwodów drukowanych w oparciu o cienkie laminaty, a także do obróbki płytek krzemowych w wytwarzaniu elementów paneli fotowoltaicznych. Producentami takich maszyn i linii obróbkowych są m.in. RENA (Niemcy), KUTTLER Automation Systems (Chiny), Digamber Enterprises (Indie), WISE (Włochy), M.E. Baker Company (USA), Hamlet&Smith Incorporated (USA). Ofertę producentów ww. maszyn stanowią pojedyncze stanowiska obróbkowe lub gotowe linie realizujące kilka kolejnych procesów obróbkowych. Do najważniejszych procesów przy produkcji obwodów drukowanych zalicza się:

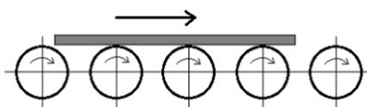
- mycie paneli przed trawieniem,
- procesy nakładania maski do trawienia,
- proces kontrolowanego trawienia,
- płukanie elementów z resztek płynów procesowych,
- usuwanie maski wykorzystywanej w procesie trawienia,
- nakładanie powłok ochronnych i dekoracyjnych.

Przy wytwarzaniu elementów paneli fotowoltaicznych najważniejszym procesem jest kontrolowane trawienie całej powierzchni celem uzyskania odpowiedniej struktury na powierzchni płytek krzemowych. To zadanie realizowane jest przez urządzenia o konstrukcji i zasadzie działania zbliżonej do maszyn wykorzystywanych w procesie trawienia obwodów drukowanych.

2. Transport płytek w systemach produkcyjnych

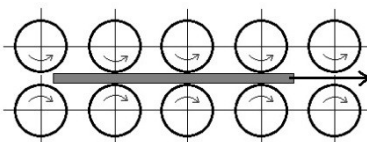
Stosowane obecnie rozwiązania transportu opierają się głównie na elementach tocnych jak wałki, krążki oraz fragmentarycznie na elementach ślizgowych (płyty, grzebienie). Stosowane są również przenośniki pasowe oraz podwieszane [1].

Najbardziej popularnym rozwiązaniem transportu horyzontalnego jest przedstawiony schematycznie system transportu rolkowego na rolkach/wałkach obrotowych napędzanych bez docisku z góry, zaprezentowany na rys. 1.



Rys. 1. System transportu na rolkach napędzanych

Na rys. 2. przedstawiono drugi z systemów, wykorzystujących rolki jako element napędowy. W układzie tym występują dwa rzędy rolek – dolny i górny. Rolki górne odpowiadają za docisk elementu, tak aby nie występowały poślizgi i ruch był równomierny.



Rys. 2. System transportu na rolkach napędzanych z dociskiem

W rozwiązaniu tym rolki górne (dociskowe) mogą być napędzane lub nie, w zależności od potrzeb. Istnieje także sposób transportu na rolkach biernych, nienapędzanych. Wówczas za posuw elementów transportowanych odpowiadać muszą inne układy napędowe.

Pełne rolki zastępuje się także kółkami osadzonymi w różnych odległościach na cienkich wałkach napędzanych. Takie rozwiązanie pozwala na zmniejszenie powierzchni styku komponentów systemu transportowego z elementem przenoszonym. Ten aspekt jest bardzo ważny na niektórych etapach procesu obróbki, takich jak trawienie ścieżek. Zmniejszenie powierzchni styku pozwala na szybsze i bardziej równomierne trawienie, co jest ważne dla całego procesu, gdyż wpływa na jakość wykonania wyrobu. Przykład takiego przenośnika przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Przenośnik rolkowy firmy Baker z rolkami w postaci kółek osadzonych na wałkach [2]

Przedstawione rozwiązania sprawdzają się w przypadku płyt obwodów drukowanych, które są sztywne i docisk górnych wałków nie powoduje odkształceń transportowanych elementów oraz nie oddziałuje w inny sposób zakłócając proces transportu. Problemy

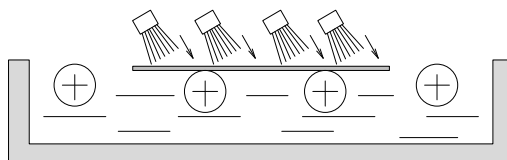
pojawiają się przy transportowaniu cienkich obwodów drukowanych (folie) w procesach trawienia. Kontakt z rolkami dociskowymi może prowadzić do odkształceń płyt, deformacji, a w skrajnych przypadkach zawijania się płyt i przerw w działaniu linii produkcyjnej, normalnie funkcjonującej w trybie ciągłym.

Problemy w transporcie, podobnie jak przy cienkich obwodach drukowanych, pojawiają się w przypadku transportowania płytek wyciętych z monokryształów krzemu (ang. wafer). Płytki takie używane w fotowoltaice mają grubość rzędu 200–300 μm . Typowe wymiary gabarytowe nie przekraczają kwadratów o boku 200 mm. Transportowane płytki są bardzo kruche. Przeprowadzone analizy dowodzą, że płytki już przy naprężeniach rzędu 30 – 40 MPa mogą pękać [3,4]. Pęknięcie płytki w procesie produkcyjnym natychmiast zanieczyszcza kąpiel procesową odłamekami. Może to prowadzić do uszkodzenia kolejnych płytek i w rezultacie do konieczności wstrzymania pracy całej linii, oczyszczenia wanny procesowej oraz kąpeli. Takie przestoje są czasochłonne i powodują duże straty. Dąży się do opracowania rozwiązań najbardziej niezawodnych z uwagi na ciągłość procesu.

Mając na uwadze dążenie do opracowania najbardziej niezawodnej metody transportu firma Matusewicz Bodowa Maszyn S. J. podjęła prace zmierzające do opracowania innowacyjnej metody transportu płytek poprzez ograniczenie lub wyeliminowanie kontaktu mechanicznego pomiędzy urządzeniem transportowym a transportowanymi płytkami. Medium zapewniającym ciągłość transportu ma być płyn procesowy. Prace prowadzono wspólnie z Politechniką Wrocławską w ramach projektu współfinansowanego przez Unię Europejską „Opracowanie i rozwój systemu transportu fluidalnego w obróbce horyzontalnej elementów do układów fotogalwanicznych”.

3. Koncepcja transportu fluidalnego

Analizowano różne możliwe warianty ograniczające docisk rolek w procesach transportu płytek, rys. 4. przedstawia układ, w których płytka transportowana jest na nienapędzanych rolkach, a docisk i napęd realizowany jest przez górne dysze natryskowe.



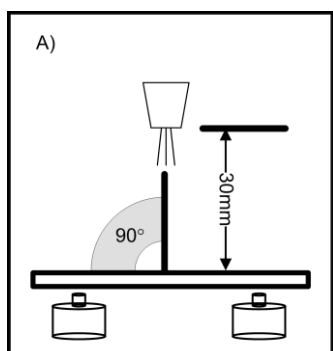
Rys. 4. Transport na rolkach biernych docisk i napęd ciśnieniem cieczy pod kątem

Rozwiązanie takie nie wyklucza całkowicie kontaktu transportowanych płytek z rolkami ale ogranicza ryzyko ich pęknięcia z uwagi na brak docisku rolek.

Opracowano prototypowe stanowisko transportu, umożliwiające pomiary wartości kluczowych do wyznaczenia parametrów transportu.

4. Badania na stanowisku pomiarowym

Do wykonania analiz symulacyjnych niezbędne było wyznaczenie siły dociskającej płytkę do rolek. W tym celu zostało zbudowane stanowisko badawcze (rys. 6,7). Badania siły docisku zostały wykonane na wysokości 30mm. Dysze skierowane były w stosunku do podłoża pod kątem 90°.



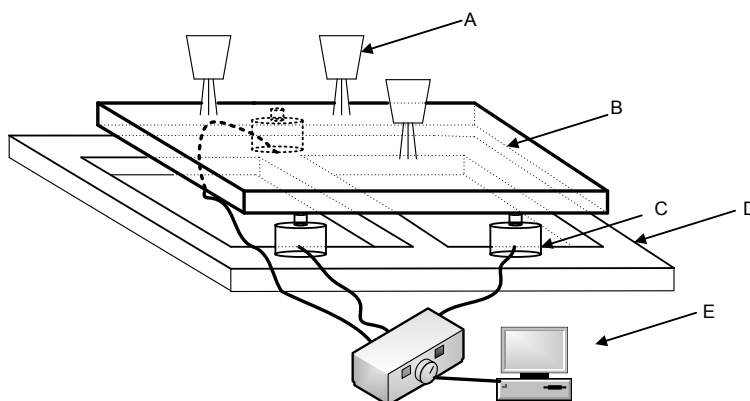
Rys. 5. Schemat ułożenia dysz do płytki wraz z czujnikami kąt 90° odległość 30mm

Schemat układu pomiarowego pokazano na rys. 6; składa się on z ramy (D) opartej o konstrukcję wanny, na ramie tej umieszczono czujniki siły (C) na czujnikach siły oparta była płytka trawiona. Nad płytką umieszczone były dysze (A).

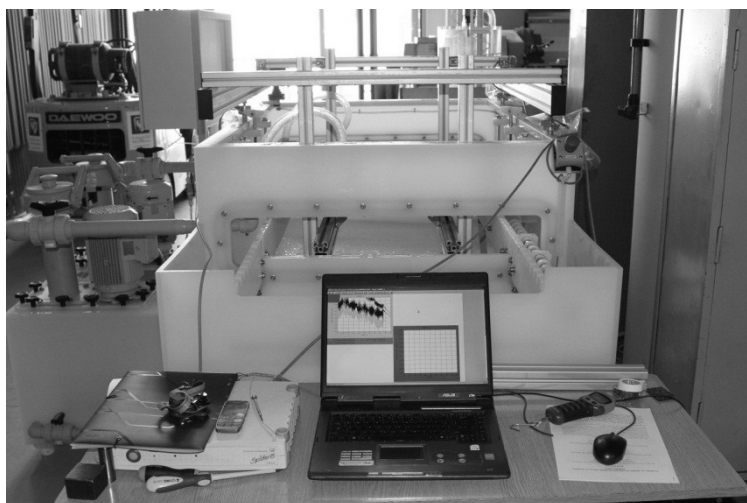
Stanowisko badawcze składa się z wanny procesowej z dwoma stanowiskami załadowniczym i wyładowniczym, zbiornikiem pod wanną, dwoma niezależnymi pompami oraz układem sterowania pompami i napędem rolek (rys. 7).

Stanowisko wyposażone jest w rolki prowadzące z możliwością napędzania lub wysprzęglania z wałka napędowego.

Do celów pomiarów sił nacisku na transportowaną płytę zamontowano specjalną ramę przestrzenną, opartą na czujnikach siły, na którą działały siły od ciśnienia cieczy roboczej.

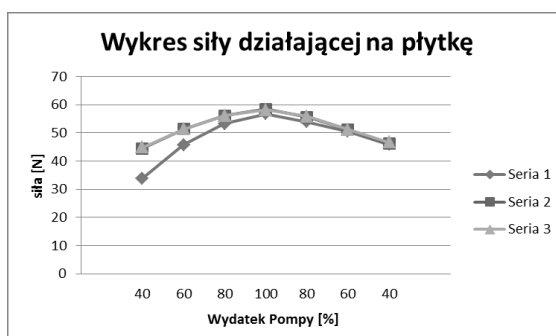


Rys. 6. Schemat układu pomiarowego : A - dysze, B –transportowana płytka, C – czujniki siły, D – rama pomiarowa, E – wzmacniacz sygnałów SPIDER z komputerem do rejestracji danych



Rys. 7. Układ pomiarowy na stanowisku testowym

Na podstawie uzyskanych danych wykonano wykres z zależnością sił działających na płytkę w funkcji wydátku pompy (rys. 8). Dane te były niezbędne do wykonania symulacji numerycznej



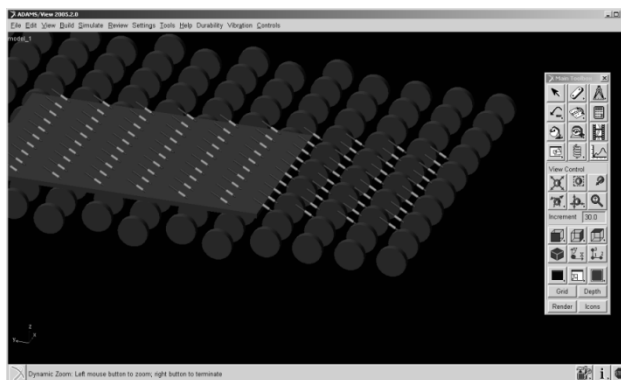
Rys. 8. Wykres siły działającej na płytkę dla odległości dyszy od płytki 30mm i kąta dyszy 90°

Zastosowano pompy firmy HENDOR model Vertical pumps series D174 - PP/PVDF o maksymalnej wydajności 20 000 l/h. Siły rejestrowano w trakcie natryskiwania cieczy na płytkę drukowaną o wymiarach 700 mm na 500 mm.

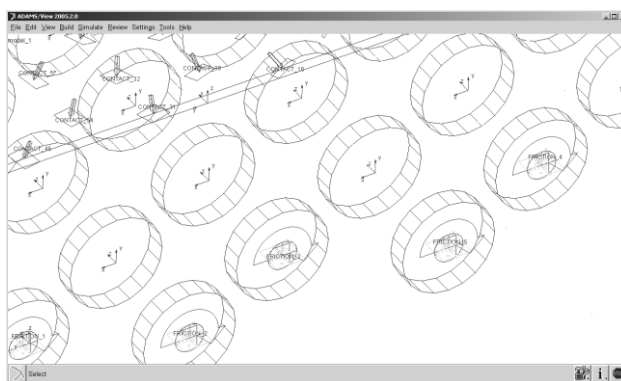
5. Symulacje numeryczne metodą układów wieloczłonowych

Model geometryczny do obliczeń metodą układów wieloczłonowych składa się z brył sztywnych oraz par kinematycznych (odebrane stopnie swobody). W opisywanym wariantcie transportowym występują rolki oraz docisk siłą (docisk cieczą z dysz). W analizach wstępnych wykonany został model składający się z: rolek z parą kinematyczną obrotową o jednym stopniu swobody, siłą dociskającą została zamieniona na element dociskowy, który z zadaną siłą uderzał w płytkę rys. 9 (element sztywny z parą

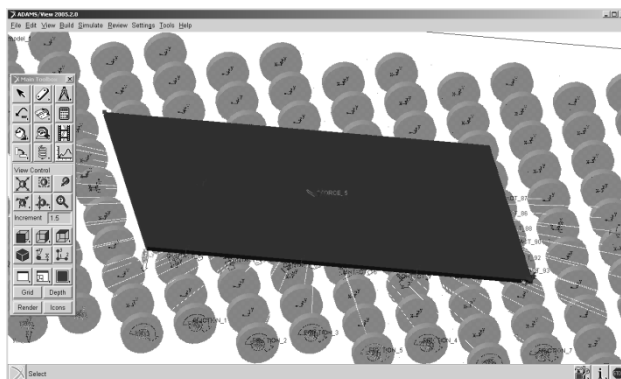
kinematyczną postępową, sprężyną oraz kulką uderzającą w płytkę). Model ten ze względu na obliczeniową złożoność (duża liczba kontaktów – co sprawia, że nie ma możliwości wykonania obliczeń dla tak wielu elementów typu CONTACT) został zmodyfikowany (rys. 10, rys. 11), w miejsce uderzających kulek wprowadzona została siła działająca na płytkę z zadaną wartością i w zadanych odstępach czasowych.



Rys. 9. Model numeryczny z badań wstępnych

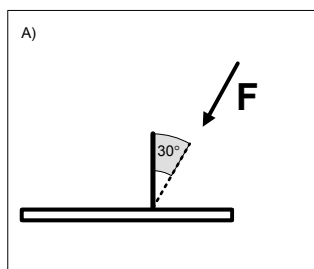


Rys. 10. Widok zmodyfikowanego modelu numerycznego



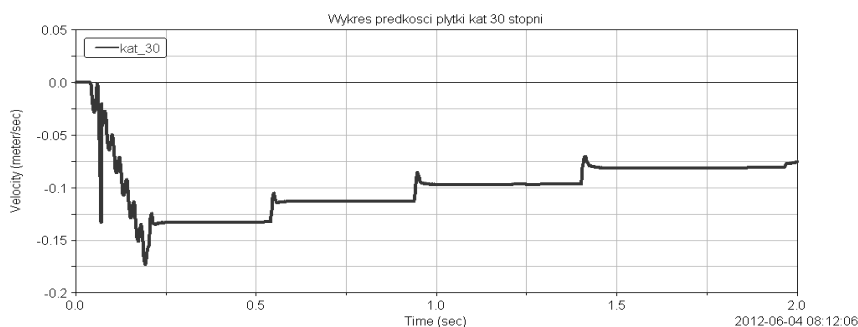
Rys. 11. Widok zmodyfikowanego modelu numerycznego wraz z siłą

Wstępne obliczenia numeryczne mające na celu wyznaczenie prędkości płytki przy różnym kącie działania siły zostały wykonane z wykorzystaniem wyżej opisanego modelu. Wartość zadanej siły to 50N (rys. 12).



Rys. 12. Przykład obciążeń dla siły o wartości 50N działającej pod kątem 30°

Pojawiające się zmiany na wykresie prędkości (rys.13) przedstawiają działanie siły tarcia jak i kontaktu pomiędzy rolkami i płytką.



Rys. 13. Prędkość płytki przy oddziaływaniu siłą pod kątem 30°

Szczególnie widoczne są duże zmiany prędkości w fazie początkowej (rozpędzania). Kolejne uskoki na wykresach prędkości (od ok. 0.5s) wiążą się z przejściem płytki przez kolejne sekcje rolek a co z tym się wiąże dochodzi do hamowania co widać na wykresie. Zakłócenia pojawiające się na wykresach prędkości w fazie rozpędzania (jak również hamowania) będą miały istotny wpływ na proces transportu z punktu widzenia ustalenia parametrów sterowania procesem transportu płytki w stanie ustalonym (ze stałą prędkością).

Podsumowując badania numeryczne należy podkreślić, że otrzymane wyniki potwierdziły dość dużą wrażliwość układu na działanie siły dociskającej płytkę. Wielkość tej siły będzie decydującym parametrem mającym wpływ na prędkość poruszania się płytki. Zbyt mała siła będzie powodowała zatrzymywanie się płytki, natomiast zbyt duża siła spowoduje uszkodzenia transportowanej płytki. Dodatkową trudność w ustaleniu stałej prędkości transportowanej płytki będzie miało tarcie które występuje pomiędzy transportowaną płytką a rolkami.

6. Podsumowanie

W artykule opisano część prac związanych z opracowaniem systemu transportu fluidalnego dla płytek w procesach produkcyjnych. Zaprezentowano jeden z wariantów, który eliminuje mechaniczny docisk rolkami górnymi, a przez to zmniejsza prawdopodobieństwo uszkodzeń transportowanych elementów. Przedstawione rozwiązanie zostało zasymulowane metodą układów wieloczłonowych. Zbudowano stanowisko testowe wyposażone w wannę procesową, układ pomp i filtrów. Na stanowisku zamontowano ramę pomiarową umożliwiającą pomiar siły oddziaływania transportowanego elementu podłoże (dolne rolki prowadzące). Wyznaczenie sił docisku w funkcji wydatku pompy pozwala dobrać optymalne parametry pracy układu (dobranie takiego wydatku, żeby wywołać pożądaną siłę docisku płyty do rolek).

Opracowane rozwiązanie wykorzystano w warunkach przemysłowych w firmie Matusewicz Budowa Maszyn S. J. dla klienta ze Szwajcarii w horyzontalnej linii do obróbki płytek krzemowych.

Literatura

1. Furmanik K. „Transport przenośnikowy” Kraków : AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 2008.
2. Materiały firmy KSL-Kuttler Automation Systems GmbH <http://kslkuttler.com/>.
3. Xavier F. Brun, Shreyes N. Melkote “Analysis of stresses and breakage of crystalline silicon wafers during handling and transport” Solar Energy Materials & Solar Cells 93 (2009) 1238–1247.
4. Gustafsson J. Larsson H. Solheim H., J., Bostrom T., “Mechanical stress tests on mc-Si wafers with microcracks” , in: Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1–5 September 2008, Valencia, Spain, pp. 1–4.
5. Frączek J., Wojtyra M.: Kinematyka układów wieloczłonowych – metody obliczeniowe, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa, Warszawa 2008.

Dr inż. Kamil Krot,
Dr inż. Piotr Górski
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji
Politechnika Wrocławska
50-371 Wrocław, ul. Ignacego Łukasiewicza 5
tel.: (71) 320 26 00, fax.: (71) 328 06 70
e-mail: kamil.krot@pwr.wroc.pl, piotr.gorski@pwr.wroc.pl

Wojciech Matusewicz
Matusewicz Budowa Maszyn S. J.
Ul. Lwowska 40
59-620 Gryfów Śląski
tel.: (75) 7820011, fax.: (75) 7813004
e-mail: wojtek@matusewicz.pl