

ANALIZA SPOSOBÓW CHWYTANIA

Przeprowadzono analizę sposobów chwytania obiektów o złożonych kształtach i chronionych powierzchniach. Praktycznym przykładem rozważanych zagadnień jest proces pakowania telewizora do kartonowego pudła.

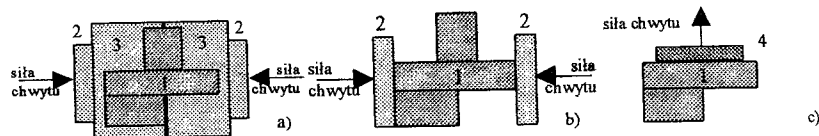
ANALYSIS OF GRASPING METHODS

In this paper some grasping methods of objects with complicated and protected surfaces are presented. As an example of object a packing processes of television sets is given.

1. WPROWADZENIE

Chwytki nakładają na transportowany obiekt tyle ograniczeń swobody ruchu, ile potrzebne jest do zapewnienia pożądanego w danym procesie produkcyjnym przebiegu transportowania. Do analizy czasu wykonania produktu finalnego w systemach zrobotyzowanych jest znajomość rzeczywistych charakterystyk chwytaka, a w szczególności siły z jaką obiekt manipulacji zostanie uchwycony oraz po jakim czasie od wydania odpowiednich rozkazów sterowniczych zostaje uchwycony lub uwolniony. Informacje te są niezbędne w trakcie projektowania procesów technologicznych – ich brak może spowodować: uszkodzenia elementów (np. w przypadku ich wyslizgiwania się z końcówek chwytnych, przy zbyt niskich wartościach siły chwytu lub zgniatania, przy siłach zbyt dużych) a także wymuszać zbyt długie czasy oczekiwania. Końcowa operacja w wielu procesach polega na pakowaniu wyrobu – stosowane do tego celu manipulatory i roboty powinny zapewnić niezawodne uchwycenie, trzymanie obiektu w trakcie manipulacji oraz uwolnienie w miejscu docelowym. Ze względu na jakość wyrobu wymaga się aby po uchwyceniu nie pozostawały żadne ślady na powierzchniach zewnętrznych, nie jest również wskazane wywieranie dużych sił ściskających (np. ze względu na materiał lub ochronne pokrycie). Typowym przykładem takiego obiektu jest telewizor w obudowie z tworzywa sztucznego i ze szklanym ekranem. Ograniczenia swobody ruchu (przemieszczania się) transportowanego obiektu realizowane są następującymi sposobami:

- przez wytworzenie połączeń między elementami chwytaka i obiektem, których więzy odbierają obiektowi żadaną liczbę stopni swobody - chwytanie kształtowe (rys. 1a),
- przez wytworzenie sił ściskających działających na obiekt - chwytanie siłowe (rys. 1b),
- przez wytworzenie siły przylegania – chwytanie adhezyjne (rys. 1c).



Rys. 1. Sposoby chwytania: a) siłowe, b) kształtowe, c) adhezyjne:
1 - obiekt, 2 - końcówki chwytne, 3 - nasadki kształtowe, 4 - końcówka adhezyjna.

Wszystkie sposoby oddziaływania powinny być na tyle skuteczne, aby w czasie transportowania, na skutek powstawania sił odśrodkowych i bezwładności, obiekt nie zmienił przypadkowo swego położenia względem określonych elementów chwytaka [1]. Na przykład aby proces pakowania telewizorów był efektywny, chwytak powinien zapewniać odebranie wszystkich sześciu stopni swobody przenoszonemu obiektowi - jakakolwiek możliwość swobodnego ruchu telewizora w chwytaku będzie utrudniała umieszczenie go w pudle kartonowym.

2. CHWYTANIE KSZTAŁTOWE

Zasadę chwytania kształtowego wyjaśnia rysunek 1a. Do końcówek chwytaka przymocowane są nasadki, których kształt wewnętrzny uniemożliwia przemieszczanie się obiektu. Oznacza to, że chwytanie kształtowe wymaga wykonania indywidualnego kształtu końcówek chwytanych (nasadek na końcówki) dla każdego obiektu - najczęściej wewnętrzny kształt nasadki stanowi formę (uzyskaną metodą odlewania) wybranego fragmentu chwytanego obiektu. Chwytanie kształtowe, realizowane bez wywierania siły na powierzchnię obiektu, osiągnięte może być dwojako:

- 1° siłę przenoszą stykające się końcówki chwytne (rys. 1a), a między powierzchniami obiektu i nasadek na końcówki chwytne istnieje niewielki luz,
- 2° na obiekt nie jest wywierana żadna siła, a nasadki na końcówki chwytne są pozycjonowane na żądany rozmiar obiektu.

Chwytaki kształtowe znalazły zastosowanie przy manipulowaniu obiektami:

- kruchymi, elastycznymi, z powłokami ochronnymi itp., wykluczającymi wywieranie jakiegokolwiek nacisku miejscowego,
- o bardzo dużej masie, gdy wywierane siły są niewystarczające do wytworzenia odpowiednich wartości sił tarcia statycznego na powierzchniach styku końcówek chwytanych i obiektu,
- o tak złożonym kształcie, że nie jest możliwe stosowanie innego typu chwytaków.

W procesie pakowania telewizora, z punktu widzenia bezpieczeństwa produktu, najlepszym rozwiązaniem w tej grupie byłby chwytak z równoległym przesuwem dwóch końcówek chwytanych, pracujący w płaszczyźnie przechodzącej przez środek ciężkości telewizora. W praktyce zastosowanie takiego chwytaka jest niemożliwe, gdyż chwytanie kształtowe w płaszczyźnie prostopadłej do osi kineskopu uniemożliwiają ściśle dopasowane styropianowe wkładki oraz brak odpowiedniego profilu ścianek bocznych obudowy. Chwytanie kształtowe w płaszczyźnie równoległej do osi kineskopu uniemożliwia przewód zasilający oraz torba z dokumentacją i wyposażeniem przyczępione w pobliżu górnej krawędzi tylnej ścianki obudowy telewizora.

Chwytanie kształtowe jest najbezpieczniejszym sposobem, gdyż na obudowę telewizora nie są wywierane żadne siły. Zaletą jest również pewność uchwycenia, niezależna od czynników zewnętrznych (np. od zanieczyszczenia końcówek) oraz możliwość zastosowania prostego pneumatycznego układu napędowego.

W zastosowaniu do procesu pakowania telewizorów chwytanie kształtowe ma wady:

- sposób ten jest niepraktyczny, gdyż wymaga zmiany nasadek końcówek chwytanych przy zmianie typu przenoszonego telewizora,
- wymagane jest precyzyjne ustawienie chwytaka względem obiektu, w przeciwnym przypadku może wystąpić ryzyko niepoprawnego uchwycenia lub uszkodzenia telewizora,
- ze względu na ograniczone miejsce pomiędzy ściankami telewizora a pudła, około 40 mm, głębokość końcówek chwytanych i ich przemieszczenie są ograniczone.

3. CHWYTANIE SIŁOWE

Zasadę chwytania siłowego wyjaśnia rysunek 1b. Chwytaaki siłowe działają na obiekt manipulacji siłami skierowanymi w stronę powierzchni obiektu - na obiekt działają dwie równe co do wartości, przeciwnie skierowane siły. Odpowiednia wartość siły, wywieranej na powierzchnię chwytanego obiektu, uniemożliwia jego przemieszczenie się podczas manipulacji. W celu pomiaru siły, wywieranej przez końcówki w miejscu styku, zaprojektowano wiele różnych sensorów, najczęściej stosuje się czujniki tensometryczne, wykonane na bazie półprzewodników lub folii metalowych.

Zaletami tego sposobu chwytania są: prosty układ napędowy, możliwość nastawiania żądanej wartości siły chwytu oraz uniwersalność. Wady chwytania siłowego to: niebezpieczeństwo uszkodzenia wyrobu oraz zawodność uchwycenia, zależna od czynników zewnętrznych.

W przypadku pakowania telewizorów najlepszym rozwiązaniem byłby chwytak z równoległym przesuwem dwóch końcówek, chwytający w płaszczyźnie przechodzącej przez środek ciężkości telewizora i prostopadłej do osi kineskopu. Do napędu chwytaka wystarczającym jest użycie siłownika pneumatycznego, umożliwiającego nastawianie w łatwy sposób odpowiedniej wartości siły chwytu.

4. CHWYTANIE ADHEZYJNE

Zasada chwytania adhezyjnego (rys. 1c) polega na wywarceniu takiej siły przylegania obiektu do końcówki chwytnej (przyssawki), aby uniemożliwić jego przemieszczanie się w procesie manipulacji. Najczęściej siła ta wywierana jest przez podciśnienie działające na określonej powierzchni. Do wytwarzania podciśnienia w chwytakach tego typu stosuje się wirnikowe pompy próżniowe lub ejektory. W urządzeniach, w których wymagana jest większa wydajność stosuje się pompy próżniowe. Zaletą tego rozwiązania jest energooszczędność, cicha praca i niewrażliwość na zanieczyszczenie zasysanego powietrza. Natomiast wadami są: złożona konstrukcja, wysoka cena urządzenia, duża masa i wymiary, długi czas reakcji oraz możliwość pracy tylko w trybie ciągłym. Ejektorowe generatory podciśnienia znalazły powszechne zastosowanie ze względu na takie zalety jak: prostota konstrukcji, brak elementów ruchomych, niska cena, bardzo mała masa i wymiary oraz możliwość pracy w trybie przerywanym. Ze względu na małe wymiary i masę możliwe jest umieszczenie wytwornicy podciśnienia bezpośrednio przy przyssawce, na ruchomych elementach manipulatora. Układ taki znacznie upraszcza instalację pneumatyczną oraz zmniejsza jej pojemność, co ma duży wpływ na czas uchwycenia. Należy jednak zwrócić uwagę na wady tego rozwiązania: duże zużycie sprężonego powietrza, głośna praca, wrażliwość na zanieczyszczenie zasysanego powietrza oraz fakt, że strumień z ejektora może powodować zapylenie w pomieszczeniach.

Możliwe są dwa sposoby adhezyjnego chwytania telewizorów: za ekran kineskopu lub za górną powierzchnię obudowy. Chwytanie podciśnieniowe za tył telewizora jest niemożliwe ze względu na brak dostępnych powierzchni gładkich, a za pozostałe powierzchnie telewizora jest niewskazany, gdyż łączy wady omówionych poniżej rozwiązań.

4.1. Chwytnie za górną powierzchnię

Przy chwytnie za górną powierzchnię obudowy telewizora przyssawka pracuje w bardzo korzystnych warunkach, to znaczy siły wynikające z ciężaru chwytnego obiektu działają równoległe do osi, a obciążenia ścinające wynikają tylko z dynamiki przemieszczania telewizora. Ten sposób chwytnie, ze względu na położenie środka ciężkości telewizora i kształty obudów, narzuca zastosowanie kilku przyssawek. Takie rozwiązanie stwarza jednak niebezpieczeństwo nieszczelności układu w przypadku zapowietrzenia jednej z przyssawek (należy zapewnić przyleganie wszystkich przyssawek).

Największą zaletą chwytnie za górną powierzchnię jest nie narażenie telewizora na uszkodzenie w trakcie wyjmowania chwytaka z opakowania odbiornika. Jednak obudowy telewizorów schodzących z taśmy montażowej znacznie się różnią i należałoby dobrać odpowiedni zestaw przyssawek. Ten sposób chwytnie wymaga więc zmiany chwytaka przy zmianie typu przenoszonego telewizora oraz precyzyjnego ustawienia chwytaka względem chwytnego obiektu.

4.2. Chwytnie za kineskop

Chwytnie za ekran kineskopu ma szereg zalet: nie wymagana jest wymiana chwytaka przy zmianie typu przenoszonego telewizora, nie jest potrzebne precyzyjne ustawienie chwytaka względem chwytnego obiektu, chwytnie następuje za najcięższy element telewizora w okolicy jego środka ciężkości oraz za powierzchnię szklaną, gwarantującą dobrą przyczepność przyssawki, bardziej odporną na uszkodzenia niż wykonana z tworzyw sztucznych obudowa telewizora. Do wad tego sposobu chwytnie zalicza się: narażenie telewizora na uszkodzenie w trakcie wyjmowania chwytaka z opakowania odbiornika (ze względu na ograniczone miejsce pomiędzy ściankami telewizora i pudła) oraz pewność uchwycenia zależną od czynników zewnętrznych i niekorzystnego obciążenia przyssawki siłami prostopadłymi do jej osi.

Przy dużej różnorodności typów telewizorów najlepszym chwytakiem jest pojedyncza, okrągła przyssawka, przystosowana do chwytnie za ekran kineskopu. Taki kształt przyssawki jest korzystny zarówno przy chwytnie za płaskie powierzchnie kineskopów jak i za sferyczne, o różnych promieniach krzywizny.

5. POSTĘPOWANIE PRZY DOBORZE PRZYSSAWKI

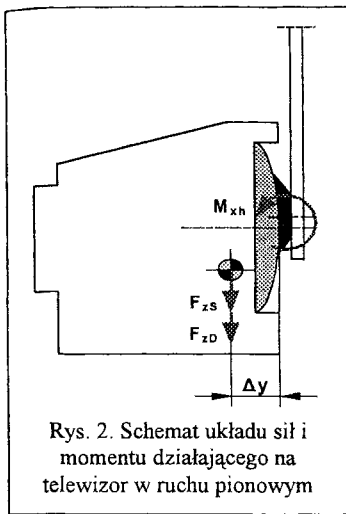
5.1. Wybór materiału przyssawki

Od rodzaju materiału z jakiego wykonana jest przyssawka zależy współczynnik tarcia obiektu manipulacji o czasę przyssawki. Materiał dobiera się uwzględniając warunki pracy i czynniki chemiczne działające na przyssawkę. Ważnym wymaganie jest, aby materiał nie pozostawiał żadnych śladów na przenoszonych przedmiotach – warunek ten spełniają przyssawki poliuretanowe.

5.2. Obliczenie siły przylegania

Następnym krokiem, jaki należy wykonać przy doborze przyssawki, jest obliczenie minimalnej siły z jaką przyssawka ma przysysać obiekt manipulacji. Obciążenia działające na układ przyssawka-telewizor można podzielić na statyczne, wynikające z ciężaru odbiornika oraz dynamiczne, będące skutkiem oddziaływań inercyjnych.

5.2.1. Przemieszczenie pionowe



Rys. 2. Schemat układu sił i momentu działającego na telewizor w ruchu pionowym

Maksymalne siły działające na układ przysawka-telewizor wystąpią, gdy zsumują się obciążenie statyczne i maksymalne obciążenie dynamiczne. Zjawisko takie będzie miało miejsce w trakcie przyspieszania w ruchu do góry lub hamowania w ruchu do dołu, w momencie gdy wartość przyspieszenia (opóźnienia) osiągnie wartość maksymalną.

Poza siłami stycznymi na układ działać będzie również moment siły, wywołany przesunięciem w poziomie środka ciężkości telewizora względem punktu podparcia (rysunek 2).

Dla danych: m – maksymalna masa telewizora, $g=9,81\text{m/s}^2$ – przyspieszenie ziemskie, a_z – maksymalna wartość przyspieszenia (opóźnienia) napędu osi Z, $\mu=0,7$ – współczynnik tarcia przysawki o ekran kineskopu, Δy – przesunięcie w poziomie środka ciężkości telewizora względem punktu podparcia oraz d – średnica czaszy przysawki, obliczono:

- siłę ciężkości telewizora:

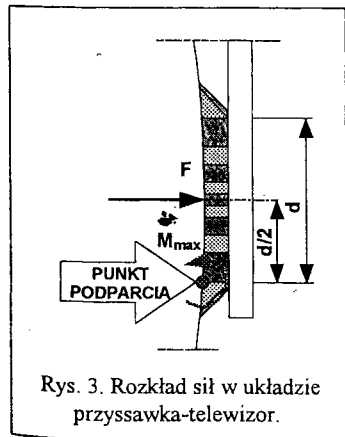
$$F_{zs} = q = m \cdot g, \quad (1)$$

- maksymalną siłę styczną działającą na układ przysawka-telewizor w ruchu pionowym:

$$F_{z \max} = F_{zs} + F_{zd \max} = m \cdot (a_z + g) \quad (2)$$

- maksymalny moment siły działającej na układ przysawka-telewizor w ruchu pionowym:

$$M_{ch \max} = F_{z \max} \cdot \Delta y_{\max} = m \cdot (a_z + g) \cdot \Delta y \quad (3)$$



Rys. 3. Rozkład sił w układzie przysawka-telewizor.

Wyznaczenie dokładnej wartości momentu siły jest trudne ze względu na brak danych odnośnie położenia środka ciężkości telewizora. Położenie tego punktu zależy od rozkładu masy oraz wymiarów odbiornika i jest inne dla każdego z modeli. Środek ciężkości telewizora znajduje się poniżej osi kineskopu i jest przesunięty do tyłu względem środka ciężkości kineskopu - do obliczeń przyjęto wartości krytyczne Δy oraz Δz .

Oddziaływanie momentu obrotowego wywołuje dociskanie kineskopu do dolnej krawędzi przysawki i odrywanie od górnej. Ze względu na równomierny rozkład podciśnienia w przysawce punkt przyłożenia siły docisku telewizora do przysawki znajduje się na jej środku (rys. 3).

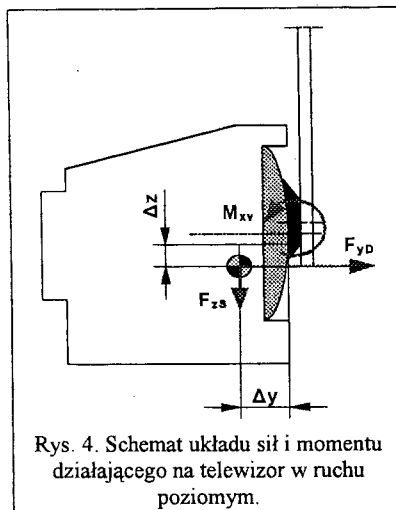
Wartość siły równoważącej moment w ruchu pionowym wynosi:

$$F_{Mh} = \frac{M_{ch \max}}{\frac{d}{2}} = \frac{2 \cdot m \cdot (a_z + g) \cdot \Delta y}{d} \quad (4)$$

Minimalna wartość siły docisku telewizora do przysawki w ruchu pionowym:

$$F_h > \frac{F_{z \max}}{\mu} + F_{Mh} = \frac{m \cdot (a_z + g)}{\mu} + \frac{2 \cdot m \cdot (a_z + g) \cdot \Delta y}{d} \quad (5)$$

5.2.2 Przeszczenie poziome



Rys. 4. Schemat układu sił i momentu działającego na telewizor w ruchu poziomym.

Ruch poziomy występować może w kierunku „do telewizora” i „od telewizora”. W pierwszym przypadku przyssawka w trakcie przyspieszania dociskana jest do ekranu telewizora, jest to korzystne zjawisko. Drugi przypadek dotyczy hamowania - w tej sytuacji siły bezwładności próbują oderwać telewizor od przyssawki. Maksymalne siły działające na połączenie przyssawka-telewizor wystąpią w chwili, gdy opóźnienie osiągnie wartość maksymalną. Poza siłami prostopadłymi do powierzchni kineskopu na układ będą działać również statyczne siły styczne oraz moment siły, wywołany przesunięciem środka ciężkości telewizora względem punktu podparcia (rysunek 4). Dla danych jak powyżej, przy a_y - maksymalna wartość przyspieszenia (opóźnienia) napędu osi Y oraz Δz - przesunięcie w pionie środka ciężkości telewizora względem punktu podparcia, obliczono siły i momenty:

$$F_{z \max} = F_{zs} = m \cdot g \quad (6)$$

$$F_{yD \max} = a_y \cdot m \quad (7)$$

$$F_{y \max} = F_{yD \max} = a_y \cdot m \quad (8)$$

$$M_{xv \max} = F_{z \max} \cdot \Delta y_{\max} + F_{y \max} \cdot \Delta z = m \cdot (g \cdot \Delta y + a_y \cdot \Delta z) \quad (9)$$

Wartość siły, przyłożonej do środka przyssawki, równoważącej moment siły w ruchu poziomym:

$$F_{Mv} = \frac{M_{xv \max}}{\frac{d}{2}} = \frac{2 \cdot m \cdot (g \cdot \Delta y + a_y \cdot \Delta z)}{d} \quad (10)$$

Minimalna wartość siły docisku telewizora do przyssawki w ruchu poziomym:

$$F_v > \max \left[\frac{F_{z \max}}{\mu}; F_{y \max} \right] + F_{Mv} = \frac{F_{z \max}}{\mu} + F_{Mv} = \frac{m \cdot g}{\mu} + \frac{2 \cdot m \cdot (g \cdot \Delta y + a_y \cdot \Delta z)}{d} \quad (11)$$

5.2.3. Minimalna siła przylegania

Minimalna, teoretyczna wartość siły docisku telewizora do przyssawki w trakcie procesu pakowania wynosi:

$$F > \max [F_h; F_v] = F_h = m \cdot (a_z + g) \cdot \left(\frac{1}{\mu} + \frac{2 \cdot \Delta y}{d} \right) \quad (12)$$

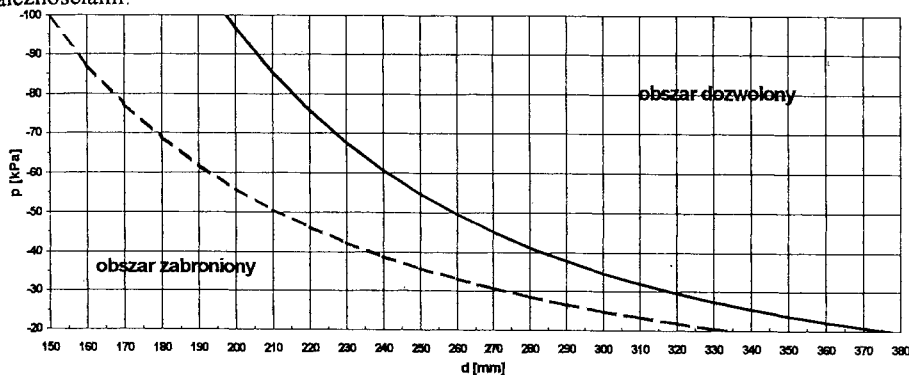
5.3. Wyznaczenie wartości podciśnienia w przyssawce

Zależność wartości podciśnienia od średnicy przyssawki określona jest wzorem:

$$p = \frac{4 \cdot F \cdot k}{\pi \cdot d^2} \quad (13)$$

Zakres ciśnień (rys. 5) odpowiada parametrom typowych generatorów podciśnienia. Należy zwrócić uwagę na fakt, że ze względu na krzywiznę kineskopu wraz ze wzrostem średnicy musi wzrastać głębokość czaszy, znacząco ograniczając przestrzeń pomiędzy ekranem kineskopu i ścianką pudła kartonowego. Wraz ze zmniejszaniem średnicy czaszy maleje

odporność uchwycenia na obciążenia skręcające, mogące oderwać telewizor od przyssawki. Tak więc dobór średnicy przyssawki jest kompromisem pomiędzy przedstawionymi zależnościami.



Rys. 5. Wykres zależności $p=f(d)$.

Firma FESTO [2] proponuje zaawansowany program komputerowy „Dobór elementów podciśnieniowych”, uwzględniających wiele czynników. Po zadeklarowaniu typu chwytanego obiektu (kształt, wymiary, itp.), położenia przyssawki względem obiektu, szczegółowego określenia przyssawki (kształt, materiał itp.) i doborze generatora podciśnienia, przewodów oraz stosowanego napędu (przemieszczenia i prędkości ruchu) następuje wyznaczenie sił i momentów działających na przyssawkę oraz wytypowanie przyssawki spełniającej dane warunki.

W praktyce niektórzy producenci [3] proponują dobór przyssawek w znacznie prostszy sposób: należy obliczyć ciężar chwytanego obiektu i przemnożyć przez współczynnik bezpieczeństwa wynoszący 2 dla ruchów o małej dynamice oraz 2,5 dla ruchów o dużej dynamice; następnie odczytać z tabeli wartości podciśnienia i odpowiadającą średnicę przyssawki. Metoda ta jest bardzo prosta, ale może być obarczona dużym błędem.

5.4. Wybór konstrukcji przyssawki

Na rynku dostępny jest cały szereg przyssawek o różnym przeznaczeniu lecz tylko niewielka ich część nadaje się do pracy w warunkach, gdy obciążenia działają prostopadle do osi czaszy. Konstrukcje tego typu są z reguły wyposażone w specjalne żebra, służące do przenoszenia obciążeń normalnych oraz zapewnienia odpowiedniego tarcia pomiędzy przyssawką a objektem manipulacji. Ważnym elementem jest również skok przyssawki w trakcie chwytania, ponieważ taką samą odległość będzie musiał pokonać chwytak w trakcie zwalniania uchwytu. Parametr ten ma również wpływ na objętość powietrza, jaką należy wypompować z czaszy w trakcie chwytania i wpompować w trakcie zwalniania uchwytu. Objętość ta ma bezpośredni wpływ na czas chwytania oraz zwalniania uchwytu.

6. ZASTOSOWANIE CHWYTANIA ADHEZYJNEGO

Chwytanie adhezyjne z wykorzystaniem różnego typu przyssawek znalazło szerokie zastosowanie, zarówno do chwytania obiektów o małej masie i niewielkich rozmiarach jak i obiektów o znaczących rozmiarach (np. tafle szkła, arkusze blach) lub dużej masie (np. worki z cementem, zbiorcze opakowania).

Rozważany problem chwytania ma również praktyczne zastosowanie i rozwiązany został w związku z automatyzacją procesu pakowania telewizorów do pudeł kartonowych. W dotychczasowym procesie telewizor umieszczony na palecie przemieszcza się po linii montażowej; operator po uchwyceniu telewizora musi go podnieść, przenieść nad kartonowe pudło i włożyć do środka. Z analizy ruchów operatora wynika, że żądany cykl realizować może maszyna manipulacyjna klasy manipulator o ruchach liniowych. Wprowadzenie zastosowanie manipulatora wymaga obecności operatora na stanowisku pakowania, ale całkowicie uwalnia go wysiłku fizycznego. Ze względu na stojącą, wymagającą częstego pochylania się, wymuszoną pozycję ciała podczas pracy oraz konieczność stałego przenoszenia ciężarów (masa telewizora wynosi około 30kg) obciążenie statyczne jest duże. Duża uciążliwość wynika także z monotypowości ruchów roboczych. Wydatek energetyczny operatora pracującego przy ręcznym pakowaniu telewizorów przez 8 godzin wynosi prawie 11000kJ, co oznacza bardzo ciężką pracę fizyczną [4]. Należy zauważyć, że zmęczenie pracownika ma również wpływ na jakość produktu, bowiem często bywa przyczyną uszkodzenia obudowy telewizora.



Rys. 6. Manipulator do pakowania telewizorów.

Manipulator zastosowany w zakładach THOMSON-POLKOLOR pracuje w trybie półautomatycznym, tzn. telewizor jest automatycznie pobierany z linii montażowej i przenoszony nad pudło kartonowe, gdzie oczekuje na reakcję operatora. Po ustawieniu pudła operator inicjuje opuszczanie telewizora i kolejny automatyczny cykl pracy (po dotknięciu telewizora do dna pudła przyssawka zostaje zapowietrzona i odsunięta od ekranu, a następnie manipulator wycofany zostaje na pozycje wyjściową).

7. PODSUMOWANIE

Przedstawiony problem chwytania ma znaczenie praktyczne i rozwiązany został w związku z automatyzacją procesu pakowania telewizorów do pudeł kartonowych w zakładach THOMSON-POLKOLOR.

Do chwytania telewizorów w procesie pakowania najpewniejszym sposobem uchwycenia jest chwytanie adhezyjne, realizowane jedną przyssawką za ekran telewizora.

Częściowa automatyzacja procesu pakowania telewizorów uwalnia operatora od konieczności ciągłego przenoszenia ciężarów.

LITERATURA

- [1] Barczyk J., *Urządzenia chwytające robotów przemysłowych*. Podstawowe problemy współczesnej techniki, t.XXV Robotyka PWN 1987
- [2] FESTO. <http://www.festo.com>
- [3] *Urządzenia próżniowe*. No.01 02 440GB/1. PIAB Promotion. 1999.
- [4] Radwan-Włodarczyk Z.: *Sprawozdanie z badań ciężkości pracy*. Prace Instytutu Medycyny Pracy Nr 4/99. Łódź 1999