

RAFAŁ KLAUS, DARIUSZ NOWAKOWSKI

Instytut Informatyki, Politechnika Poznańska, rafal.klaus@cs.put.poznan.pl

BADANIE KSZTAŁTU PROFILI GUMOWYCH W PROCESIE WYTŁACZANIA

Streszczenie: W artykule przedstawiono systemy pomiaru on-line kształtu komponentów opon samochodowych.

1. Wprowadzenie

W zakładach produkcji opon samochodowych istotny problem stanowi badanie kształtu powierzchni profili w procesie wytłaczania. Ciągłe zwiększanie wydajności produkcji wymusza zastąpienie kontrolę jakości pomiędzy kolejnymi etapami produkcji pomiarem ciągłym bezpośrednio na linii produkcyjnej. W trybie automatycznym bezpośrednio na linii produkcyjnej z powodzeniem stosuje się pomiar szerokości, temperatury, kontrolę wagi części składowych opony, regulację pH oraz analizę twardości wody chłodzącej materiał. Problemem otwartym pozostaje kontrola on-line profilu materiału.

Niniejszy artykuł przedstawia propozycję rozwiązań problemu wyznaczania kształtu tłoczonych profili bezpośrednio w ciągu produkcyjnym.

2. Specyfika pomiarów profili

W procesie wytłaczania wytwarzane są półprodukty stanowiące części składowe opon samochodowych. Mają one postać długich taśm nawijanych na szpule, a następnie ciętych na wymiar, w miejscu budowy opony. Różnią się one wymiarami, złożonością kształtu oraz innymi cechami, które należy wziąć pod uwagę przy projektowaniu systemu pomiarowego.

Bieżnik główny i bok opony wykonane są z średnio twardych mieszanek gumowych, a wypełniacz ze specjalnej twardej mieszanki. Ich grubość wynosi 7~15mm przy szerokości do 250mm. Dzięki temu, elementy te są sztywne, mogą być transportowane na przenośnikach rolkowych, bez obawy o rozciąganie się lub wkręcenie między rolki transportera. Z kolei wykładzina wewnętrzna wykonana jest z bardzo elastycznej i kleistej mieszanki. Posiada prostokątny przekrój, jej grubość wynosi 1mm, a szerokość 300~500mm. Podawane wymiary są podstawą do określenia zakresu pomiarowego urządzeń. Wykładzina wewnętrzna posiada bardzo jednorodną powierzchnię bez punktów charakterystycznych. W pozostałych elementach opony występuje duże zróżnicowanie – poszczególne płaszczyzny nachylone są pod różnym kątem do powierzchni. Bieżnik główny posiada punkt charakterystyczny w osi symetrii zwany linią centralną, jego położenie musi być ujęte w wyniku pomiaru.

Wytłoczony materiał ma wysoką temperaturę jest silnie kleisty, a jego powierzchnia jest lśniąca. Ponadto w pobliżu wytłaczarki występuje zadymienie. Dane pomiarowe muszą odzwierciedlać rzeczywisty kształt i wymiary

materiału. Nie mogą być zależne od tekstury powierzchni, koloru lub jaskrawości barwy, prędkości poruszania się oraz temperatury materiału.

Tolerancja wymiarowa dla szerokości wytłaczanych wyrobów wynosi $\pm 1\text{mm}$, dla grubości $\pm 0,1\text{mm}$. Wymagane jest, aby dokładność pomiarowa wynosiła:

$$I_{pom} \leq 0,3 \times T_{prod} \quad (1)$$

I_{pom} - niepewność pomiaru

T_{prod} - dozwolona tolerancja procesu

Rozdzielczość skali:

$$E = \frac{T_{prod}}{10} \quad (2)$$

E - działka elementarna

T_{prod} - dozwolona tolerancja procesu

Pomiar odbywać musi się z częstotliwością pozwalającą zmierzyć materiał przynajmniej jeden raz na 5m długości. Maksymalna prędkość linii wynosi 30m/min. Wynika stąd, że pomiar musi odbywać się z minimalną częstotliwością 0,1 Hz.

Obecny sposób kontroli jest niedoskonały. Pomimo właściwego ciężaru liniowego oraz szerokości, profil może być poza tolerancją wymiarową. Dlatego też w czasie produkcji z częstotliwością określoną przez dział zapewnienia jakości dokonuje się pobrania próbki, w celu zbadania profilu materiału. Pobranie próbki polega na wycięciu odcinka, który następnie zostaje poddany pomiarom w celu wyznaczenia przekroju poprzecznego. Jeśli wynik jest zgodny z założoną specyfikacją partia materiału z której pobrano próbkę zostaje zwolniona do dalszego etapu produkcji. Czas, po którym otrzymuje się wynik jest zbyt długi. Zbadana próbka daje obraz tylko pewnej długości materiału. Nie ma więc pewności, że cała partia materiału posiada wymaganą jakość. Dla zbadania jakości całego materiału należałoby pobierać próbki z dużą częstotliwością. To z kolei pociąga za sobą takie konsekwencje jak: spowolnienia produkcji, oraz zwiększenie ilości odpadów.

Kolejny problem, pojawia się w przypadku przekroczenie tolerancji wymiarowych. Wycofaniu wówczas podlega duża partia już wyprodukowanego materiału. Wprowadzenie automatycznej kontroli tolerancji wymiarowych profilu tłoczonego materiału, bezpośrednio na linii pozwoli na ograniczenia kosztów produkcji przez zmniejszenie ilości odpadów, a co za tym idzie przyczyni się do ochrony środowiska naturalnego.

Czynniki te stanowią istotne kryterium doboru metody pomiarowej, czujników oraz budowy urządzenia.

3. Kontaktowe i bezkontaktowe metody pomiarowe

Urządzenia wykorzystujące kontaktową metodę pomiaru od wielu lat stosuje się do badania grubości materiałów produkowanych w postaci długich taśm np. papier, folie z tworzyw sztucznych. Pomiar odbywa się na metalowej rolce, która stanowi powierzchnię odniesienia. Materiał tego typu jest miękki i elastyczny, więc dokładnie do niej przylega. W poprzek materiału przesuwa się głowica przetwornika mierząc jego grubość.

Wykładzina wewnętrzna opony wykonywana z mieszanki gumowej posiada pewne wspólne cechy z wymienionymi już produktami. Przekrój porzeczný wykładziny jest prostokątem - grubość wynosi od 1 do 1,5 mm, a szerokość od 300 do 600 mm. Jest miękka i elastyczna – łatwo się rozkłada i dokładnie przylega do powierzchni. Metoda ta stała się podstawą koncepcji badania profilu. Różnicę stanowiącą problem do rozwiązania jest znaczna kleistość materiału, co powoduje, że z czasem następuje przyklejanie się materiału do podłoża. Drugą wadą samej metody pomiarowej jest związana z powierzchnią odniesienia, jej drgania powodują otrzymanie niedokładnych wyników. Istnieją rozwiązania gdzie metalową rolkę pokrywa się teflonem. Teflon doskonale zapobiega przyklejaniu się materiału do rolki. Ruchomy zespół pomiarowy skanujący powierzchnię wykładziny zawiera dwa czujniki. Pierwszy jest przetwornikiem do pomiaru kontaktowego. Może to być np. przetwornik pneumatyczny, jego głowica zakończona jest kulką, która opiera się na materiale. Drugi to przetwornik indukcyjny wykorzystujący zjawisko prądów wirowych, został on umieszczony w odległości trzech milimetrów nad powierzchnią rolki i mechanicznie połączony z przetwornikiem pneumatycznym. Sposób wyznaczenia grubości oparty jest o wynik pomiaru z obu przetworników. Przetwornik pneumatyczny mierzy dystans między głowicą, a materiałem, natomiast przetwornik indukcyjny między głowicą, a metalową częścią rolki. Znana jest również grubość warstwy teflonowej. Miejscową grubość wykładziny można wyliczyć jako:

$$G = M - P - T \quad (3)$$

G – grubość

M – pomiar przetwornikiem indukcyjnym

P – pomiar przetwornikiem pneumatycznym

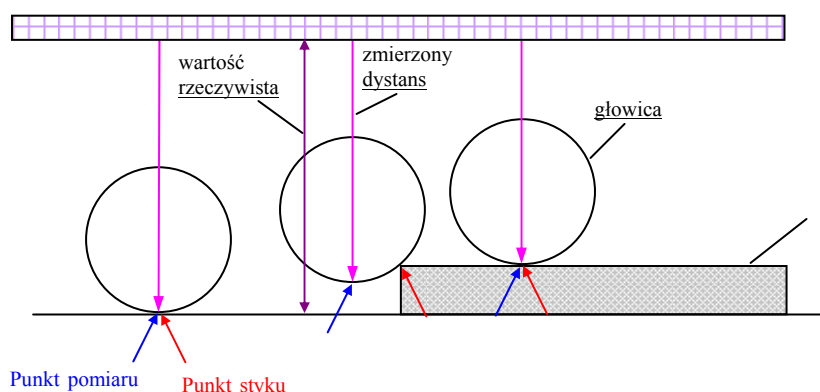
T – grubość warstwy teflonowej

Kalibracja głowicy pomiarowej polega na wyznaczeniu różnicy wskazań pomiędzy przetwornikiem pneumatycznym, a przetwornikiem indukcyjnym. Wykonywana jest ona na rolce bez materiału i nie wymagane jest w tym celu stosowanie wzorca grubości. Służy on jedynie do sprawdzenia poprawności uzyskiwanych wyników pomiarowych.

Taka metoda pomiaru, w porównaniu do pozostałych metod opartych o pomiar względem płaszczyzny odniesienia, ma jedną podstawową różnicę. Odległość między powierzchnią odniesienia, a głowicą nie jest wartością stałą,

wyznaczoną w wyniku kalibracji, lecz jest mierzona w sposób ciągły. Dzięki temu na wynik pomiaru nie mają wpływu drgania rolki. Tak wykonane urządzenie zapewnia dokładność pomiaru grubości $\pm 0,01\text{mm}$. Niezwykle ważna jest tutaj dokładność wykonania rolki odniesienia. Mając na uwadze, że grubość warstwy teflonu stanowi wartość stałą we wzorze, powierzchnia jej, a następnie pokrycie teflonem musi być wykonane bardzo precyzyjnie $\pm 1\mu\text{m}$.

Kolejny aspekt techniczny to wielkość siły docisku i powierzchni styku pomiędzy przetwornikiem kontaktowym, a materiałem. Parametry te muszą być tak dobrane aby zapewnić stały kontakt przetwornika z materiałem, bez wgniatania i rysowania powierzchni badanego obiektu, przy jak najmniejszej powierzchni styku. W przypadku wykładziny z mieszanki gumowej ustalono, że powierzchnia ta powinna wynosi $3\sim 5\text{mm}^2$. Inne parametry urządzenia to szybkość skanowania 10m/min , zakres pomiarowy $2,5\text{mm}$.



Rys. 1. Głowica przetwornika kontaktowego na materiale

Taki system doskonale spełnia rolę w zakresie pomiaru grubości. Jednak urządzenie nie może dokładnie wykryć krawędzi materiału. Największy błąd wystąpi, gdy wysokość krawędzi materiału równa będzie promieniowi kulki. Kolejną rzeczą jest siła docisku głowicy do materiału, co za tym idzie bezwładność mechaniczna przetwornika. Jej wielkość jest wynikiem kompromisu z wielkością powierzchni styku. Właściwe jest dobranie jak najmniejszej powierzchni styku i jak największej siły docisku. Przy prędkości przesuwu 10m/min i niewielkiej sile docisku może zdarzyć się przy schodzeniu z krawędzi materiału stracenie kontaktu. Następnie przy spadnięciu na metalową rolkę może powstać niewielkie odbicie. Sposobem na wyeliminowanie tej jest zastosowanie dodatkowego czujnika. W głowicy pomiarowej należy zabudować miniaturowy detektor laserowy. Posiada on punkt pomiaru $\phi = 0,01\text{mm}$. Umożliwi to dokładne wykrycie krawędzi materiału i określenie szerokości materiału na podstawie sygnału z LVDT kontrolującego położenie skanera.

Tak zmodyfikowany system jest dobrą koncepcją pomiaru on-line i sprawdzi się w wyznaczaniu profilu wykładziny wewnętrznej.

Opisana metoda kontaktowa nie może być wykorzystana do pozostałych typów materiału. Duża powierzchnia styku między materiałem, a czujnikiem nie pozwala na dokładne wyznaczenie szczegółów powierzchni, jak na przykład linia centralna w przypadku bieżnika głównego opony. Ponadto, dokładny wynik pomiaru jest możliwy do uzyskania tylko przy badaniu powierzchni równoległej do linii przesuwu głowicy - im powierzchnia będzie bardziej nachylona tym większy będzie błąd pomiaru. Maksymalny zakres pomiarowy urządzenia jest ograniczony przez możliwości stosownego przetwornika indukcyjnego. Przy zachowaniu dokładności $\pm 2\mu\text{m}$ wynosi ona 10mm. []

Pomiary profili metodą bezkontaktową mogą być wykonywane z wykorzystaniem skanera wychyłowego, skanowania jednopunktowego, dwupunktowego oraz metodą pomiarów polowych jak triangulacją i interferometrią wielopunktową. Przewodzącym rozwiązaniem jest wykorzystanie do wyznaczenia kształtu powierzchni materiału w procesie wytłaczania profili z mieszanek gumowych metody triangulacji wielopunktowej. Detektorem sygnału jest wieloelementowa matryca CCD, natomiast źródłem światła, które pada na materiał, laser emitujący kątowno rozdwojoną falę płaską.



Rys. 2. Pomiar metodą bezkontaktową

Do największych zalet tej metody należy zaliczyć wyeliminowanie potrzeby stosowania mechanicznego układu przesuwu. Ogranicza to do minimum konieczność stosowania przeglądów okresowych układu, które sprowadzają się

jedynie do sprawdzania stanu mocowania przetwornika do ramy, czystości „okna” i wykonania pomiaru kontrolnego przy użyciu legalizowanego wzorca. Dzięki tym czynnikom koszty eksploatacji urządzenia są niskie. Przy dokonywaniu pomiarów metodą triangulacji wielopunktowej nie istnieje problem ukośnego skanowania materiału, charakterystycznego w pozostałych rozwiązaniach bezkontaktowych.

Konstrukcja ramy nośnej ze względu na prostotę jak i ograniczone zapotrzebowanie na miejsce do instalacji, umożliwia usytuowanie urządzenia w dowolnym punkcie ciągu produkcyjnego. Instalacja urządzenia nie wymaga dokonania zmian w istniejącym układzie transporterów linii technologicznej, dzięki czemu nie stanowi większego problemu technicznego.

Przy zastosowaniu czterech czujników system posiada zakres pomiarowy wynoszący 400mm i pozwala wyznaczyć dokładnie kształt górnej i dolnej powierzchni materiału. Ponadto, na otrzymany wynik nie mają wpływu czynniki związane z powierzchnią odniesienia. Wymagane jest jednak także umiejscowienie urządzenia, aby był możliwy pomiar dolnej części materiału np.: transporter rolkowy.

4. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych analiz metoda triangulacji wielopunktowej jest najkorzystniejszym rozwiązaniem do realizacji badania kształtu profilu w trybie on-line na linii produkcyjnej. O ile badanie bieżnika głównego, boku opony i wypełniacza drutowki można przeprowadzić tą metodą to do badania wykładzin wewnętrznych metoda ta jest niewystarczająca. Posiada zbyt mały zakres pomiaru szerokości. W tym przypadku należy stosować metodę kontaktową z dodatkowym czujnikiem laserowym do wykrycia krawędzi materiału.

Abstract: The paper presents on-line geometry measurement of extruder tire components

LITERATURA

- [1] ASM.: Magnetostrictive position sensor with incremental output, CAT-POS-E, 2011
- [2] ELECTRONIC SYSTEM SPA: Thickness Measurement Systems, 2012
- [3] GMS.: Measure system for thickness control C-00105-A, 2003
- [4] HONEYWELL: Micro switch Sensing and Control, 2011
- [5] KEYENCE: Sensors vision & measurement G-2002-UK-1-1201, 2001
- [6] KLAUS R., NOWAKOWSKI D.: Badania kształtu powierzchni materiału w procesie wytłaczania profili z mieszanek gumowych, Raport Instytutu Informatyki PP, 2012
- [7] THOMPSON T.: Charge coupled device, August, 2011