

Zastosowanie pasów płaskich w zaawansowanych konstrukcjach maszyn

Application of flat belts in advanced machine constructions

GRZEGORZ DOMEK
MICHAŁ WILCZYŃSKI
TADEUSZ WOŹNIAK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.177>
English version available on: www.mechanik.media.pl

W pracy poruszono zagadnienie stosowania pasów płaskich w zaawansowanych konstrukcjach maszyn. Pasy te pozwalają na realizację najbardziej skomplikowanych rozwiązań napędowych i przenośnikowych oraz funkcji złożonych. W napędach pracują z największymi prędkościami, przenoszą największe momenty obrotowe, współpracują z kołami leżącymi w różnych płaszczyznach. Dzięki użyciu do produkcji pasów nowoczesnych materiałów można uzyskać przekładnie o szerokim spektrum zastosowań, co powinno je uczynić najpopularniejszymi w budowie maszyn.

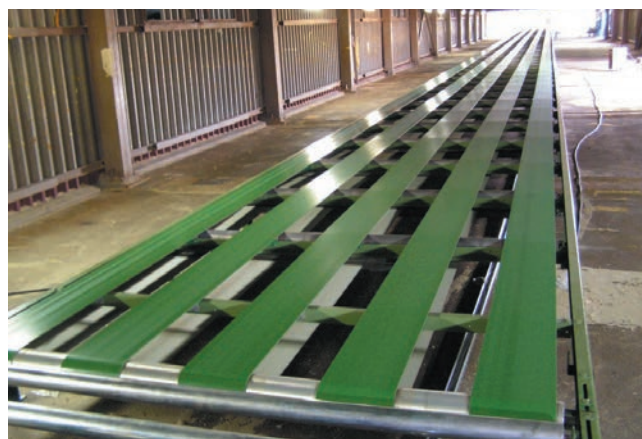
SŁOWA KLUCZOWE: pasy płaskie, przekładnie pasowe

The paper presents some issues of flat belts use in advanced machine designs. These belts allow realizing for the most complex drive and conveyor solutions as well as complex functions. They work in the drives at the highest speed, carry the highest torque, work with wheels arranged in various planes. With the use of modern material for belts, it is possible to obtain gearboxes with a wide range of applications, which should make them the most popular in machine construction.
KEYWORDS: flat belts, belt drives

Podstawowymi barierami stosowania pasów płaskich w systemach produkcyjnych najczęściej są niewiedza i uprzedzenia. Pasy często są częścią maszyny, spełniającą jednocześnie funkcje przekładni i sprzęgła. Mark Twain powiedział kiedyś: *pogłoski o mojej śmierci są mocno przesadzone*. Parafrazując to zdanie, można powiedzieć: *pasy płaskie są zbyt przestarzałe do zaawansowanych konstrukcji maszyn*. Niemniej jednak za ich pomocą nadal można rozwiązać najtrudniejsze problemy napędowe i przenośnikowe.

Przekładnie z pasami płaskimi były jednymi z pierwszych przekładni cięgnowych i po wprowadzeniu innych rodzajów pasów do przenoszenia momentu obrotowego ich rola ograniczyła się do pasów przenośnikowych (rys. 1). Nazywano je tałsmami transportowymi i procesowymi, co było niezbyt udanym tłumaczeniem z języka niemieckiego, sugerującym, że ich funkcja jest bardzo prosta (przenoszenie produktu z punktu A do B lub bycie elementem składowym procesu produkcyjnego). W ostatnich latach funkcje i jakość pasów wyraźnie się zmieniały – powstały konstrukcje, które mogą sprostać najwyższym

wymaganiom współczesnych maszyn [3]. W niektórych napędach pasy płaskie osiągają najwyższe prędkości, nieosiągalne dla innych typów pasów. Stosowane są także w prasach, gdzie pod wysokim ciśnieniem prasowane są płyty drewniane lub tworzywa sztuczne. Również napędy o największych momentach obrotowych wykorzystują pasy płaskie [2].



Rys. 1. System pasów przenośnikowych w fabryce pianki PU

Problemy eksploatacji pasów płaskich

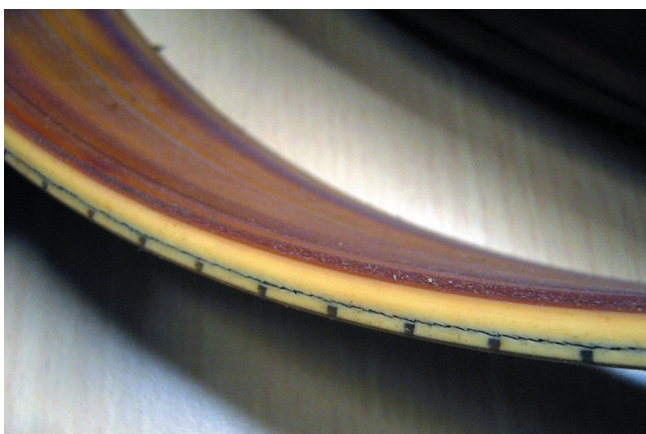
Podstawową cechą przekładni pasowych jest przeniesienie momentu obrotowego na znaczne odległości, choć mogą także realizować funkcje innych przekładni cięgnowych, walcowych i wałów napędowych. Pasy stosuje się dlatego, ponieważ są lekkie i sprawiają, że przekładnia nie emituje nadmiernego hałasu. „Cięższe” rozwiązania powodują straty energii, jednak użytkownicy uważają je za trwalsze. Jest to błędne myślenie – problem trwałości rozwiązuje wybór właściwego materiału, również w przypadku innych przekładni.

Trwałość pasów przenośnikowych i napędowych jest uzależniona od zużycia objętościowego i energetycznego. Przekładnie pasowe w większości są zbudowane z polimerów syntetycznych i naturalnych, w których zużycie energii wiązań pomiędzy łańcuchami polimerów prowadzi do osłabienia struktury materiału i pękania. Pasy wykonywane są również z materiałów krystalicznych (np. pasy stalowe) – w tym wypadku po pewnym czasie może dojść do zmęczenia materiału [1]. Zużycie objętościowe jest związane głównie ze ścieraniem, chociaż występuje

* Dr hab. inż. Grzegorz Domek (gdomek@ukw.edu.pl), prof. UKW; dr hab. inż. Tadeusz Woźniak, prof. UKW (wozniak@ukw.edu.pl) – Instytut Techniki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego; mgr inż. Michał Wilczyński (mwilczynski@whm.pl) – WHM Polska Sp. z o.o.

także zgniecenie materiału. W pasach polimerowych zgniecenie następuje w pierwszych cyklach pracy i oczywiście po dłuższym okresie – na skutek pełzania materiału. Ścieranie dotyczy wszystkich pasów napędowych i przenośnikowych – jest skutkiem ciernego lub ciernokształtowego sprzężenia pasa z kołami [5]. W przekładni pasowej rzeczywistej poślizg pasa po kole jest związany z kompensacją wydłużenia ciągną czynnego w stosunku do ciągną biernego. Skoro więc poślizg występuje w każdej przekładni pasowej, w każdej występuje ścieranie.

Pasy i koła pasowe dobierane są tak, aby para cierna (pas – koło) zapewniała jak największą sprawność przekładni – dopiero w następnej kolejności projektuje się ścieralność. Najpierw dobierane są koła bardzo odporne na ścieranie, a potem pas z materiału odpornego na ścieranie, jednak priorytetem jest współczynnik tarcia. Konstruktorom często się wydaje, że współczynnik tarcia jest wprost proporcjonalny do ścieralności. Niestety, nie jest. Podobnie twardość pasa i koła nie przekładają się wprost na odporność na ścieranie, jest to związane z budową wewnętrzną materiału (rys. 2) [4].



Rys. 2. Pas płaski wykorzystywany w procesie obróbki paneli podłogowych

Pierwsze pasy płaskie były wykonywane ze skóry, lecz później ten materiał uznano za niezbyt trwały i zastąpiono go innymi. Obecnie wiele pasów zbudowanych na nowoczesnej osnowie pokrywa się skórą, gdyż jest to materiał bardzo odporny na ścieranie i wysoką temperaturę. Występowanie na kołach poślizgu trwałego nie niszczy takiego pasa, a po zmniejszeniu siły obwodowej pas może dalej pracować [10]. Pasy pokryte skórą nadają się do pracy w najcięższych warunkach (np. jako element rębaków w zakładach produkujących płyty drewniane). Ścieralność materiału jest cechą, na którą szczególną uwagę zwraca się przy wyborze opon: z gumy – do pojazdów samochodowych, z poliuretanu – do pojazdów przemysłowych, ze stali – do pojazdów szynowych. Podobnie jest z pasami pracującymi w trudnych warunkach. W zależności od nich dobiera się różne rodzaje:

- gumy – na pasy pracujące na zewnątrz,
- polimerów – na pasy pracujące w obiektach zamkniętych,
- stali – na pasy poddane ogromnym naciskom i pracujące w bardzo trudnych warunkach.

Uwarunkowania związane z pracą pasów często są bardzo złożone. Pasy wydające banknoty w bankomatach nie mogą zawieść, chociaż parametry otoczenia w ciągu roku zmieniają się diametralnie. Podobnie pasy pracujące w środowisku narażonym na wybuch bądź środowisku agresywnym chemicznie. Materiał pasa w systemach pro-

dukcyj papierosów przenika do tytoniu i razem z nim jest spalany, dlatego też zakres stosowanych tam materiałów jest bardzo ograniczony [7]. Pasy przenośnikowe w produkcji cukru są bardzo intensywnie ścierane – po 2 latach eksploatacji starciu ulega połowa pasa. Produkt ścierania – a są to setki kilogramów tworzywa – trafia do cukru. Materiał pasa musi zatem mieć dopuszczenie do kontaktu z żywnością, a od kilku lat normy europejskie regulują ilość materiału mogącą migrować z pasa do żywności.

Sprzężenie pasa z kołem

Sprzężenie ciernie nieważkiej nici z kołem opisał w swoich pracach Euler i chociaż ten problem poruszało później wielu autorów, to rozwinięcie wzoru Eulera pozwala zrozumieć zjawiska występujące w przekładni z pasem płaskim. W rzeczywistej przekładni należy wskazać na procesy zachodzące pomiędzy pasem a kołem oraz pomiędzy materiałem pasa i kordem. Nowoczesne rodzaje włókien stosowanych w warstwie nośnej pasa mają coraz lepsze właściwości mechaniczne. Stosunek wydłużenia ciągną czynnego do biernego zbliża się do jedności. Jakość sprzężenia zależy od współczynnika tarcia pasa do koła μ_z i tarcia wewnątrz pasa μ_w . Sprzężenie w przekładni można opisać następująco:

$$\frac{dS_1}{dS_2} = e^{\beta\mu}$$

gdzie: μ – współczynnik tarcia ($\mu = \mu_z + \mu_w$); β – kąt opasania koła wyrażony w radianach; S_1 – napięcie w ciągnie czynnym, S_2 – napięcie w ciągnie biernym, e – podstawa logarytmu naturalnego.

Odporność warstwy nośnej pasa na rozciąganie poprawia warunki pracy powierzchni bieżnej. Nie jest ona tak rozciągana i nie powstają w niej uszkodzenia zmęczeniowe. Problemem nowoczesnych pasów są zjawiska reologiczne, spójność kordu z materiałem pasa oraz prędkość liniowa pasa. Jeżeli stosunek wydłużenia ciągną czynnego ΔL_c do biernego ΔL_b dąży do jedności, należy rozpatrywać odkształcenie materiału poniżej warstwy nośnej, polegające na ściśnięciu i przemieszczeniu poziomym względem kordu. Jeżeli więc:

$$\frac{\Delta L_c}{\Delta L_b} \gg 1$$

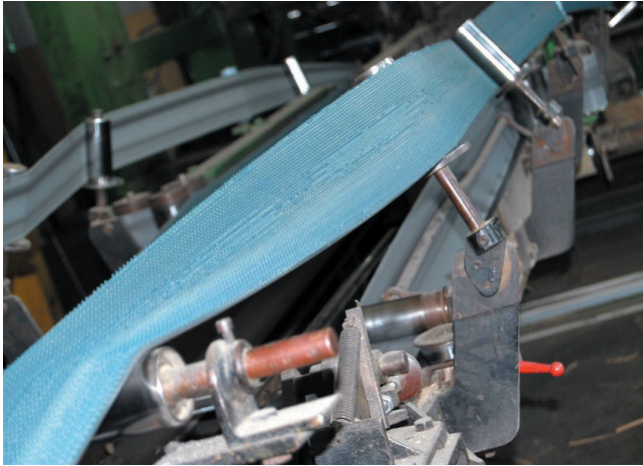
wtedy sprzężenie w przekładni z pasem płaskim jest funkcją materiału pasa σ , powierzchni styku z kołem D , siły obwodowej F_o , siły napięcia wstępnego F_r oraz wysokości warstwy pasa h poniżej warstwy nośnej:

$$\frac{dS_1}{dS_2} = f(\sigma, h, D, F_r, F_o)$$

Prowadzenie biegu pasa na kołach

Poruszanie się pasa płaskiego po kole wydaje się jednym z głównych problemów, które spowodowały odejście od tego typu przekładni. Problem ten jednak rozwiązano przed wieloma laty i obecnie pasy płaskie najlepiej spełniają funkcję napędzania kół położonych w różnych płaszczyznach (rys. 3). Koła pasowe, a przynajmniej napędowe, powinny mieć kształt baryłki. Możliwe jest umieszczanie na stronie bieżnej pasa profili klinowych współpracujących z odpowiednio ukształtowanym kołem, a w wielu

przypadkach stosuje się mechatroniczne systemy korygujące bieg pasa. Niwelują one wpływ zmiany siły działającej na pas na jego szerokości oraz błędy montażowe i konstrukcyjne systemów mechanicznych. Niedokładności wykonania maszyn, w których osadzone są przekładnie pasowe, są także przyczyną niszczenia innych rodzajów pasów [5, 6].



Rys. 3. System pasowy w fabryce opakowań papierowych

Dobór średnicy bębna napędowego i problem zginania pasa

Od wielu lat w doborze parametrów elementów przekładni pasowej konstruktorom pomagają programy obliczeniowe dostarczane przez producentów pasów [9].

W tych programach występuje szereg ograniczeń i wielkości stałych, a uzyskane wyniki nie pokrywają się z obliczeniami wykonanymi samodzielnie. Oprogramowanie wyklucza skrajne wyniki (np. zbyt wąski pas, zbyt mała średnica kół), a dodatkowo zawiera szereg parametrów określających właściwości pasa. Umieszczenie tych parametrów w skompilowanym programie chroni producenta przed upowszechnieniem tej wiedzy. Czasem najlepszą zasadą doboru pasa do kół wydaje się wybór według minimalnej średnicy koła, na którym pas może pracować. W ten sposób wybiera się najmocniejszy pas – prawdopodobnie jest on wielokrotnie przewymiarowany, jednak z pewnością dobrze spełni swoją funkcję i nie połamie się na kołach.

Podsumowanie

We współczesnych pasach płaskich warstwa nośna jest zbudowana z materiałów zapewniających jak najmniejsze wydłużenie, a jednocześnie zachowanie elastyczności na kołach o małej średnicy. Włókna węglowe (Carbon) i stalowe (ze stali najwyższej jakości) zapewniają stabilność warstwy nośnej pasów płaskich. Obecnie sprzężenie z kołami zależy więc w dużym stopniu od materiału zastosowanego po stronie bieżnej.

Mimo że udało się uzyskać (podobnie jak w założeniach do równania Eulera) prawie nierozciągliwy kord, to jednak pozostał problem masy ciężka i jego grubości. Dlatego też na stronie bieżnej pasa stosuje się materiały o dużym współczynniku tarcia do materiału kół, nieodkształcalne i lekkie, przy czym tę warstwę wykonuje się jak najcieńszą. Należy przyjąć, że im cieńsza warstwa bieżna, tym wyższa jest sprawność przekładni pasowej. W ostatnich latach zaprojektowano wiele nowych konstrukcji z pasami płaskimi, a rozwój inżynierii materiałowej pozwala oczekiwać kolejnych nowoczesnych pasów i sukcesów w ich aplikacji.

LITERATURA

1. Alipour A., Naderi G., Bakhshandeh G.R., Vali H., Shokoohi S. "Elastomer nanocomposites based on NR/EPDM/Organoclay: morphology and properties". *International Polymer Processing*. XXVI, 1 (2011).
2. Dressing H., Holzweissig F. "Dynamics of Machinery, Theory and Applications". Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2010.
3. Domek G., Dudziak M. "Algorithm for choosing the gears with timing belts". *Machine Dynamics Problems*. 30, 3 (2006): s. 65–67.
4. Domek G., Kołodziej A. "The surface conditions of pulleys in use". *Machine Dynamics Problems*. 30, 3 (2006): s. 72–78.
5. Domek G., Krawiec P. "Methods of designing of timing belts pulley". *University Review*. 1, 3 (2007): s. 15–20.
6. Domek G., Kołodziej A. "Problem porządkowania produktów spożywczych na przenośnikach pasowych". *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*. 1 (2007): s. 42–43.
7. Domek G. „Studium projektowania cech konstrukcyjnych i eksploatacyjnych pasów zębatych”. Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, 2013.
8. Dudziak M. „O problemach tarcia wewnętrznego i dyssypacji energii w gumowych pasach ciągnowych”. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1990.
9. Dudziak M., Domek G. „Podstawowe moduły programu obliczeniowego przekładni pasowych”. *XVI Konferencja „Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo” – COSIM'07*. Politechnika Warszawska, Nałęczów 10–12.10.2007 r., s. 33–34.
10. Schafer F.H. „Antriebsriemen”. Höxter (Niemcy): Huxaria Druckerei, 2008.