

GRZEGORZ DOMEK

Wydział Matematyki, Fizyki i Techniki, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz

Zużycie objętościowe kół pasowych w maszynach spożywczych

Wstęp

We współczesnych przekładniach należy zwracać szczególną uwagę nie tylko na dokładność wykonania kół, ale także na stan powierzchni, gdyż w większości przypadków występuje para cierna: pas i koło. Przekładnie z pasem zębatym mylnie uważane były i nadal są uważane za przekładnie, w których występuje tylko sprzężenie kształtowe. Nie zwracano uwagi na cierno-kształtowy charakter sprzężenia pasa zębatego z kołami oraz na znaczenie stanu powierzchni i dokładności wykonania kół dla jakości sprzężenia. Celem pracy jest analiza parametrów istotnych dla zużycia, do których należy zaliczyć: obciążenia, tworzywa, kształt pasa i kół, stan powierzchni, beczukowatości, bicia oraz równoległości wałów. Istotne jest również sprzężenie w przekładni z pasem klinowym i zębatym. Stan powierzchni oraz niektóre cechy konstrukcyjne są często ignorowane. Zwraca się natomiast uwagę na osadzenie kół na wałach. Rozwiązania uniwersalne, jak tuleje osadcze, rozprężne lub zaciskowe znacznie poprawiają powtarzalność mocowania kół, jednak związane są z innym problemem, dotyczącym współpracy elementów osiowo-symetrycznych.

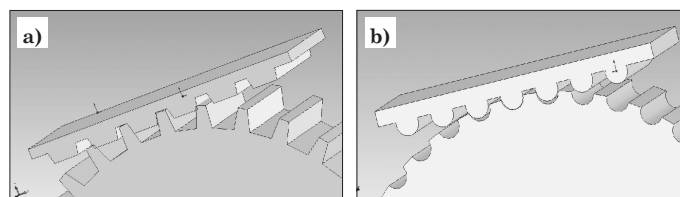
Sprzężenie pasa z kołem

Prowadzenie pasa na kołach realizowane jest zazwyczaj poprzez tarcze brzegowe na kołach lub specjalne ukształtowanie strony bieżnej. Aby zapewnić poprawne sprzężenie pasa z kołami konieczne jest uwzględnienie właściwości mechanicznych pasa oraz zmian kształtu zębów spowodowany zginaniem i naciskiem pasa na koła. Swobodne zginanie pasa pozwala zaobserwować zmianę kształtu zębów w strefie zginanej. Materiał ściskany poniżej warstwy nośnej wypychany jest do wewnątrz zębów i w zależności od ich typu widoczna jest zmiana ich podstawowych parametrów. Pas zębaty w chwili sprzęgania z kołem pasowym jest wyprostowany, zginanie następuje dopiero na łuku opasania. W sprzężeniu z kołem materiał pasa jest ściskany pomiędzy warstwą nośną a powierzchnią koła. Dlatego koła pasowe powinny uwzględniać zmianę kształtu zęba pasa na łuku opasania, inaczej w przypadku pasów opierających się o wierzchołki zębów kół i pasów opierających się o dna wrębów kół.

W przekładniach opierających się o wierzchołki zębów ściskana jest niewielka warstwa materiału pasa i przypadek ten jest podobny do swobodnego zginania. Spośród parametrów określających cechy charakterystyczne zęba pasa, istotnej zmianie ulega współczynnik zaokrąglenia zęba. Pozostałe cechy jak współczynnik objętości, wysokości i powierzchni zęba, również ulegają nieznacznej zmianie, nie ma to jednak wpływu na sprzężenie w przekładni. Kształt wrębu koła pasowego nie ma wpływu na zmianę kształtu zęba pasa. Wypychanie materiału

w centralnej części zęba i zaokrąglenie boków powoduje pogorszenie sytuacji w stopie zęba. Bardziej narażona jest ona na działanie efektu karbu, co pogarsza jeszcze opadanie zęba pasa w głąb wrębu koła. Niektórzy producenci kół dodatkowo zalecają zwiększenie kąta pomiędzy bokami sąsiednich zębów w stosunku do kąta rozwarcia boków zęba pasa. W przypadku pasa typu T10 różnica ta wynosi 10% i niedokładność w tym zakresie jest często spotykana, co jednak nie wpływa na trwałość przekładni. Uwzględnia to częściowo zmianę kształtu zęba na skutek zginania i poprawia zazębianie z pasami w trakcie eksploatacji. W przekładniach mających taki charakter współpracy pasa z kołami, istotne jest zachowanie dokładności średnicy wierzchołków i podziałki kół. W związku z odkształceniem się pasa w strefie pomiędzy warstwą nośną a powierzchnią oparcia o koła zaleca się zwiększenie średnicy wierzchołków koła.

Analizując zmianę kształtu zębów pasów opierających się o dna wrębów kół należy wyróżnić trzy grupy tego rodzaju pasów. Pasy o zębach trapezowych i ewolwentowych z łysinką, pasy o zębach zaokrąglonych oraz pasy o specjalnie ukształtowanym wierzchołku zęba. Pasy posiadające płaski wierzchołek zęba opierają się o powierzchnię, której zaokrąglenie odpowiada średnicy stóp zębów R_f . Materiał pasa ściskany jest pomiędzy powierzchnią wrębu i warstwą nośną zaokrągloną promieniem R_a które są fragmentami dwóch współosiowych walców. Promienie tych walców maleją wraz ze zmniejszaniem średnicy koła.



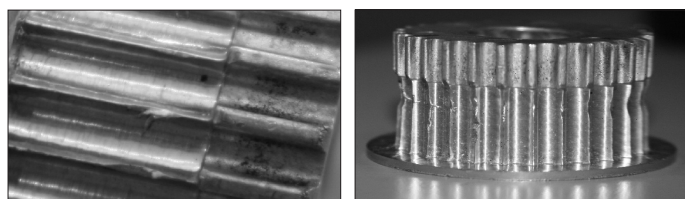
Rys. 1. Pas zębaty: a) opierający się o wierzchołki koła pasowego, b) opierający się o dna wrębów koła pasowego

Uważa się, że zaokrąglone promieniem dna wrębu wpływa na ograniczenie efektu wieloboku, jednak płaskie ukształtowanie dna wrębu lepiej decyduje o ułożeniu łańcuchów polimeru w zębie pasa. To ukształtowanie może być zmieniane bez dużego nakładu kosztów. Można pochylić powierzchnię dna wrębu lub tak ukształtować, aby ząb był bardziej ściśnięty po stronie przenoszącej obciążenia na kole czynnym. Na kole czynnym ząb pasa przesuwany jest po boku zęba koła i takie ukształtowanie skraca drogę tarcia. Na kole biernym „odchyła się” od zęba pasa i nie utrudnia przebiegu procesu wysprzęgania. Problemem kształtowania kół pasowych było błędne przyjmowanie właściwości mechanicznych pasów. Nie dostrzega się różnego sposobu współpracy pasa z kołami czynnymi i biernymi. W przypadku przekładni z dwoma kołami, warunki panujące na łukach opasania przyjmowano jako syme-

tryczne. Dlatego wszystkie profile zębów prostych kół są także symetryczne. Można to tłumaczyć tym, że koła mogą się poruszać w różnych kierunkach. Jest to tylko częściową prawdą, gdyż zmiana funkcji koła z napędzanego na napędzane powoduje zmianę warunków panujących na łuku opasania i strefach sprzęgania i wyprzęgania. Podobnie jak w przypadku opon samochodowych, także w przypadku kół pasowych należy podkreślić, że aby uzyskać optymalne warunki współpracy pasa i koła należy zaprojektować koła przystosowane do kierunku działania. Koło zamontowane w przekładni jako czynne w określonym kierunku będzie dobrze spisywało się jako bierne w przeciwnym kierunku. Koła o zębach prostych symetrycznych nadal będą stosowane w napędach rewersyjnych, jednak rzadko obciążenia dla obu kierunków ruchu są takie same.

Pasowe koła zębate

Badania eksploatacyjne przekładni pasowych wskazują na różne formy zużywania się wszystkich elementów składowych przekładni. Istotne ze względu na konstrukcje maszyn spożywczych jest zużycie objętościowe pasów i kół. Produkty tego procesu mogą przenikać do żywności, jak również być niebezpieczne dla użytkowników maszyn. Zużycie objętościowe towarzyszy zjawiskom tarcia związanym zarówno ze sprzężeniem pasa z kołem jak również koniecznością utrzymania pasa we właściwym położeniu na kole. Pozostawanie pasa na bieżni nie stanowi problemu w przekładniach z pasami okrągłymi klinowymi, wieloklinowymi i wielokątnymi. Problem ten wymagał rozwiązania w przekładniach z pasami płaskimi i zębatymi. Wyróżnić można trzy konstrukcje, z których każda stanowi rozwiązanie tego problemu, są one jednak dopasowane do określonych warunków eksploatacyjnych w przekładni. Wykonanie koła pasowego w kształcie baryłki powoduje powstanie różnych prędkości liniowych na powierzchni koła. Punkty styku na powierzchni o większej średnicy poruszają się z większą prędkością co powoduje, że pas wciągany jest zawsze na środek koła. Specjalne ukształtowanie strony bieżnej np. poprzez zastosowanie klina prowadzącego pozwala usytuować pas na kole w oparciu o specjalnie wykonany rowek. Jest to dobre rozwiązanie dla pasów poruszających się z małą prędkością liniową na kołach o średnicy nie powodującej nadmiernego zginania pasa z klinem. Można także zastosować na kołach tarcze brzegowe lub listwy prowadzące pas, jednak to rozwiązanie powoduje często mechaniczne zniszczenie pasa. W przypadku pasów poruszających się wolno, wykorzystywanych w sterowaniu, można spotkać automatyczne systemy regulacji. Systemy te stosowane są w konstrukcjach przekładni, gdzie koszt oprzyrządowania nie jest znaczący w porównaniu z kosztem całego urządzenia.



Rys. 2. Zmiany eksploatacyjne na kole pasowym

W klasycznych pasach zębatych zużycie objętościowe następuje w obszarze kontaktu pasa z kołem, czyli we wrębie pasa i na boku zęba. Zużycie boku zęba powoduje przenoszenie obciążenia na kolejne zęby na łuku opasania. Wielkość odkształcenia Δl_z pozostaje podobna, natomiast maleje sprawność przekładni. Ubytek i odkształcenie materiału w wrębie pasa powoduje obniżenie położenia warstwy nośnej pasa nad kołem a tym samym zmniejszenie jego podziałki. Podobny skutek przynosi starcie wierzchołków zębów. W eksploatacji ulegają zmianie wartości parametrów opisujących cechy geometryczne zębów. Klasyczny sposób oparcia pasa wpływa na zmęczenie kordu tzw. efektem „wieloboku”. Zmianie ulega również kształt zębów oraz powierzchnia kół pasowych. Nadmierne zużycie zębów oraz zmniejszenie podziałki połączone z dyssypacją energii wiązań wewnętrznych w pasie powoduje powstanie szczelin w stopie zęba. Powstaje niebezpieczeństwo wypadnięcia zębów, wówczas twarde koło może zniszczyć koło pasowe.

Podsumowanie

Problemem producentów jest odpowiednia konstrukcja pasa uwzględniająca właściwości polimerów stosowanych w produkcji pasów. Wewnętrzne tarcie, wewnątrz skręcanych zębów, powoduje dyssypację znacznej części energii. Wzrost temperatury wpływa negatywnie na właściwości mechaniczne materiału co powoduje pogorszenie jakości sprzężenia w centralnej części pasa. Materiał w podwyższonej temperaturze ulega większym odkształceniom spowodowanym zarówno zaciskiem jak i zginaniem. Problemy odkształcenia zębów próbuje się rozwiązywać stosując włókna kompozytowe w zębach, tkaniny pokrywające, lub wyłączając centralną część pasa ze sprzężenia kształtowego stosując klin prowadzący jak w przypadku pasów typu BATK (*curved teeth with guiding track*). I jak na producentów pasów zębatych przystało w tym ostatnim przypadku nie uwzględnia się problemu zginania pasa klinowego na łuku opasania koła. W tym przypadku deformacja ta jest znaczna, gdyż cały klin umieszczony jest poniżej warstwy nośnej i poddany jest naprężeniom ściskającym. Częściowo problem ten rozwiązywany jest poprzez zwiększenie luzu pomiędzy zębami pasa i koła, pogarsza to jednak warunki sprzężenia. W efekcie pasy o zębach nierównomiernie rozmieszczonych na szerokości nie przenoszą dużo większych momentów obrotowych. Przekładnie tego typu pracując emitują mniejszy hałas. Dzięki zwiększeniu współczynnika porycia w procesie sprzęgania bierze udział jednocześnie większa liczba zębów i nie dochodzi do uderzania głów zębów pasa o głowy zębów koła.

LITERATURA

1. M. Dudziak, G. Domek: Machine Dynamics Problems 28, nr 3, 83 (2004).
2. G. Domek, I. Malujda: Mechanik nr 2, 130 (2006).
3. M. Dudziak, G. Domek: Bezpieczeństwo projektowanych przekładni pasowych, XV Konferencja: „Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo” s. 103, Kazimierz Dolny, 2005.
4. G. Domek, M. Dudziak: Dissipation of energy in gear with timing belts, Progress in Material Engineering, Zeszyty Naukowe TU Ostrawa, nr 1, s. 53, 2005.
5. G. Domek, M. Dudziak, A. Kołodziej: Inż. Ap. Chem. 44, nr 3, 20 (2005).
6. G. Domek, M. Dudziak, A. Kołodziej: Mechanik nr 3, 174 (2005).