

1. WSTĘP DO PRZEKŁADNI	2
2. ELEMENTY PRZEKŁADNI	2
2.1 Ząb	2
2.2 Koła zębate walcowe	3
2.3 Listwy zębate	4
3. DANE TECHNICZNE	4
3.1 Dobór kół	4
3.2 Odległość zerowa osi	4
3.3 Smarowanie	5
3.4 Obróbka mechaniczna	5
3.5 Materiały	5
4. ZASTOSOWANIE	5
SŁOWNIK	6

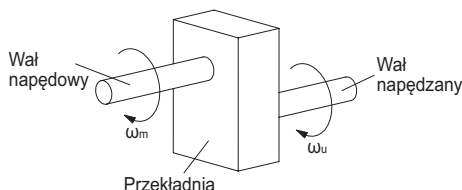


9
Elementy maszyn

Przekładnia składa się z zespołu elementów wymaganych do przesyłania mocy w układzie mechanicznym, przenosząc w ten sposób energię z silnika do urządzenia przez określony czas:



Przeniesienie mocy z silnika na przekładnię odbywa się zwykle za pomocą wału napędowego. Wał napędzany umożliwia natomiast przeniesienie tej mocy z przekładni na urządzenie.



Moc docierająca do urządzenia nigdy nie może być równa mocy wychodzącej z silnika. W rzeczywistości, podczas transmisji część energii zostanie rozproszona, tj. zamieniona w tarcie lub ciepło. Aby ocenić, ile energii jest faktycznie wykorzystywane w porównaniu do włożonej mocy, stosuje się pojęcie sprawności (η):

$$\eta = \frac{P_u}{P_m} = \frac{M_r \cdot \omega_u}{M_m \cdot \omega_m} < 1$$

gdzie:

- Moc napędowa (P_m) = Moc użyteczna (P_u) + Moc rozproszona (P_d).
- M_m i M_r są odpowiednio momentem napędowym i momentem oporowym.
- ω_m i ω_u są odpowiednio prędkościami kątowymi wału napędowego i wału napędzanego.

Moc napędową wyraża się zazwyczaj jako:

$$P_m [W] = M_m [Nm] \cdot \omega_m \left[\frac{\text{rad}}{s} \right] = \frac{M_m [Nm] \cdot n_m [\text{rpm}]}{9,55} \quad \text{gdzie} \quad \omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

Gdzie n_m jest liczbą obrotów wału napędowego wyrażoną w [obr/min], a 9,55 jest wynikiem przekształcenia radianów na sekundę w obroty na minutę.

Parametrem charakterystycznym przekładni jest przełożenie kinematyczne (τ) wyrażane stosunkiem prędkości kątowej wału napędowego do prędkości wału napędzanego:

$$\tau = \frac{\omega_m}{\omega_u} = \frac{n_m}{n_u}$$

$\tau > 1$: redukcja prędkości
 $\tau = 1$: bez zmiany prędkości
 $\tau < 1$: multiplikacja prędkości

2. ELEMENTY PRZEKŁADNI

Aby umożliwić przeniesienie napędu (jak widać w poprzednim paragrafie) wymagane są specjalne elementy mechaniczne. Przekładnia to mechanizm używany do przeniesienia ruchu obrotowego i/lub momentu obrotowego z jednego obiektu na drugi. Składa się z dwóch lub więcej kół zębatach, które mogą być tej samej lub różnej wielkości. Jedno z dwóch kół przenosi ruch (koło napędzające), a drugie go otrzymuje (koło napędzane). Koło napędzane obraca się w kierunku przeciwnym do ruchu koła napędzającego. Mniejsze koło nazywane jest najczęściej zębnikiem, a większe po prostu kołem zębatym. Istnieją różne rodzaje kół zębatach, do najbardziej popularnych należą: walcowe, stożkowe, śrubowe, listwy i wałki zębate, czy koła zębate płaskie (koła koronowe). Każdy z wymienionych rodzajów kół pozwala na przeniesienie napędu pomiędzy odmiennie rozmieszczonymi osiami.

2.1 ZĄB

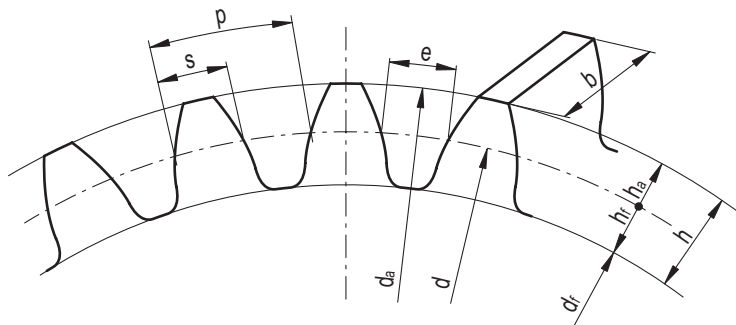
Przekładnie zębate przenoszą ruch obrotowy poprzez wzajemne ząbienie kół zębatach, których zęby pozostają ze sobą w ciągłym kontakcie. Obwód, wzdłuż którego dochodzi do styku dwóch kół zębatach określa się mianem **koła podziałowego**. Odległość między osiami kół podziałowych tworzących parę toczną określa się **odległością zerową osi**.

Zęby mogą mieć różne kształty zarysu. Najbardziej rozpowszechnionym jest kształt **ewolwentowy**, krzywej będącej trajektorią punktu należącego do linii, która toczy się bez poślizgu po obwodzie koła.

Zazwyczaj zęby rozszerzają się w kierunku promieniowym, przecinając powierzchnię podziałową. Część wystająca ponad powierzchnię podziałową i zawarta między średnicą podziałową, a średnicą wierzchołków określana jest głową zęba. Natomiast część między średnicą podziałową, a średnicą podstaw zębów określana jest stopą zęba. Każda z powierzchni czołowych zęba nosi nazwę zarysu. Jest on podzielony na dwie części przez średnicę podziałową: część zewnętrzną nazywana jest **wierzchołkiem zęba**, część wewnętrzną nazywana jest **podstawą zęba**.

Zarys zęba (Rys.1) można podzielić na dwie części: **wysokość głowy zęba (h_a)** definiowana jako odległość w kierunku promieniowym między średnicą podziałową i **średnicą wierzchołków (d_a)**; **wysokość stopy zęba (d_f)** definiowana jako odległość, również promieniowa, pomiędzy średnicą podziałową i średnicą podstaw zębów (**d_f**), którą wyznaczają dna zębów. Suma tych dwóch wymiarów stanowi **wysokość zęba (h)**.

Podziałka obwodowa (p) jest to odległość między dwoma jednoimiennymi punktami dwóch kolejnych zębów, mierzona po łuku średnicy podziałowej. **Szerokość wrębu (e)** jest długością łuku średnicy podziałowej pomiędzy dwoma kolejnymi zębami. **Grubość zęba** to długość łuku średnicy podziałowej ograniczona przez ząb. Wreszcie **szerokość zęba (b)** jest definiowana jako jego długość mierzona w kierunku osiowym.



Rys.1: profil zęba

Aby prawidłowo zazębnić, dwa koła zębate o promieniu równym r_1 i r_2 , muszą one mieć taką samą podziałkę obwodową (p). Podziałka jest zatem związana ze średnicą podziałową przez następującą zależność:

$$2\pi \cdot r_1 = p \cdot z_1 \quad \text{ i } \quad 2\pi \cdot r_2 = p \cdot z_2$$

gdzie z jest liczbą zębów koła zębatego. W ten sposób uzyskujemy podstawowy parametr służący do określania wymiarów zębów i kół zębatych, tj. **moduł (m)**:

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{d_1}{z_1} = \frac{d_2}{z_2}$$

Dwa prawidłowo zazębiające się koła, tj. mające taką samą podziałkę (p), muszą też mieć ten sam moduł (m).

Liczba zębów może być również przedstawiona w relacji z przełożeniem (τ) według następującego wzoru:

$$\tau = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{r_2}{r_1}$$

Innym niezbędnym warunkiem dla zazębienia dwóch kół zębatych jest posiadanie tego samego kąta przyporu. Zęby koła napędowego przenoszą na zęby koła napędzanego siłę (F), która ma kierunek taki, że tworzy kąt (α) ze styczną wspólną dla dwóch średnic podziałowych. Wartość kąta (α) wpływa na minimalną liczbę zębów jakie może posiadać przekładnia, aby profil zębów miał kształt ewolwenty. Elementy przekładni ELESA+GANTER mają kąty przyporu 20° .

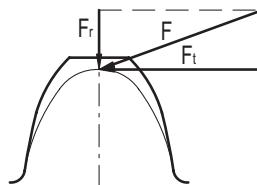
2.2 Koła zębate walcowe

Najczęściej stosowanymi przekładniami zębatymi są koła zębate walcowe, które mają zęby na zewnętrznej (lub wewnętrznej) powierzchni. Koła te są używane do przenoszenia ruchu obrotowego między dwiema równoległymi osiami (lub wałami).

Maksymalne momenty obrotowe podane w tabelach danych technicznych są wynikiem zestawienia obliczeń teoretycznych z wynikami testów laboratoryjnych.

Obliczenia teoretyczne oparte są na metodzie Lewis'a. Zgodnie z tą metodą ząb, uważany za element stały na kole zębatym, nie ustępuje pod działaniem siły (F) (uważanej za siłę statyczną) przenoszonej przez koła zębate. Teoria ta opiera się na następujących hipotezach:

- jako punkt przyłożenia siły (F) działającej na ząb przyjmuje się tu krawędź jego wierzchołka
- (F_r), tj. promieniowa składowa siły (F), która określa naprężenie ściskające ząb, uznawana jest za nieistotną. Powoduje to, że składowa (F_r) siły (F), która decyduje o zgięciu zęba, jest jedyną braną pod uwagę i dla uproszczenia będzie miała tę samą wartość, co siła F , a kierunek styczny do średnicy podziałowej
- do obliczeń brana jest pod uwagę najbardziej niekorzystna sytuacja, gdzie w trakcie zazębienia współpracuje ze sobą tylko jedna para zębów



Rys. 2 Rozkład sił działających na ząb wg metody Lewis'a

Siła (F_t) jest więc składową momentu siły (M) działającemu na średnicy podziałowej

$$M = F_t \cdot \frac{d}{2}$$

Dane wytrzymałościowe uzyskane w wyniku testów laboratoryjnych sprawdzono za pomocą odpowiedniego oprogramowania, biorąc pod uwagę wytyczne VDI 2736 dotyczące projektowania przekładni zębatych z technopolimeru. Testy przeprowadzono w trybie pracy ciągłej przy prędkości 100-150 obrotów na minutę, bez żadnego smarowania, w celu przetestowania w najtrudniejszych warunkach. Wartości momentów obrotowych podane w tabelach stanowią wskazówkę pomocną w doborze odpowiedniej wielkości. Nie mogą być więc traktowane, jako właściwe dla każdej możliwej aplikacji. Warunki pracy (obr/min, temperatura, sprzężenie z elementami przekładni wykonanymi z innych materiałów, warunki smarowania, serwisowanie itp.) silnie wpływają na trwałość. Konstruktor musi zawsze wziąć pod uwagę faktyczne warunki użytkowania, które odbiegają od laboratoryjnych.

2.3 Listwy zębate

Listwa zębata może być traktowana jako koło zębate o nieskończonym promieniu. Służy do przekształcania ruchu obrotowego w ruch postępowy i na odwrót. Koło zębate zazębiające się z listwą zębatą nazywa się zębnikiem.

W przeciwieństwie do kół zębatych walcowych, najważniejszą wartością mechaniczną dla listew zębatych jest maksymalna siła, jaką może przenieść pojedynczy ząb. Wynika to z faktu, że ten element przekładni nie przenosi żadnego momentu obrotowego.

Maksymalne wartości sił podane na kartach katalogowych są wynikami badań laboratoryjnych, w których siła przyłożona do zęba listwy zębatej zwiększa się aż do zerwania zęba. Maksymalne wartości sił określają maksymalne obciążenia, jakie może przenosić pojedynczy ząb w trakcie zazębienia.

Zwiększenie liczby zazębionych zębów nie zwiększy liniowo maksymalnej siły, ponieważ w danej chwili tylko jeden ząb będzie pracował w optymalnych warunkach.

3. DANE TECHNICZNE

3.1 Dobór kół

Elementy przekładni z technopolimeru można sparować zarówno z kołami technopolimerowymi jak i metalowymi. W przypadku sprzęgania z kołami metalowymi wyższe przewodnictwo cieplne metalu pozwala na szybsze odprowadzanie ciepła wytwarzanego podczas pracy. W przypadku sprzęgania metal-technopolimer najlepszym zestawieniem jest metalowy zębniak i koło zębate z technopolimeru, gdyż zużycie koła zębatego z technopolimeru będzie wtedy mniejsze.

3.2 Odległość zerowa osi

Odległość zerowa osi (l) to odległość między osiami wałów, na których zamontowane są koła zębate, wynika ona z następującego wzoru:

$$l = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

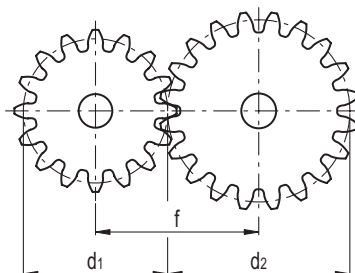
gdzie d_1 i d_2 są średnicami podziałowymi kół zębatych

W celu uzyskania optymalnego zazębienia pomiędzy dwoma kołami konieczne jest zastosowanie dodatniego luzu pomiędzy osiami wałów: efektywna odległość f między dwoma środkami wałów, na których są zamontowane koła zębate, jest nieco większa niż odległość zerowa l .

$$f = \frac{d_1 + d_2}{2} + t$$

Zazębienie bez luzu lub z ujemnym luzem, zwiększyłoby tarcie między zębami, podwyższając tym samym temperaturę pracy oraz zmniejszając trwałość koła. Aby uniknąć tych problemów dla elementów przekładni Elesa+Ganter zaleca się stosowanie następujących tolerancji:

- (+0.03 +0.1) dla modułów 0.5 – 1.0 – 1.5
- (+0.08 +0.3) dla większych modułów

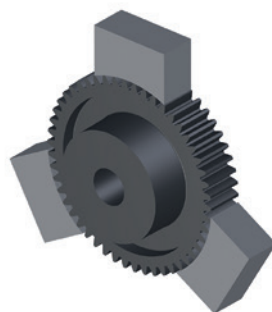


3.3 Smarowanie

Jedną z głównych zalet przekładni z technopolimeru jest możliwość zastosowania ich bez konieczności zanurzania w oleju, dzięki naturalnej właściwości polimerów. W miarę możliwości zaleca się jednak stosowanie smaru, aby zmniejszyć tarcie i zużycie, zwiększając żywotność produktu. W przypadku kół zębatach Elesa+Ganter zaleca się stosowanie smaru stałego na bazie mydła litowego i oleju syntetycznego.

3.4 Obróbka mechaniczna

Aby zapewnić prawidłową pracę przekładni z technopolimeru, obróbkę mechaniczną otworu należy wykonywać, umieszczając zaciski na zębach, jak pokazano na rysunku 3. Średnicę zacisków należy dopasować do średnicy wierzchołków koła zębatego.



Rys.3 Obróbka mechaniczna otworu koła zębatego

3.5 Materiały

Koła zębata i listwy zębata Elesa+Ganter są wykonane z technopolimeru na bazie poliamidu wzmocnionego włóknami szklanymi. Głównymi właściwościami mechanicznymi tego rodzaju materiału są:

- Wysoka odporność na skręcanie i wysoka wytrzymałość na rozciąganie (około trzy razy większa niż żywicy acetalowej);
- Dobra odporność na wysokie temperatury;
- Niski współczynnik tarcia, zwłaszcza w porównaniu ze stalą. W związku z tym przekładnie z technopolimeru mogą być stosowane w miejscach, gdzie smarowanie jest zabronione;
- Niższa masa przekładni względem wykonanej z metalowych kół zębatach;
- Długotrwała stabilność wymiarowa, wysoka odporność na zużycie, czynniki chemiczne i drgania.

4. ZASTOSOWANIE

Elementy przekładni wykonane ze wzmocnionego technopolimeru na bazie poliamidu są skuteczną alternatywą dla metalowych elementów transmisyjnych i mogą być stosowane we wszelkich aplikacjach wymagających redukcji hałasu lub dla potrzeb zmniejszenia smarowania. Lekkość elementów przekładni wykonanych z technopolimeru umożliwia ich stosowanie również w dziedzinach wymagających ogólnej redukcji masy. Ponadto, wysoka wytrzymałość technopolimeru na czynniki chemiczne ogranicza korozję w agresywnym środowisku.

Stalowe koła zębata są często przewymiarowane względem zastosowań w jakich zostały wykorzystane. W takich przypadkach przekładnie z technopolimeru są rozwiązaniem zapewniającym dobrą odporność mechaniczną przy jednoczesnej redukcji kosztów.

Przykładowe pola zastosowań dla przekładni z technopolimeru:

- Maszyny do pakowania i przenośniki
- Przemysłowe maszyny myjące
- Maszyny do obróbki szkła i ceramiki
- Sprzęt cateringowy
- Urządzenia do druku
- Maszyny rolnicze
- Przemysł chemiczny i farmaceutyczny
- Sprzęt AGD





Głowa zęba: część zęba między okręgiem podziałowym, a okręgiem wierzchołków.

Okrąg wierzchołków: okrąg, który ograniczają wierzchołki zębów.

Luz: może być rozumiany jako odległość między niepracującymi zębami dwóch kół zębatych współpracujących ze sobą (luz międzyzębny) lub jako różnica między rzeczywistą odległością osi wałów, na których są zamontowane koła zębate, a sumą promieni podziałowych tych kół (luz wierzchołkowy). Negatywny luz (z rzeczywistą odległością mniejszą niż zerowa odległość osi) powoduje, że zęby kół zębatych są bliżej siebie, wynika z tego większy kontakt między zębami, a tym samym większa trudność w zazębieniu, z ryzykiem zatarcia. Dodatni luz prowadzi do zmniejszenia ryzyka zatarcia, jednak nadmierne zmniejszenie kontaktu między zębami, ogranicza przekazywany moment obrotowy i obniża sprawność przekładni.

Dno wrębu: powierzchnia podstaw zęba, która znajduje się pomiędzy sąsiednimi zębami

Podziałka obwodowa: odległość między dwoma jednoimiennymi punktami dwóch kolejnych zębów, mierzona wzdłuż okręgu podziałowego. Podziałka obwodowa pozwala obliczyć moduł koła zębatego i jest podstawową miarą do oceny, czy dwa koła zębate mogą być sprzężone: koła zębate o różnych podziałkach nie będą się ze sobą prawidłowo zazębiać.

Stopa zęba: część, która znajduje się między średnicą okręgu podziałowego, a średnicą koła podstaw zębów.

Wał napędzany: cylindryczny element przekładni o zróżnicowanej długości i średnicy, który przez koła zębate odbiera ruch od wału napędowego.

Wał napędowy: cylindryczny element przekładni o zróżnicowanej długości i średnicy, który przez koła zębate przenosi na wał napędzany moc i ruch obrotowy generowane przez silnik.

Czoło uzębienia: powierzchnia boczna zęba leżąca powyżej średnicy okręgu podziałowego

Szerokość zęba: długość łuku średnicy podziałowej ograniczona przez krawędzie zęba

Powierzchnia boczna zęba: boczna powierzchnia zęba znajdująca się poniżej średnicy podziałowej.

Tarcie: siła tarcia, która występuje w kontakcie między dwoma ciałami przyciśniętymi do siebie, co utrudnia ich względny ruch. Obecność tarcia oznacza utratę energii mechanicznej, rozpraszanej w ciepło.

Przekładnia zębata: mechanizm używany do przenoszenia ruchu obrotowego z jednego wału do drugiego poprzez zazębienie kół zębatych. Zwykle składa się z dwóch lub więcej kół zębatych, które mogą mieć jednakowe lub różne średnice.

Smar: substancja, na ogół płynna, stosowana w celu zminimalizowania tarcia między dwiema powierzchniami, które przesuwają się jedna po drugiej. Używany również do ochrony części mechanicznych podlegających zużyciu. W przypadku kół zębatych Eles+Ganter zaleca się stosowanie smarów na bazie mydła litowego i oleju syntetycznego.

Moduł: stosunek średnicy podziałowej do liczby zębów koła zębatego. Jest to jeden z parametrów charakteryzujących zęby koła zębatego: aby dwa koła zębate mogły się zazębiać, muszą mieć ten sam moduł.

Odległość zerowa osi: teoretyczna odległość między osiami wałów, na których są zamontowane koła zębate. Jest ona sumą promieni podziałowych dwóch współpracujących kół zębatych.

Zębnik: w układzie z dwoma kołami zębatymi, zębnik reprezentuje koło o mniejszej średnicy. Jest to również koło zębate, które współpracuje z listwą zębatą (uważaną za koło zębate o nieskończonym promieniu), aby przekształcić ruch translacyjny w liniowy lub odwrotnie.

Okrąg podziałowy: okrąg, wzdłuż którego dochodzi do kontaktu pary kół zębatych.

Kąt przyporu: kąt pomiędzy prostą normalną w punkcie styku zębów (punkt przyporu), a styczną w punkcie styku kół tocznych. Jest to podstawowa cecha zazębienia: tylko koła zębate o tym samym kącie przyporu mogą ze sobą współpracować.

Listwa zębata: zębata o nieskończonym promieniu, która wraz z kołem zębatym, zwanym zębikiem, służy do przekształcenia ruchu obrotowego w ruch liniowy lub odwrotnie.

Okrąg podstaw: okrąg, styczny do podstaw zębów.

Szerokość wrębu: długość łuku średnicy podziałowej między dwoma kolejnymi zębami, reprezentuje pustą przestrzeń między dwoma zębami.

Koło zębate walcowe: koła zębate o zębach równoległych do osi obrotu koła, które umożliwiają przenoszenie ruchu między dwiema równoległymi osiami.

Ząb: odstający na zewnątrz lub do wewnątrz okręgu podstaw element koła umożliwiający, poprzez kontakt z zębem drugiego koła przekładni, przeniesienie momentu obrotowego lub siły pomiędzy dwoma różnymi urządzeniami.

Grubość zęba: wymiar osiowy zęba

Wierzchołek zęba: szczytowa powierzchnia zęba

Zużycie: zużycie materiału spowodowane tarciami z innym materiałem.