Część 2

PODZESPOŁY MECHANICZNE

PRZEANALIZUJ PONIŻEJ ZAMIESZCZONY MATERIAŁ (TEKST) I ODPOWIEDZ NA PYTANIA:

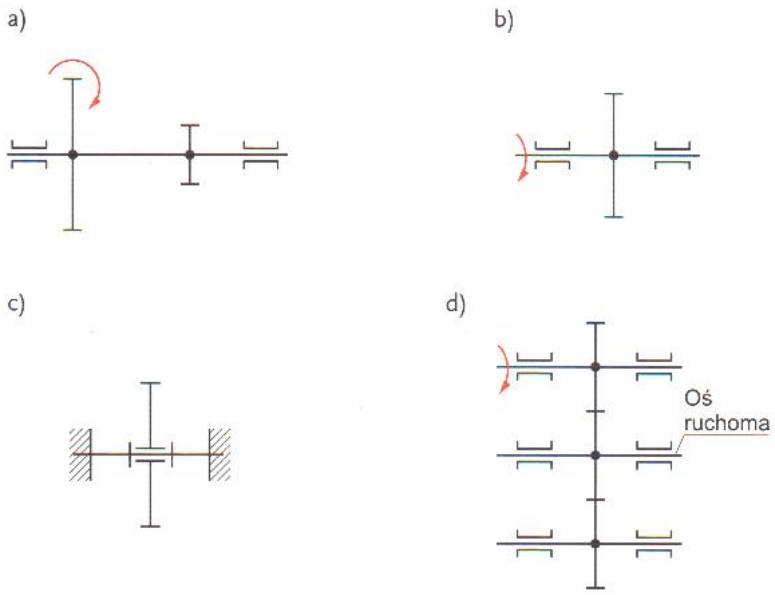
1. Co to jest hamulec?
2. Do czego służy mechanizm korbowy?

Odpowiedzi prześlij na adres: aglanc@ckz.swidnica.pl

TERMIN: 29 maj 2020

PRACĘ PROSZĘ PODPISAĆ IMIENIEM I NAZWISKIEM!

Wał jest to część maszyny posiadająca kształt cylindryczny (walcowy) wykonująca wraz z zamontowanymi na nim elementami roboczymi ruch obrotowy. Elementami roboczymi są koła zębate, koła pasowe, koła łańcuchowe lub sprzęgła. Wał przenosi obciążenia pochodzące od osadzonych elementów roboczych na podpory – obciążeniami tymi są: moment skręcający, moment gnący, siły poprzeczne oraz siły wzdłużne. W przypadku, gdy obciążenia skręcające nie występują, nie używa się określenia wał, lecz **oś**. Osie stosowane są tylko w celu utrzymywania w określonym położeniu zamontowanych elementów i nie przenoszą momentu skręcającego (momentu obrotowego). Podporami wałów są łożyska (lub łożyskowania). Osie mogą być stałe (utwierdzone w korpusie, natomiast element jest zamocowany ruchowo na osi) lub ruchome (zamocowane ruchowo w korpusie, natomiast element na osi jest zamocowany na stałe). Wały są zawsze ruchome. Schematy wałów i osi przedstawiono na rysunku 2.52.



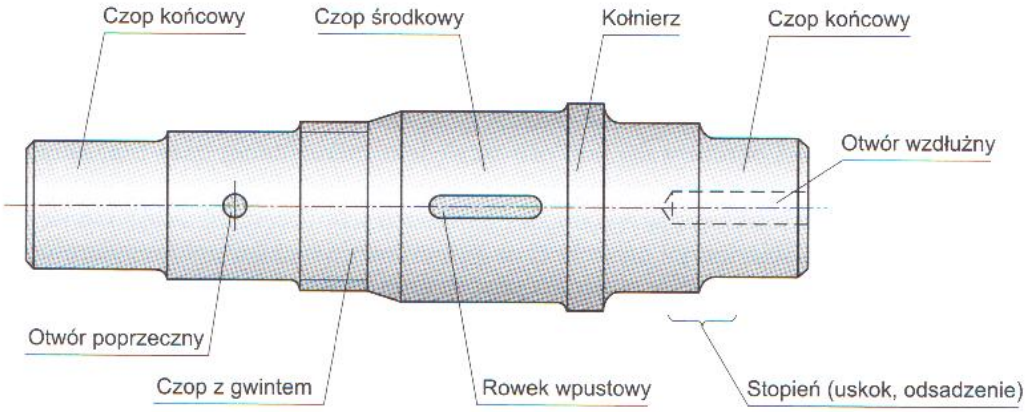
Rys. 2.52. Schematy wałów i osi: *a*), *b*) wałów ruchomych, *c*) osi nieruchomej, *d*) osi ruchomej

Charakterystycznymi częściami wału (oraz osi) są **czopy** – miejsca, na których osadza się inne elementy (np. łożyska, koła). Jeżeli na czopie jest osadzone koło lub elementy sprzęgła, to musi być zapewnione połączenie między wałem a elementem osadzonym. Stosuje się połączenia wpustowe, wielowypustowe, kształtowe lub wciskowe.

Na rysunku 2.53 przedstawiono budowę wału z zaznaczeniem podstawowych elementów konstrukcyjnych.

Czopy mogą być:

- ruchowe – gdy po powierzchni czopu wzdłuż osi wału może przemieszczać się element osadzony,
- spoczynkowe – gdy osadzony element nie ma możliwości wykonywania przemieszczenia wzdłuż osi wału,
- końcowe – usytuowane na końcach wału (osi),
- środkowe – nazywane również wewnętrznymi, usytuowane w części środkowej wałka (osi).



Rys. 2.53. Budowa wału

W zależności od wymagań dotyczących zamocowania na czopie elementu są stosowane czopy gładkie, gwintowe, kształtowe (np. wielowypustowe). W konstrukcji wałków (osi) wyróżnia się również:

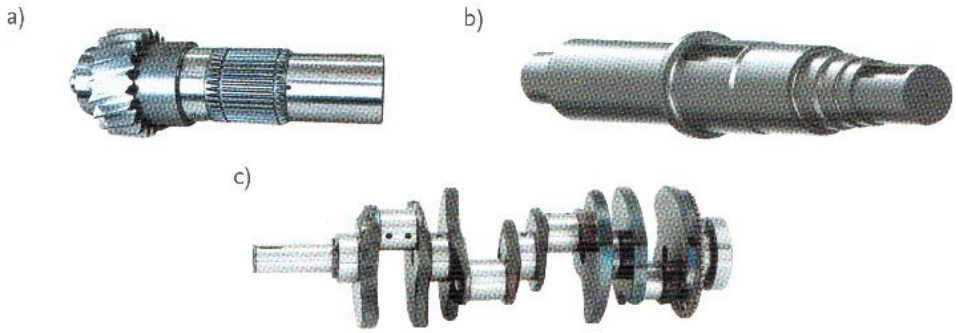
- powierzchnie oporowe – umożliwiające ograniczenie możliwości przemieszczania wzdłuż czopu elementów mocowanych,
- powierzchnie swobodne – powierzchnie nieposiadające kontaktu z elementami montowanymi na wałku,
- podcięcia – wyróżnia się dwa rodzaje podcięć:
  - podcięcia technologiczne – zmiana kształtu pomiędzy powierzchnią walcową czopu a powierzchnią oporową,
  - podcięcia konstrukcyjne – miejsca na umieszczenie elementów zabezpieczających przed przemieszczeniem elementu mocowane na czopach, np. pierścieni osadczych.

Średnice czopów wałów i osi są znormalizowane (PN-78/M-02041, PN-ISO 1829:1996, PN-EN 20286-2:1996).

Konstrukcja wałów i osi jest uzależniona od przeznaczenia i założonych funkcji, jakie muszą spełniać wały i osie. Rozróżnia się wały (osie):

- gładkie – wykonane w formie sztywnego pręta o stałej średnicy,
- kształtowe – przekrój wału (osi) jest zmienny w różnych miejscach, wały kształtowe mogą być stopniowe (gdy zmienia się tylko średnica przekroju poprzecznego) lub korbowe (gdy zmienia się kształt oraz średnica przekroju poprzecznego).

Przykłady konstrukcji wałów kształtowych przedstawiono na rysunku 2.54.



Rys. 2.54. Przykłady konstrukcji wałów kształtowych: *a*) zębaty, *b*) stopniowy, *c*) korbowy

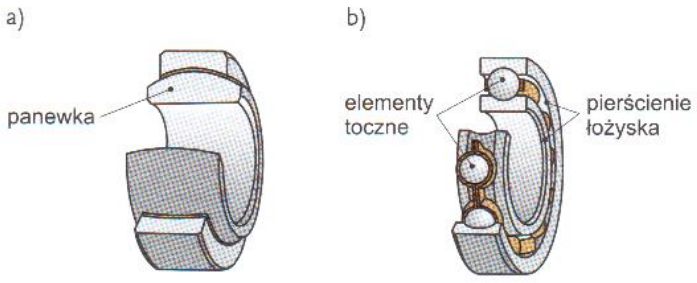
Łożyska są częściami umożliwiającymi przenoszenie obciążenia między elementami konstrukcyjnymi maszyn i urządzeń, poruszającymi się względem siebie z różnymi prędkościami obrotowymi.

Dzięki stosowaniu łożysk można uzyskać:
- stałe położenie osi obrotu wału (lub osi) względem nieruchomej bazy (np. korpusu urządzenia),
- zmniejszenie tarcia występującego między powierzchniami części obracających się,
- zmniejszenie zużycia energii potrzebnej na wykonywanie ruchu obrotowego części,
- zwiększenie trwałości współpracujących powierzchni części obracających się.

Stosowane są również łożyska umożliwiające pomiar parametrów związanych z wykonywaniem ruchu względnego części sprzężonych łożyskiem (np. prędkość obrotowa, przyśpieszenie, opóźnienie, kierunek obrotów, temperatura, wibracje). Łożyska te są wyposażone w czujniki umożliwiające wykonanie pomiarów. Przykładem takich łożysk są łożyska kół samochodów wyposażonych w system ABS.

W związku z koniecznością jednoczesnego przenoszenia ruchu obrotowego, utrzymania stałego położenia obracających się części oraz przeniesienia dużych obciążeń łożyska powinny charakteryzować się następującymi cechami:
- niskie opory ruchu,
- odporność na zużycie, wysoka trwałość,
- stabilna konstrukcja.

W przypadku wykonywania ruchu względnego przedmiotów zawsze występuje tarcie przeciwdziałające ruchowi. Wyróżnia się dwa rodzaje tarcia: ślizgowe oraz toczne. Najbardziej ogólny podział łożysk jest dokonany na podstawie kryterium rodzaju tarcia występującego w łożysku. W związku z tym rozróżnia się łożyska (rys. 2.55):
- ślizgowe – wykorzystujące tarcie ślizgowe występujące między czopem wału a panewką umieszczoną w korpusie maszyny (lub bezpośrednio po powierzchni otworu, w którym czop jest umieszczony); nie występują ruchome elementy pośredniczące,
- toczne – wykorzystujące tarcie toczne dodatkowych elementów toczących się po powierzchni czopu (lub pierścienia związanego z czopem) oraz powierzchni otworu w korpusie (lub pierścienia związanego z otworem w korpusie).

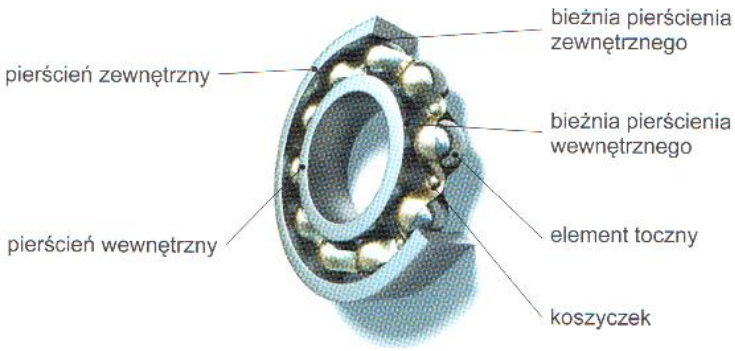


Rys. 2.55. Łożyska: *a*) ślizgowe, *b*) toczne

Łożyska ślizgowe odznaczają się następującymi właściwościami:
- mogą przenosić bardzo duże obciążenia (do kilku MN),
- mogą mieć duże rozmiary (nawet ponad 1 m),
- tłumią drgania wału,
- są cichobieżne.

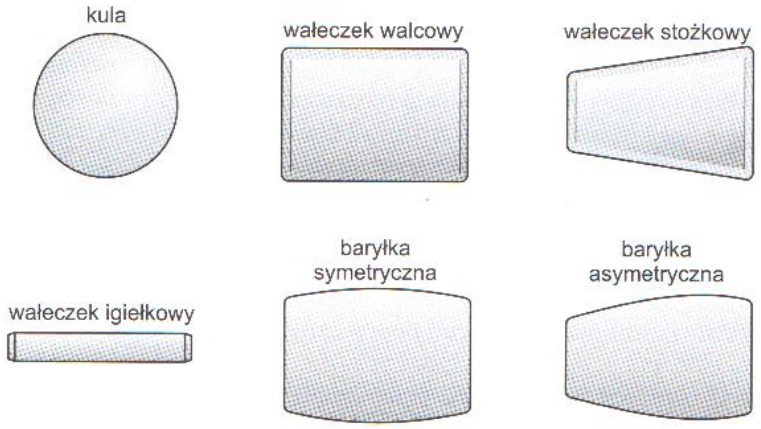
Cechami charakteryzującymi łożyska toczne są:
- bardzo małe opory ruchu,
- zdolność do przenoszenia ruchu obrotowego o dużych i zmiennych wartościach,
- odporność na częste zatrzymywanie i ponowne wprawianie w ruch,
- niewielkie wymiary.

Głównymi częściami łożysk tocznych są: pierścień zewnętrzny, pierścień wewnętrzny, elementy toczne, koszyczek. Na powierzchni wewnętrznej pierścienia zewnętrznego oraz na powierzchni zewnętrznej pierścienia wewnętrznego są wykonane rowki o kształcie odpowiadającym kształtowi elementów tocznych, rowki te nazywa się bieżniami. Pomiędzy pierścieniem zewnętrznym oraz wewnętrznym znajdują się elementy toczne, które mogą toczyć się po powierzchni bieżni. Koszyczek ma za zadanie utrzymywać stałe rozmieszczenie elementów tocznych na obwodzie bieżni. Między bieżniami a elementami tocznymi występuje tarcie toczne (rys. 2.56). Występują również łożyska nieposiadające koszyczka lub pierścieni. Pierścień wewnętrzny łożyska tocznego osadzany jest na czopie wału, natomiast pierścień zewnętrzny w gnieździe oprawy łożyska (lub w otworze korpusu maszyny).



Rys. 2.56. Budowa łożyska tocznego

Elementy toczne mogą mieć różne kształty: kulisty, walcowy, stożkowy, igiełkowy, baryłkowy (rys. 2.57). Elementy toczne przenoszą bardzo duże obciążenia, dlatego muszą posiadać twardość i odporność na ścieranie.

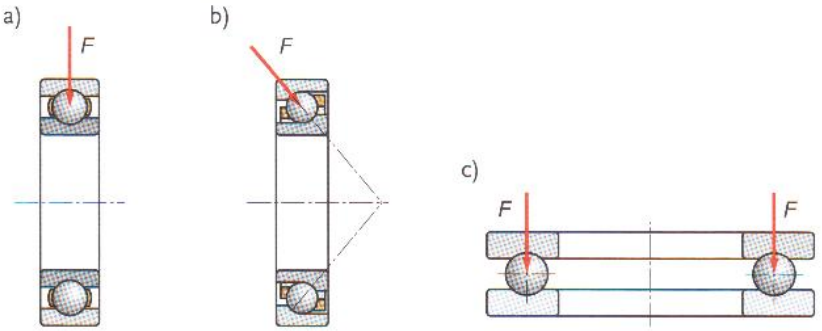


Rys. 2.57. Rodzaje elementów tocznych

Klasyfikację łożysk tocznych można przeprowadzać według różnych kryteriów, np.:

- kierunek działania obciążenia – rozróżnia się łożyska poprzeczne, wzdłużne, skośne (rys. 2.58),
- rodzaj elementów tocznych – rozróżnia się łożyska kulkowe, wałeczkowe, kombinowane,
- wzajemnego odchylania się pierścieni – łożyska wahliwe,
- liczby rzędów elementów tocznych – rozróżnia się łożyska jednorzędowe, dwurzędowe, wielorzędowe.

Występują również **łożyska kulkowe liniowe** umożliwiające przemieszczanie części wzdłuż osi – np. przemieszczanie suwaka po prowadnicy.



Rys. 2.58. Podział łożysk ze względu na kierunek obciążenia: *a*) poprzeczne, *b*) skośne, *c*) wzdłużne

Łożyska poprzeczne przenoszą obciążenie prostopadłe do osi symetrii łożyska, łożyska skośne przenoszą obciążenie działające pod określonym kątem w stosunku do osi, natomiast łożyska wzdłużne przenoszą obciążenie działające równolegle do osi łożyska.

Podstawowe rodzaje łożysk uwzględniające opisane wcześniej kryteria klasyfikacji przedstawiono na rysunku 2.59 (s. 103).

Łożyska kulkowe – charakteryzują się najprostszą konstrukcją i są najczęściej stosowane. Element toczny ma kształt kulki. Łożyska te najczęściej są łożyskami poprzecznymi, czyli przenoszącymi obciążenie promieniowe. Występują konstrukcje łożysk kulkowych przenoszące obciążenie wzdłużne oraz skośne. Łożyska kulkowe są przeznaczone do pracy w warunkach wysokich prędkości obrotowych. Istnieje wiele odmian konstrukcyjnych dostosowanych do zróżnicowanych warunków pracy.

Łożyska wałeczkowe – posiadają element toczny w kształcie walca. Dzięki liniowemu stykowi powierzchni wałeczka z powierzchnią bieżni łożyska te mogą przenosić duże obciążenia w porównaniu z innymi typami łożysk. Stosowane są do łożyskowania wałków bardzo obciążonych. Przy prawidłowej eksploatacji odznaczają się długotrwałością użytkowania.

Łożyska igiełkowe – elementami tocznymi są tzw. igiełki, czyli wałeczki od długości kilkakrotnie większej od średnicy. Łożyska te posiadają zwartą i sztywną konstrukcję, mogą przenosić znaczne obciążenia, są stosowane w miejscach, gdzie przestrzeń zabudowy jest ograniczona.

Łożyska stożkowe – elementy toczne mają kształt wałeczka stożkowego, zazwyczaj pierścień zewnętrzny posiada bieżnie o kształcie stożka. Łożysko szczególnie dobrze przenosi obciążenia skośne (kombinacje obciążeń poprzecznych i wzdłużnych), lecz tylko jednokierunkowych.

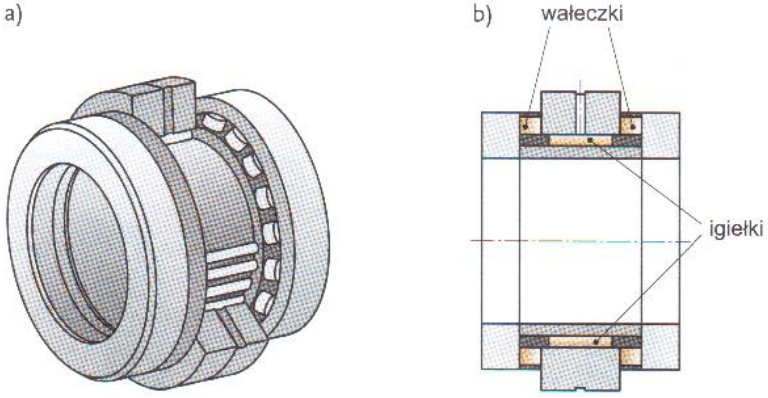
Łożyska baryłkowe – elementy toczne mają kształt baryłek, mogą przenosić bardzo duże obciążenia jednokierunkowe poprzeczne oraz wzdłużne. Posiadają dużą masę, mogą być stosowane w warunkach ekstremalnych, gdy inne rodzaje łożysk nie sprostają wymaganiom.

Rys. 2.59. Podstawowe rodzaje łożysk tocznych: *a*) kulkowe zwykłe, *b*) kulkowe wahliwe, *c*) kulkowe skośne jednorzędowe, *d*) kulkowe skośne dwurzędowe, *e*) walcowe, *f*) igiełkowe, *g*) stożkowe, *h*) baryłkowe wahliwe, *i*) baryłkowe wzdłużne, *j*) kulkowe wzdłużne jednokierunkowe, *k*) kulkowe wzdłużne dwukierunkowe, *l*) kulkowe samonastawne, *ł*) kulkowe samonastawne z oprawką

Łożyska wahliwe – bieżnia w pierścieniu zewnętrznym ma kształt sferyczny i dlatego występuje możliwość wychylenia kątowego. Powinny być stosowane w przypadkach przewidywanych odchyleń kątowych czopu, umożliwiają kompensację odchyłek współosiowości związanej z niedokładnym montażem, ugięciem wału podczas pracy, odkształceniem oprawy łożyska.

Łożyska samonastawne posiadają kulistą zewnętrzną powierzchnię pierścienia zewnętrznego i po zamontowaniu w oprawie łożyskowej mogą pracować w warunkach niewspółosiowości czopu i łożyska.

Łożyska kombinowane są zespołami konstrukcyjnymi łożysk składającymi się z poprzecznych łożysk igiełkowych oraz wzdłużnych łożysk tocznych (kulkowych lub wałeczkowych). Mogą dzięki temu przenosić obciążenia poprzeczne i wzdłużne jednokierunkowe lub dwukierunkowe (rys. 2.60).



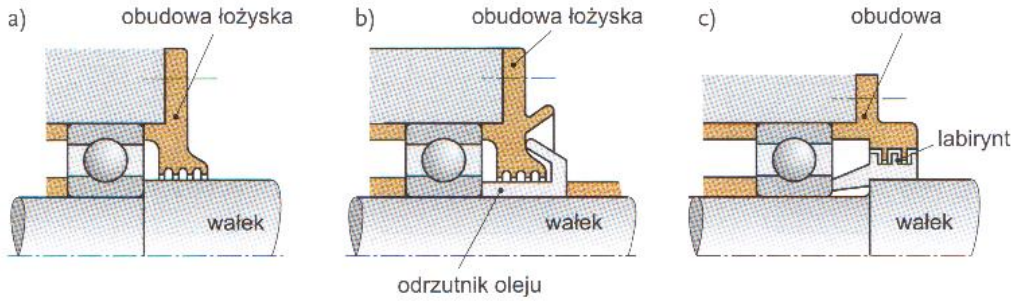
Rys. 2.60. Łożysko kombinowane: *a*) widok, *b*) przekrój

Łożyska liniowe

Toczne łożyska liniowe są przeznaczone do realizacji ruchu liniowego za pośrednictwem elementów tocznych między powierzchniami prowadnicy i łożyska. W korpusie łożyska wykonuje się kanały, w których obiegowo przemieszczają się elementy toczne (rys. 2.61).

Rys. 2.61. Przykłady łożysk liniowych

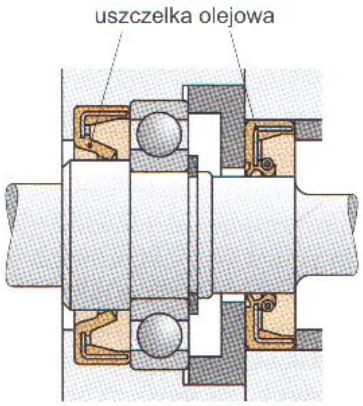
Łożyska liniowe współpracujące z prowadnicami są stosowane do precyzyjnego przemieszczania współpracujących ze sobą części maszyn i urządzeń (np. stołów i suportów w obrabiarkach, mechanizmów realizujących ruchy wzdłuż osi współrzędnych



Rys. 2.65. Przykłady uszczelnień bezkontaktowych: *a*) rowki olejowe, *b*) odrzutnik oleju, *c*) uszczelnienie labiryntowe

Uszczelnienia olejowe tworzą uszczelki, które sprężystymi krawędziami stykają się z powierzchnią wału. Uszczelki są najczęściej wykonane z gumy syntetycznej, do powierzchni wału mogą być dociskane siłą sprężystości materiału uszczelki lub za pomocą sprężyn (rys. 2.66).

Uszczelnienia filcowe – pierścienie wykonane z filcu nałożone na powierzchnię wałka. Zabezpieczają przede wszystkim przed dostawaniem się pyłu i opiłków do łożyska. Mogą być stosowane dla przypadków smarowania łożyska smarem stałym.

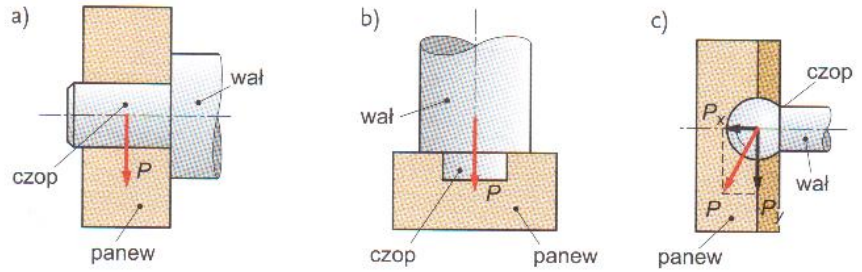


Rys. 2.66. Uszczelnienie olejowe

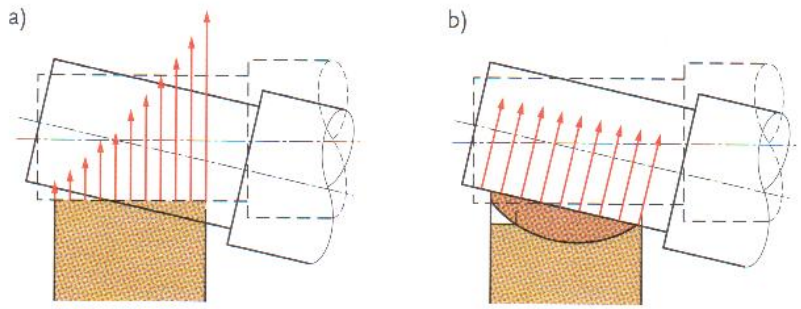
Łożyska ślizgowe

W łożyskach ślizgowych czop wału jest osadzony w panewce. Panewka to powierzchnia otworu w korpusie lub oddzielna część. Panewki zazwyczaj mają kształt tulei, na powierzchni wewnętrznej mogą być wykonane rowki służące rozprowadzeniu smaru na powierzchni czopa wału. Istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych łożysk ślizgowych dostosowanych do warunków, w jakich mają być eksploatowane. Klasyfikację łożysk ślizgowych przeprowadza się na podstawie następujących kryteriów:

- kierunek obciążeń działających na łożysko – wyróżnia się łożyska: poprzeczne, wzdłużne, poprzeczno-wzdłużne (rys. 2. 67),
- możliwość wychylenia panwi względem korpusu: łożyska stałe oraz łożyska wahliwe (rys. 2.68),
- sposób podawania smaru do łożyska: łożyska hydrostatyczne oraz łożyska hydrodynamiczne,



Rys. 2.67. Schematy obciążenia łożysk ślizgowych: *a*) poprzeczne, *b*) wzdłużne, *c*) poprzeczno-wzdłużne. *P* – siła obciążająca łożysko



Rys. 2.68. Sposób pracy łożysk ślizgowych: *a*) stałego, *b*) wahliwego

Łożyska ślizgowe poprzeczne przenoszą obciążenia działające w kierunku prostopadłym do osi czopu. Łożyska wzdłużne przenoszą obciążenie działające w kierunku zgodnym z kierunkiem osi czopu, natomiast łożyska poprzeczno-wzdłużne mogą przenosić obciążenia działające zarówno prostopadle, jak i równolegle do osi czopu.

W łożysku ślizgowym stałym panew jest zamocowana w korpusie w sposób sztywny. W związku z możliwymi błędami podczas montażu łożyska, drgań oraz wyginania się wału, zmian temperatury łożyska czop wału i otwór łożyska mogą nie być współosiowe. Jest to przyczyną nierównomiernego nacisku czopu na powierzchnie panewki, co w efekcie doprowadza do nierównomiernego zużywania się powierzchni czopu oraz powierzchni panewki. Częściowym rozwiązaniem tego problemu jest wykonywanie panewek z materiałów miękkich podatnych na naciski. Jednak zdecydowanie korzystniejszym rozwiązaniem jest stosowanie panewek wahliwych przemieszczających się razem ze zmianami położenia czopu.

Dzięki zastosowaniu panewek wahliwych zwiększa się równomierność nacisku czopu na panewkę i poprawiają warunki pracy łożyska.

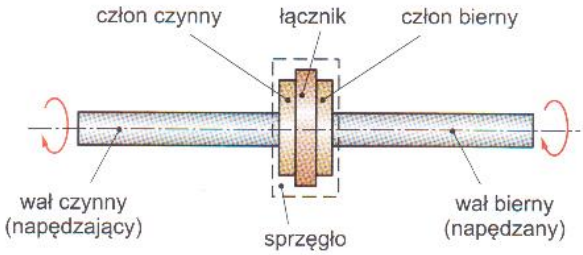
Powierzchnia czopu wału oraz powierzchnia panewki powinny być smarowane, dzięki czemu zmniejsza się tarcie i opory ruchu czopu względem panewki. Pomiędzy tymi powierzchniami powinna być utworzona warstwa nośna smaru lub gazu. Doprowadzenie środka smarującego może odbywać się metodami:

- hydrostatyczną (aerostatyczną) – środek smarujący jest podawany pod ciśnieniem,
- hydrodynamiczną (aerodynamiczną) – warstwa środka smarnego powstaje dzięki ruchowi obrotowemu czopu względem panewki i ich wzajemnego poślizgu.

Do smarowania łożysk ślizgowych najczęściej stosowany jest smar (lub olej) natomiast gaz stosuje się w przypadkach szczególnych w łożyskach przenoszących niewielkie obciążenia, lecz o bardzo dużych prędkościach obrotowych (od 40 000 do 360 000 obr./min). Między powierzchniami trącymi mogą występować trzy rodzaje tarcia:

podtrzymywania wałów usytuowanych pionowo. Możliwe jest inne wykorzystanie łożysk ślizgowych wzdłużnych – do zabezpieczenia przed przesunięciem osiowym wałów ułożyskowanych w łożyskach poprzecznych.

Sprzęgłem nazywa się urządzenie przeznaczone do połączenia wałka czynnego i wałka biernego w celu przeniesienia napędu (momentu obrotowego), bez zmiany kierunku i wartości. Sprzęgło składa się z członu czynnego osadzonego na wale czynnym, członu biernego osadzonego na wale biernym oraz łącznika łączącego człon czynny z członem biernym. Łącznik określa sposób przekazywania momentu obrotowego oraz rodzaj sprzęgła. Łącznikiem może być element mechaniczny (np. śruby, kołki, wypusty), element elektryczny (elektromagnes) lub ciecz (rys. 2.74).



Rys. 2.74. Ogólny schemat sprzęgła

Sprzęgła są wykorzystywane do :

- łączenia wałów – usytuowanych współosiowo oraz niewspółosiowo (w wyniku błędnego montażu wałów lub specyfiki konstrukcji połączenia wałów),
- kompensowanie przemieszczenia osiowego wałków względem siebie lub wydłużenia termicznego,
- zmniejszenia amplitudy zmian wartości przenoszonego momentu obrotowego,
- rozłączania (lub łączenia) wałków będących w ruchu lub w spoczynku,
- ograniczenia wartości przenoszonego momentu obrotowego,
- przenoszenia momentu obrotowego tylko w jednym kierunku.

Wyróżnia się trzy klasy sprzęgieł:

- nierozłączne – człon czynny i bierny są połączone trwale, ich rozłączenie jest możliwe tylko w przypadku demontażu sprzęgła,
- sterowane – możliwe jest załączanie i rozłączanie sprzęgła podczas wykonywania ruchu,
- samoczynne – załączanie i rozłączanie sprzęgła odbywa się w wyniku zmiany wartości momentu obrotowego lub kierunku obrotów.

Sprzęgła nierozłączne sztywne

W sprzęgłach sztywnych człon czynny i człon bierny są na stałe połączone ze sobą, wymagają współosiowości łączonych wałów. Sprzęgła sztywne mogą być niedzielone, dzielone w płaszczyźnie równoległej do osi wału oraz dzielone w płaszczyźnie prostopadłej do osi wału. W budowie obrabiarek skrawających wykorzystuje się sprzęgła tulejowe oraz kołnierzowe.

Do kategorii sprzęgieł sztywnych należą sprzęgła: tulejowe, łubkowe oraz kołnierzowe.

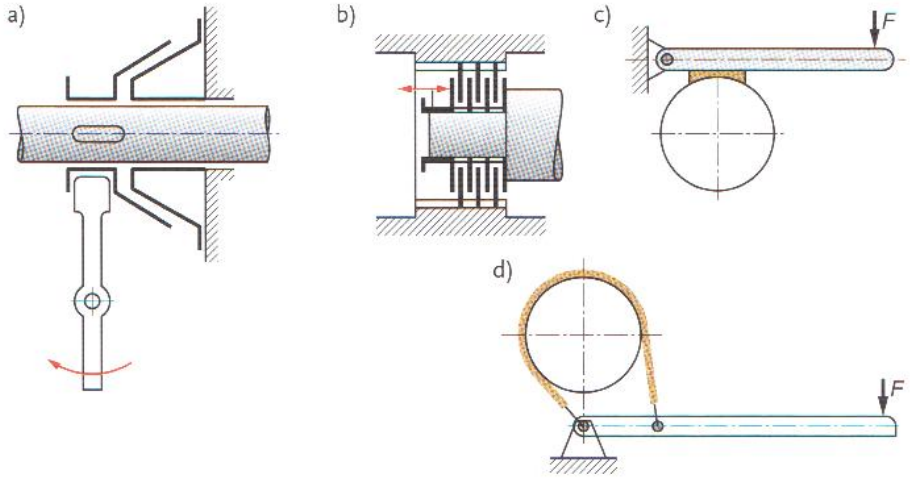
Sprzęgło tulejowe jest to sprzęgło o najprostszej konstrukcji. Członem czynnym i jednocześnie członem biernym jest tulejka, natomiast łącznikiem może być wpust, kołek lub klin. Stosowane są również konstrukcje sprzęgieł tulejowych, w których do połączenia wałków z tuleją wykorzystuje się połączenia skurczowe (rys. 2.75).

Hamulce

Hamulce – podzespoły służące do wytracania energii mechanicznej maszyny w celu zatrzymania ruchu, zmniejszenia prędkości ruchu lub regulacji prędkości ruchu elementów urządzeń. Wytracenie energii mechanicznej następuje w wyniku dociśnięcia do siebie elementów ciernych w postaci powierzchni stożkowych, płytek, klocków, taśm (cięgien). W hamulcach występuje jeden element nieruchomy połączony na stałe z korpusem obrabiarki oraz element ruchomy połączony z częścią wykonującą obrót, której energia kinetyczna ma być wytracana. Elementy cierne zamontowane na części ruchomej oraz części nieruchomej hamulca muszą posiadać taki sam kształt, który umożliwia dokładne przyleganie do siebie podczas hamowania. W obrabiarkach skrawających hamulce spełniają następujące zadania:

- szybkie zatrzymanie wrzeciona obrabiarki w celu wykonania czynności pomocniczych (np. wymiany przedmiotu lub narzędzia, wykonania pomiaru, przełączenia prędkości wrzeciona),
- zmniejszenie prędkości obrotowej wałków skrzynek przekładniowych lub sprzęgieł,
- szybkie zatrzymanie obrabiarki w przypadku sytuacji awaryjnej.

W budowie obrabiarek skrawających najczęściej stosuje się hamulce mechaniczne cierne, które zamieniają energię ruchu części ruchomych w energie cieplną. W zależności od rodzaju urządzeń załączających i rozłączających mogą być stosowane hamulce mechaniczne, pneumatyczne, hydrauliczne, elektromagnetyczne. Podstawowe rodzaje hamulców ciernych przedstawiono na rysunku 2.97.



Rys. 2.97. Podstawowe odmiany hamulców mechanicznych ciernych: *a*) stożkowy, *b*) wielopłytkowy, *c*) klockowy, *d*) cięgnowy

Hamulce stożkowe charakteryzują się prostą konstrukcją, są stosowane w przypadkach hamowania elementów ruchomych nieprzenoszących bardzo dużych momentów obrotowych – stosowane są w obrabiarkach małych i średnich. Hamulce wielopłytkowe odznaczają się krótkim okresem hamowania i zwartą konstrukcją. Hamulce klockowe mają prostą budowę i mogą przenosić duże momenty obrotowe. Stosowane są w obrabiarkach dużych. Niedogodnością hamulców klockowych z jednym klockiem jest powstawanie obciążenia wału ruchomego momentem gnącym związanym z wytworzeniem siły dociskającej klocek. Hamulce jednoklockowe stosuje się w przypadkach

nieznacznych wartości momentu obrotowego. Dlatego stosowane są również hamulce dwuklockowe z klockami rozmieszczonymi tak, aby siły docisku klocków równoważyły się. Hamulce cięgnowe (taśmowe) charakteryzują się większą skutecznością hamowania w porównaniu z hamulcami klockowymi. Siła włączająca hamulec ma stosunkowo niewielką wartość. Stosowanie pneumatycznych, hydraulicznych lub elektromagnetycznych urządzeń przełączających hamulce ułatwia budowę automatycznych układów sterowania napędu obrabiarek.

Ze względu na charakter pracy rozróżnia się hamulce:
- luzowe – stale przełączone w stan hamowania, natomiast luzowane w przypadku potrzeby wykonywania ruchu,
- zaciskowe – normalnie w stanie rozłączenia, natomiast załączane w przypadkach realizacji procesu hamowania.

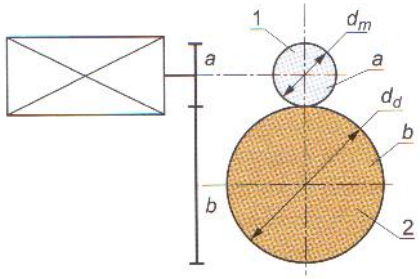
Przekładnie i mechanizmy

Przekładnie są częściami układów napędowych przekazujących ruch od źródeł napędów do podzespołów i zespołów roboczych obrabiarki. Aby podzespoły i zespoły robocze mogły realizować założone funkcje, muszą wykonywać określone rodzaje ruchów. Źródła napędu w obrabiarkach skrawających wytwarzają najczęściej ruch obrotowy (silniki elektryczne, silniki hydrauliczne) lub ruch liniowy (siłowniki hydrauliczne oraz siłowniki pneumatyczne). W napędach obrabiarek najczęściej są stosowane silniki elektryczne, które mają następujące cechy:
- wytwarzają ruch o wysokiej prędkości obrotowej,
- wysoka wartość momentu obrotowego silnika jest związana z wytworzeniem ruchu o wysokiej prędkości obrotowej,
- małą prędkość obrotową i odpowiednio wysoką wartość momentu obrotowego (pożądaną z punktu widzenia pracy podzespołów i zespołów roboczych obrabiarki) można uzyskać tylko dzięki zastosowaniu silników o dużych gabarytach, dużym ciężarze,
- trudna jest regulacja prędkości obrotowej silników elektrycznych w zakresie wartości właściwych dla wypełniania funkcji przez podzespoły i zespoły robocze obrabiarek,
- w procesie przenoszenia ruchu dzięki zastosowaniu przekładni możliwa jest zmiana parametrów ruchu: wartości prędkości ruchu, wartości momentu obrotowego, kierunku ruchu.

Istnieją napędy elektryczne pozbawione wad przedstawionych powyżej, lecz ze względu na koszty nie są stosowane w konwencjonalnych obrabiarkach skrawających, stosuje się je w obrabiarkach sterowanych numerycznie (CNC).

Stosowanie przekładni wynika z konieczności dostosowania ruchu wytwarzanego przez silnik do ruchu umożliwiającego wypełnianie założonych funkcji przez podzespoły i zespoły robocze obrabiarek. W obrabiarkach skrawających są stosowane przede wszystkim **przekładnie mechaniczne** składające się z dwóch (lub większej liczby) kół stykających się ze sobą lub rozsuniętych i sprzęgniętych cięgnem. Powiązanie kół wchodzących w skład przekładni mechanicznej może być kształtowe (np. za pomocą zębów) lub cierne (dzięki wytworzeniu siły tarcia między powierzchniami kół). Najprostsza przekładnia mechaniczna składa się z dwóch kół: koła małego 1 o średnicy d_m oraz koła dużego 2 o średnicy d_d. W zależności od przyłożenia napędu wyróżnia się koła napędzające (czynne) *a* oraz koło napędzane *b* (rys. 2.98, s. 127).

Głównymi cechami charakteryzującymi przekładnie mechaniczne są: przełożenie, wartość momentu obrotowego przenoszonego przez przekładnię oraz sprawność przekładni.



Rys. 2.98. Budowa prostej przekładni mechanicznej

Rozróżnia się następujące przełożenia:

- **kinematyczne** – iloraz prędkości kątowej koła czynnego ω_1 i prędkości kątowej koła biernego ω_2, przełożenie kinematyczne jest wyrażane wzorem:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

gdzie n_1 – prędkość obrotowa koła czynnego, n_2 – prędkość obrotowa koła biernego; w zależności od wartości przełożenia kinematycznego rozróżnia się: reduktory (przekładnie zwalniające, i > 1, prędkość kątowa koła biernego jest mniejsza od prędkości kątowej koła czynnego) oraz multiplikatory (przekładnie przyspieszające, i < 1, prędkość kątowa koła biernego jest większa od prędkości kątowej koła czynnego);

- **geometryczne** – iloraz średnic podziałowych koła napędzanego d_2 i koła napędzającego d_1 (odpowiadających średnicom kół ciernych napędzanego D_2 i napędzającego D_1) lub stosunek liczby zębów koła napędzanego z_2 i koła napędzającego z_1, przełożenie geometryczne jest wyrażone wzorem:

$$i = \frac{D_2}{D_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}.$$

W praktyce do charakteryzowania przekładni stosuje się najczęściej przełożenie geometryczne. W przypadku przekładni wielostopniowych (składających się z kilku sprzęgniętych kół) przełożenie całkowite przekładni jest iloczynem przełożeń przekładni składowych.

$$i_c = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \ldots \cdot i_n$$

Sprawnością przekładni jest iloraz mocy na kole napędzanym (biernym) P_2 i mocy na kole napędzającym (czynnym) P_1.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

Sprawnością przekładni wielostopniowych jest iloczyn sprawności przekładni składowych.

$$\eta_c = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \ldots \eta_n$$

W budowie obrabiarek skrawających są najczęściej stosowane następujące rodzaje przekładni mechanicznych:

- przekładnie zębate,
- przekładnie cięgnowe: pasowe oraz łańcuchowe.

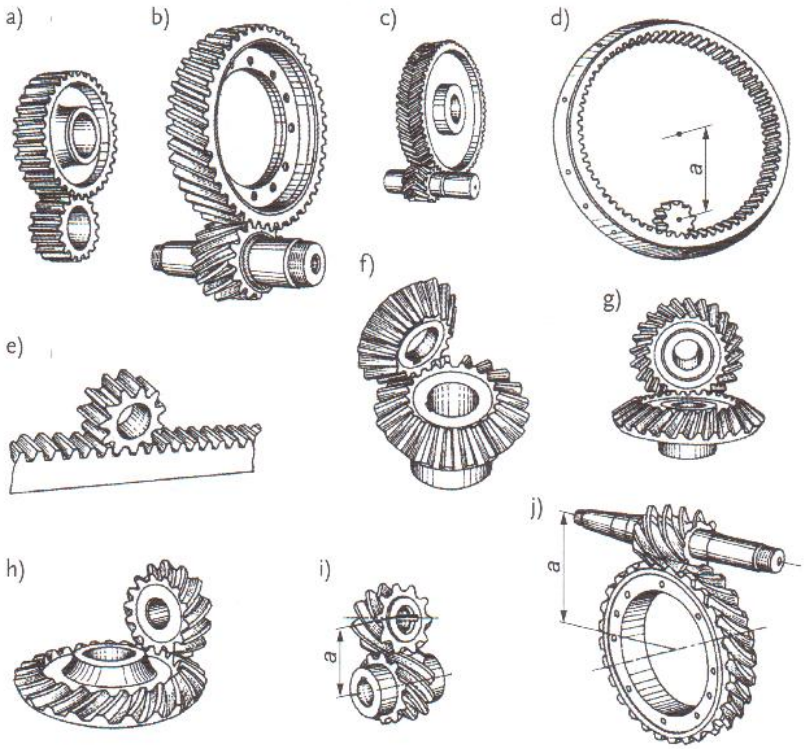
Przekładnie zębate

Przekładnię zębatą tworzy jedna para (lub kilka par) współpracujących ze sobą kół zębatych. Jeżeli w przekładni występuje tylko jedna para kół zębatych, to przekładnia nazywa się przekładnią pojedynczą (jednostopniową). Natomiast w przypadku występowania większej liczby par kół przekładnia nazywa się przekładnią złożoną.

Klasyfikacji przekładni zębatych dokonuje się na podstawie następujących kryteriów:

- kształt kół zębatych tworzących przekładnię – walcowe, stożkowe, ślimakowe, liniowe;
- kształt zębów kół zębatych – o zębach prostych, skośnych, śrubowych, daszkowych, łukowych;
- wzajemne położenie osi kół:
  - równoległe – osie wszystkich kół tworzących przekładnię są do siebie równoległe,
  - kątowe – osie kół przecinają się,
  - wichrowate – osie kół nie są równoległe i nie przecinają się.

Zasady budowy poszczególnych rodzajów przekładni zębatych przedstawiono na rysunku 2.99.



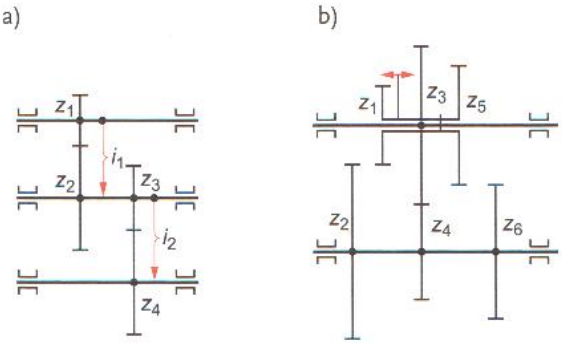
Rys. 2.99. Przekładnie zębate pojedyncze: *a*–*d*) walcowe, *e*) zębatkowe, *f*–*h*) stożkowe, *i*) śrubowe, *j*) ślimakowa; *a* – odległość osi kół

W skład przekładni złożonych wchodzą przekładnie pojedyncze. W zależności od sposobu usytuowania przekładni pojedynczych i związanego z tym przekazywania ruchu wyróżnia się przekładnie złożone:

- wielostopniowe – przekładnie pojedyncze są ustawione szeregowo, ruch przekazywany jest z jednej przekładni pojedynczej na drugą, uzyskuje się tylko jedną wartość prędkości obrotowej wałka napędzanego,

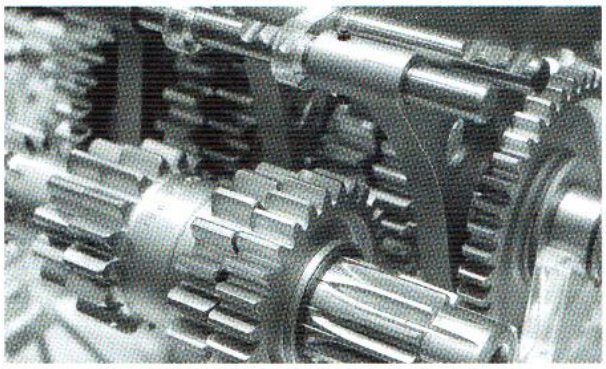
- wielorzędowe – przekładnie pojedyncze są ustawione równolegle, można uzyskać kilka wartości prędkości obrotowej wałka napędzanego dzięki kolejnemu sprzęganiu przekładni pojedynczych.

Schematy przekładni zębatych złożonych przedstawiono na rysunku 2.100, natomiast widok przekładni zębatej złożonej – na rysunku 2.101.



Rys. 2.100. Schematy przekładni złożonych: *a*) wielostopniowa, *b*) wielorzędowa

Podstawowymi zaletami przekładni zębatych są: stała wartość przełożenia, wysoka sprawność (do 99%), zwarta budowa, niezawodne działanie. Do wad przekładni zębatych można zaliczyć: głośną pracę, wysoki koszt wykonania, mała odporność na przeciążenia.



Rys. 2.101. Widok przekładni zębatej złożonej

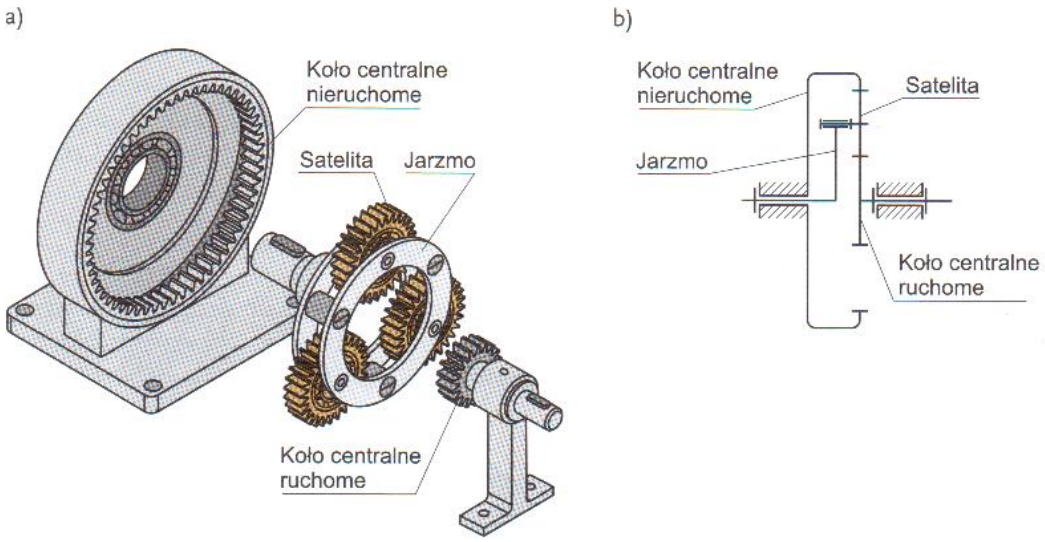
Przekładnia obiegowa (przekładnia planetarna) jest zbudowana z dwóch kół centralnych, kół nazywanych satelitami oraz jarzma, na którym są osadzone satelity. Środki kół-satelitów poruszają się po torach w kształcie koła wokół osi geometrycznej przekładni, a środki tych torów leżą w geometrycznej osi przekładni (osie satelitów wirują wokół osi geometrycznej przekładni). Koła przekładni, których środki wyznaczają oś przekładni, są nazywane kołami centralnymi. W przekładni obiegowej (planetarnej) występują co najmniej dwa satelity (może być kilka). Satelity zazębiają się z oboma kołami centralnymi. Głównymi zaletami przekładni obiegowej są: duże przełożenie, duża trwałość przekładni wynikająca z faktu, że przenoszony moment rozkłada się na kilka równolegle pracujących par kół zębatych oraz zwarta budowa. Jednak sprawność przekładni obiegowych nie jest wysoka.

Wartość przełożenia przekładni obiegowej jest obliczana według zależności:

$$i = 1 + \frac{z_1}{z_2}$$

gdzie:
z_1 – liczba zębów koła centralnego nieruchomego,
z_2 – liczba zębów koła centralnego ruchomego.

Na rysunku 2.102 przedstawiono przykład konstrukcji przekładni obiegowej.



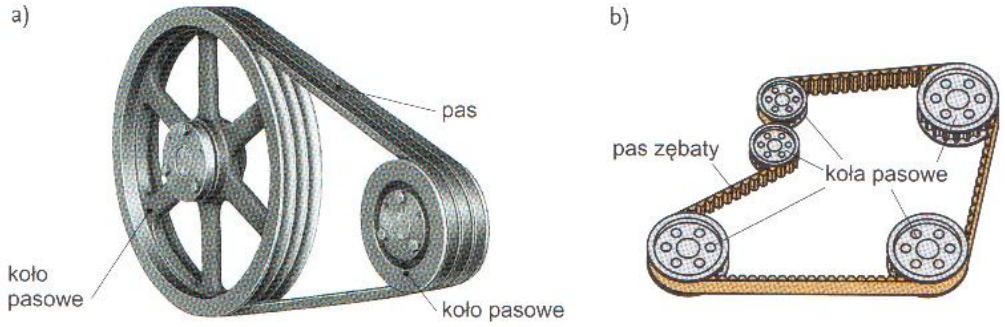
Rys. 2.102. Przekładnia planetarna: *a*) budowa, *b*) schemat

Przekładnie pasowe

Przekładnie pasowe umożliwiają przenoszenie ruchu obrotowego (momentu obrotowego) z koła czynnego na koło bierne za pośrednictwem elastycznego cięgna (nazywanego pasem). W skład przekładni pasowej wchodzą dwa (lub więcej) koła stanowiące elementy czynny i bierne oraz pas. Często są stosowane przekładnie pasowe, w których jako cięgno stosuje się kilka równoległych pasów. Pomiędzy kołami czynnym a biernym moment obrotowy jest przenoszony dzięki (rys. 2.103):

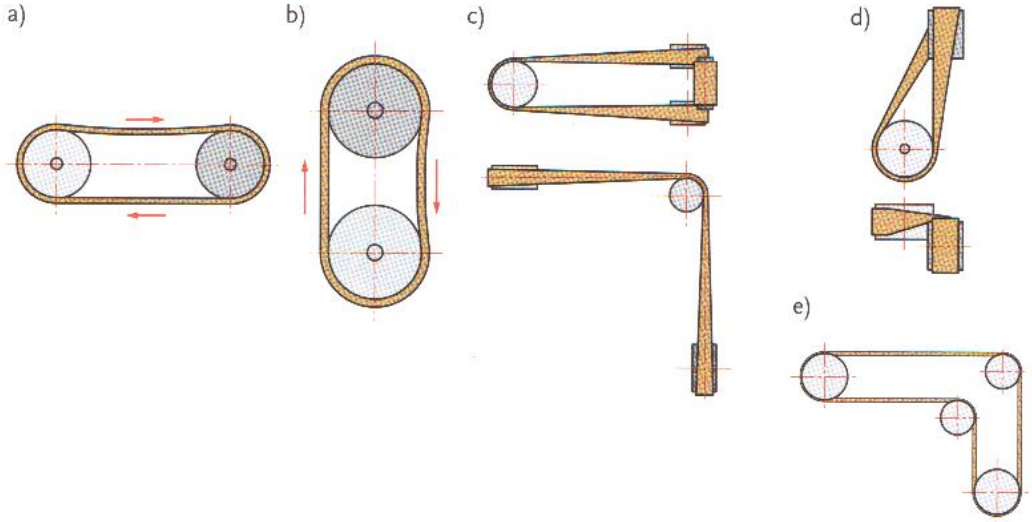
- tarciu występującemu między powierzchnią pasa a powierzchnią koła pasowego, siła tarcia powstaje dzięki napięciu pasa na kołach – w tego rodzaju przekładniach stosuje się pasy płaskie, okrągłe, trapezowe,
- ukształtowaniu powierzchni pasa i powierzchni koła pasowego umożliwiającego zazębienie pasa o powierzchnię koła pasowego – w tego typu przekładniach stosowane są pasy zębate oraz koła z naciętymi zębami; moment obrotowy jest przenoszony dzięki siłom docisku występującym między zębami pasa i koła.

Pasy płaskie umożliwiają przenoszenie ruchu o wysokich wartościach prędkości obwodowej w sposób łagodny, bez drgań. Pasy klinowe są stosowane w przekładniach pasowych przenoszących duże momenty obrotowe, najczęściej pracują w zespołach składających się z kilku sztuk. Pasy zębate stosowane są, gdy jest konieczne wyeliminowanie poślizgu.



Rys. 2.103. Przekładnie pasowe: *a*) z pasami trapezowymi, *b*) z pasem zębatym

Przekładnie pasowe umożliwiają przenoszenie momentu obrotowego między kołami, których osie mogą być względem siebie równoległe, prostopadłe lub zwichrowane. Powszechnie stosowane konstrukcje zostały przedstawione na rysunku 2.104.



Rys. 2.104. Przykłady schematów konstrukcji przekładni pasowych: *a*) o osiach równoległych poziomo, *b*) o osiach równoległych pionowo, *c*) półskrzyżowana pod kątem prostym, *d*) o osiach wichrowatych, *e*) z rolkami kierującymi

Przekładnie pasowe mają z reguły jedną wartość przełożenia. Budowane są przekładnie pasowe o zmiennym stopniowo przełożeniu, ale zmiana przełożenia wiąże się z koniecznością przekładania pasa na inne koła zamontowane w kolejności rosnących (malejących) średnic na dwóch równoległych wałkach. Istnieją konstrukcje przekładni pasowych umożliwiające bezstopniową zmianę przełożenia.

Do najważniejszych zalet przekładni pasowych zalicza się:

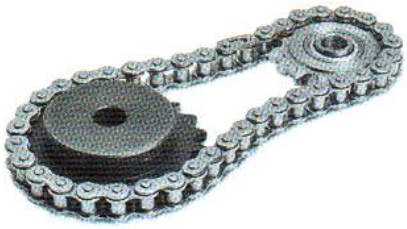
- cichobieżność i płynność ruchu,
- odporność na chwilowe przeciążenia,
- zdolność tłumienia drgań,
- prostą i tanią konstrukcję,
- brak konieczności smarowania,
- zdolność do przenoszenia ruchu, gdy wały kół nie są wzajemnie równoległe.

Najważniejszymi wadami przekładni pasowych są:
- stosunkowo duże rozmiary,
- duże obciążenie łożysk wałów,
- występowanie poślizgów i wynikająca stąd niestałość przełożenia,
- mała odporność na podwyższoną temperaturę, chemiczne oddziaływanie środowiska pracy, wrażliwość na działanie smarów, olejów i zanieczyszczeń.

W napędach obrabiarek skrawających przekładnie pasowe są stosowane w celu doprowadzenia napędu od silnika do skrzynki prędkości lub od skrzynki prędkości do wrzeciona. Stosuje się zwłaszcza w obrabiarkach szybkobieżnych oraz obrabiarkach precyzyjnych. Ze względu na występowanie poślizgu nie są stosowane w układach, w których wymagane jest ścisłe powiązanie ruchów (czyli w łańcuchach kinematycznych wewnętrznych obrabiarek).

Przekładnie łańcuchowe

Przekładnia łańcuchowa składa się z dwóch lub więcej kół uzębionych, opasanych cięgnem. W przekładni łańcuchowej znajduje się łańcuch składający się z szeregu ogniw połączonych przegubowo. Pomiędzy kołami przekładni łańcuchowej a łańcuchem zachodzi sprzężenie kształtowe. Koła na obwodzie posiadają uzębienia, co umożliwia zaczepianie kół łańcuchowych i ogniw łańcucha o uzębienie kół i powstanie sprzężenia (rys. 2.105).



Rys. 2.105. Widok przekładni łańcuchowej

Cechami charakteryzującymi przekładnie łańcuchowe są:
- stała wartość przełożenia przekładni,
- przenoszenie dużych momentów obrotowych,
- brak poślizgu,
- konieczność smarowania łańcucha,
- zwartość konstrukcji przekładni,
- hałas powstający podczas pracy przekładni,
- możliwość zerwania łańcucha podczas skokowej zmiany wartości momentu obrotowego,
- łatwy montaż i demontaż,
- możliwa nierównomierność ruchu przy małej liczbie zębów kół przekładni.

Zastosowanie przekładni łańcuchowych w obrabiarkach skrawających nie jest duże (np. napędy pompek olejowych i mechanizmów pomocniczych).

Urządzenia do bezstopniowej zmiany wartości prędkości obrotowej

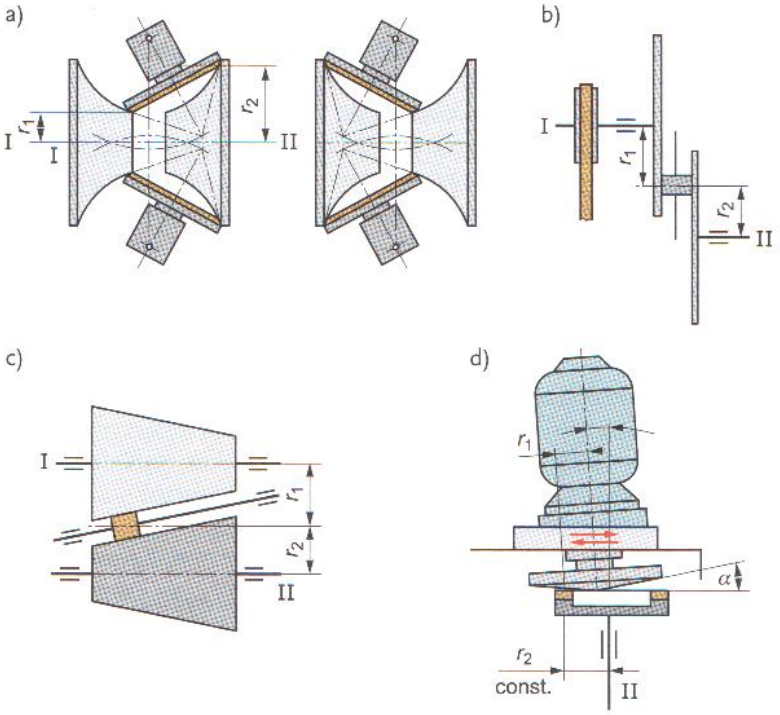
Do bezstopniowej zmiany wartości prędkości obrotowej podzespołów i zespołów roboczych obrabiarek skrawających są wykorzystywane urządzenia mechaniczne, hydrauliczne oraz elektryczne.

Urządzeniami mechanicznymi są przekładnie cierne oraz pasowe o specjalnej konstrukcji. Na rysunku 2.106 przedstawiono schematy ilustrujące zasadę konstrukcji oraz działania przekładni ciernych bezstopniowych. Przekładnie cierne umożliwiają przenoszenie ruchu między kołami czynnym a biernym dzięki sile tarcia wytworzonej w wyniku wzajemnego nacisku kół (bezpośrednio lub za pomocą elementu pośredniczącego). W przypadku konstrukcji przedstawionej na rysunku 2.106*a*) koła przekładni mają postać tarcz z powierzchniami wklęsłymi, ruch między kołami jest przenoszony za pośrednictwem wahliwych rolek mogących przyjmować względem kół różne położenia. Przełożenie takiej przekładni jest ilorazem promieni czynnych kół r_1 oraz r_2.

$$i = \frac{r_1}{r_2}.$$

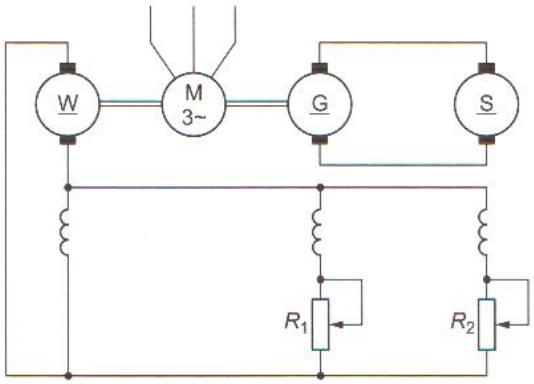
Tego typu przekładnie są stosowane w obrabiarkach do gładzenia oraz tokarkach małej mocy.

Na rysunku 2.106*b*, *c* przedstawione są konstrukcje wykorzystujące przesuwną rolkę powodującą zmianę wartości promieni czynnych kół przekładni. Przekładnia przedstawiona na rysunku 2.106*d* wykorzystuje zasadę zmiany promienia czynnego koła czynnego w wyniku przemieszczenia promieniowego osi kół. Przekładnie tego typu są stosowane w napędach wrzecion wiertarek oraz innych obrabiarek małej mocy z pionowym wrzecionem.



Rys. 2.106. Schematy konstrukcyjne przekładni ciernych bezstopniowych: *a*) z kołami wklęsłymi, *b*) z kołami tarczowymi, *c*) z kołami stożkowymi, *d*) z kołami przesuwnymi

Zasada pracy przekładni pasowej z bezstopniową zmianą przełożenia została przedstawiona na rysunku 2.107. Koła pasowe posiadają rozsuwane tarcze, dzięki czemu zmieniają się średnice czynne kół.



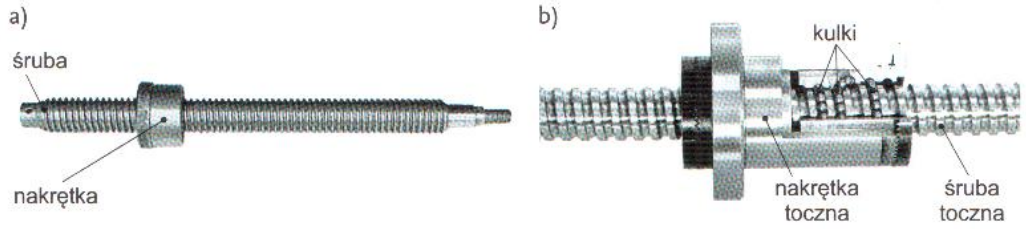
Rys. 2.109. Schemat układu Ward-Leonarda

Na zmianę wartości prędkości obrotowej wału silnika elektrycznego można wpływać przez zmianę częstotliwości napięcia zasilającego. Płynną regulację prędkości obrotowej silnika w bardzo szerokim zakresie realizuje się przez stosowanie półprzewodnikowych regulatorów mocy (**falowników**). Zastosowanie falownika zapewnia równocześnie wiele funkcji dodatkowych, np. zabezpieczanie przeciwprzeciążeniowe, zabezpieczenia przeciw zwarciom w obwodach silnika, sterowanie procesem rozruchu i hamowania oraz możliwość uzyskania znacznych oszczędności energii (nawet do 50%).

Bezstopniową regulację prędkości obrotowej silników elektrycznych w napędach konwencjonalnych obrabiarek skrawających stosuje się w przypadkach ułatwienia automatyzacji przebiegu procesu obróbki oraz w przypadkach uproszczenia konstrukcji obrabiarki.

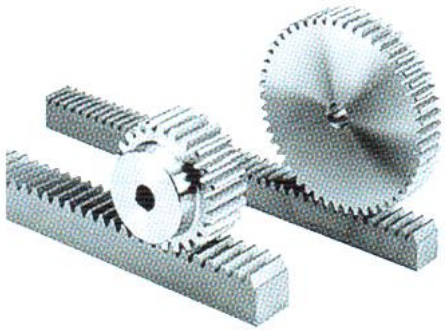
Dzięki stosowaniu **mechanizmów** uzyskuje się zmianę rodzaju ruchu:
- obrotowego na liniowy, liniowego na obrotowy lub zmianę kierunku ruchu – tę funkcję wypełniają mechanizmy śrubowy, zębaty, korbowy, jarzmowy, krzywkowy, nawrotnice,
- równomiernego (ciągłego) na przerywany (skokowy) – tę funkcję spełniają mechanizmy zapadkowy oraz maltański.

Mechanizm śrubowy – mechanizm składający się z dwóch części ruchomych (śruby oraz nakrętki) posiadających sprzężenie wymuszające ruch poosiowy jednej części w przypadku wykonywania ruchu obrotowego przez część drugą (rys. 2.110). Mechanizmy śrubowe umożliwiają zamianę ruchu obrotowego śruby na ruch liniowy poosiowy nakrętki oraz odwrotnie – zamianę ruchu obrotowego nakrętki na ruch liniowy poosiowy śruby. W nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych mechanizmów śrubowych są stosowane śruby toczne zapewniające większą precyzję ruchu, minimalizacje oporów ruchu, większą trwałość mechanizmu.



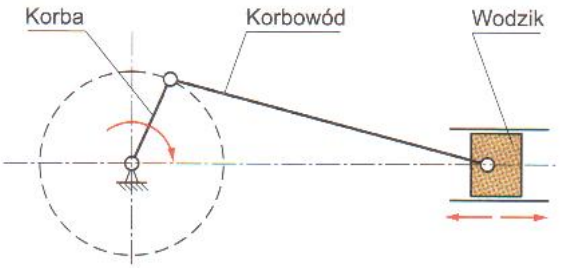
Rys. 2.110. Mechanizmy śrubowe: *a*) ze śrubą trapezową, *b*) ze śrubą toczną

Mechanizm zębaty jest to przekładnia zębatkowa składająca się z koła zębatego i listwy zębatej. Dzięki kształtowemu połączeniu koła i listwy zębatej jest możliwa zamiana ruchu obrotowego koła na ruch liniowy listwy zębatej. Elementem czynnym (napędzającym) może być koło zębate albo listwa (rys. 2.111).



Rys. 2.111. Mechanizm zębaty

Mechanizm korbowy składa się z trzech podstawowych elementów: korby, korbowodu i wodzika. Korba wykonuje ruch obrotowy, natomiast wodzik wykonuje ruch posuwisto-zwrotny. Ruch może być przekazywany zarówno z korby na wodzik, jak i z wodzika na korbę. Mechanizm korbowy (nazywany również mechanizmem korbowo-wodzikowym) umożliwia zamianę ruchu obrotowego korby na ruch liniowy wodzika i odwrotnie, ruchu liniowego wodzika na ruch obrotowy korby (rys. 2.112).



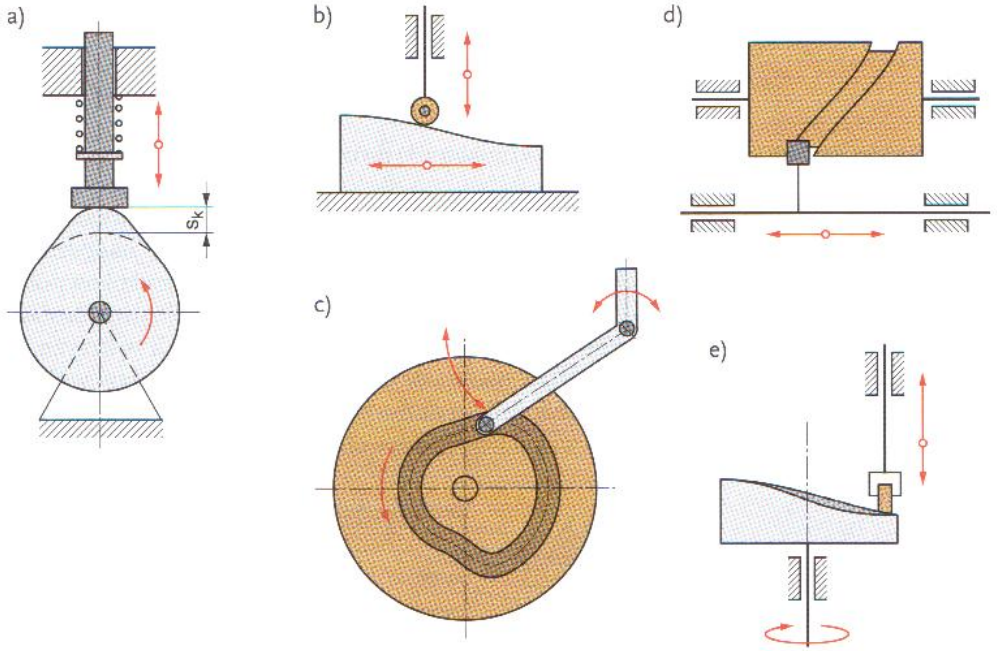
Rys. 2.112. Schemat mechanizmu korbowego

Mechanizm krzywkowy składa się z krzywki i popychacza. Członem napędzającym jest krzywka wykonująca ruch obrotowy (w szczególnych przypadkach liniowy), a członem napędzanym jest popychacz wykonujący ruch liniowy (lub obrotowy). Tor ruchu popychacza jest zależny od kształtu oraz rodzaju ruchu krzywki (rys. 2.113).

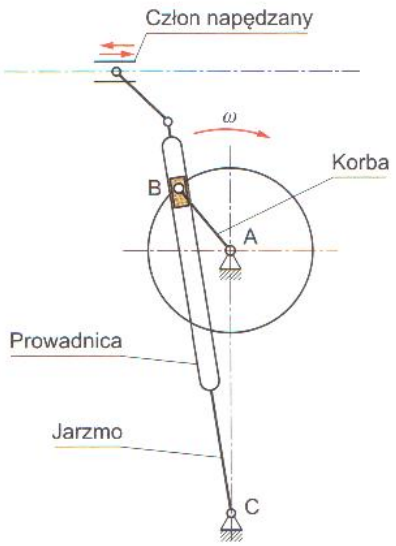
Mechanizm jarzmowy umożliwia zamianę ruchu obrotowego korby na ruch postępowo-zwrotny członu napędzanego (rys. 2.114).

Mechanizm zapadkowy składa się z dźwigni, zapadki oraz koła zapadkowego z uzębieniem o kształcie odpowiadającym kształtowi zapadki. Podczas przemieszczania dźwigni zapadka zaczepia o zęby wykonane na obwodzie koła, wymuszając obrót koła o odpowiedni kąt. Podczas przemieszczania dźwigni w kierunku przeciwnym zapadka ślizga się po obwodzie koła, nie powodując jego obrotu. Dźwignia wykonuje ruch wahadłowy i dzięki

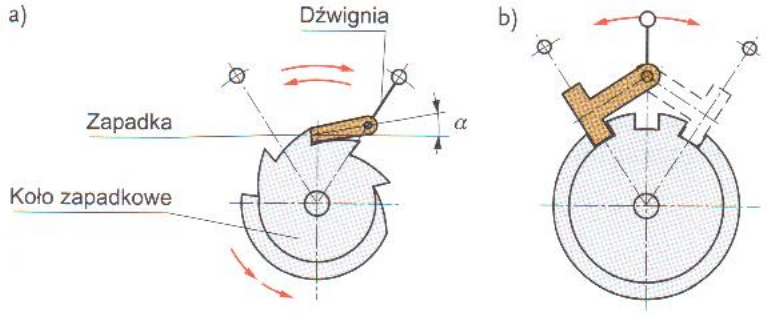
temu obrót koła ma charakter skokowy. Stosuje się konstrukcje mechanizmów zapadkowych jednokierunkowych (umożliwiających skokowy ruch koła tylko w jednym kierunku) oraz dwukierunkowych (umożliwiających skokowy ruch koła w obu kierunkach). Na rysunku 2.115 (s. 138) przedstawiono schematy konstrukcji mechanizmów zapadkowych: jednokierunkowego oraz dwukierunkowego.



Rys. 2.113. Schemat mechanizmów krzywkowych: *a*), *b*) z krzywką płaską, *c*) z krzywką tarczową *d*), *e*) z krzywką walcową
S_k – skok krzywki



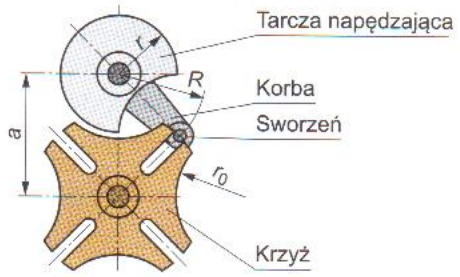
Rys. 2.114. Schemat mechanizmu jarzmowego



Rys. 2.115. Mechanizm zapadkowy: *a*) jednokierunkowy, *b*) dwukierunkowy

Mechanizm maltański składa się z tarczy z promieniowo wykonanymi rowkami (tzw. krzyża) oraz korby połączonej z tarczą napędzającą. Podczas obrotu tarczy napędzającej sworzeń zamocowany w korbie wchodzi kolejno w rowki krzyża, wymuszając skokowy obrót o określony kąt. Krzyż posiada blokadę obrotu w momentach między kolejnymi obrotami.

Kąt obrotu krzyża zależy od liczby rowków promieniowych wykonanych w krzyżu. Na rysunku 2.116 przedstawiono mechanizm maltański z czterema rowkami zapewniający obrót krzyża o 90° – istnieją konstrukcje mechanizmów posiadających inne liczby rowków i w związku z tym możliwość wykonywania przez krzyż obrotu o kąt inny niż 90°.



Rys. 2.116. Mechanizm maltański

a – odległość między osiami krzyża i tarczy napędzającej, *r* – promień tarczy napędzającej, *R* – promień korby, r_0 – promień powierzchni zewnętrznej krzyża

Nawrotnice (mechanizmy rewersyjne) – umożliwiają zmianę kierunku ruchu obrotowego członu biernego przy niezmiennym kierunku ruchu członu czynnego. Funkcję zmiany kierunku ruchu obrotowego mogą spełniać odpowiednio skonstruowane przekładnie pasowe lub przekładnie zębate. Na rysunku 2.117 przedstawiono zasady konstrukcji przekładni rewersyjnych – pasowej oraz zębatych.

Ruch obrotowy z wału czynnego I jest przekazywany na wał bierny II za pośrednictwem dwóch przekładni pasowych. Koła pasowe wału czynnego są osadzone przesuwnie i załączane za pomocą sprzęgła. Jedna z przekładni ma pas skrzyżowany i dzięki temu następuje zmiana kierunku ruchu wałka biernego (rys. 2.117*a*).

Nawrotnica sprzęgłowa z kołami zębatymi walcowymi została przedstawiona na rysunku 2.117*b*. Na wałku czynnym I osadzone są na stałe koła zębate z_1 oraz z_3. Na wałku biernym są osadzone suwliwie koła zębate z_4 oraz z_2. Występuje również koło zębate pośrednie z_p. Sprzęgnięcie kół zębatych wałków I i II następuje dzięki zastosowaniu sprzęgła S. Dzięki zastosowaniu koła zębatego z_p następuje zmiana kierunku ruchu obrotowego przekazywanego na koło zębate z_4 w stosunku do kierunku ruchu wałka I.