

**Połączenia podatne** umożliwiają wzajemne przemieszczanie się łączonych części, łagodzą wstrząsy, pochłaniają energię uderzeń lub ją kumulują. Stosuje się je również m.in. do wywierania nacisków o stałej wartości, do regulacji i kasowania luzów. W połączeniach podatnych występują elementy podatne.

**Elementy podatne** charakteryzują się zdolnością do dużych odkształceń pod wpływem obciążenia. Właściwości takie można uzyskać przez:

- nadanie elementowi wykonanemu ze sztywnego i sprężystego materiału odpowiedniego kształtu – i wówczas są to **sprężyny**,
- zastosowanie materiału o małej sprężystości i dużej odkształcalności – np. **elementy gumowe i metalowo-gumowe**.

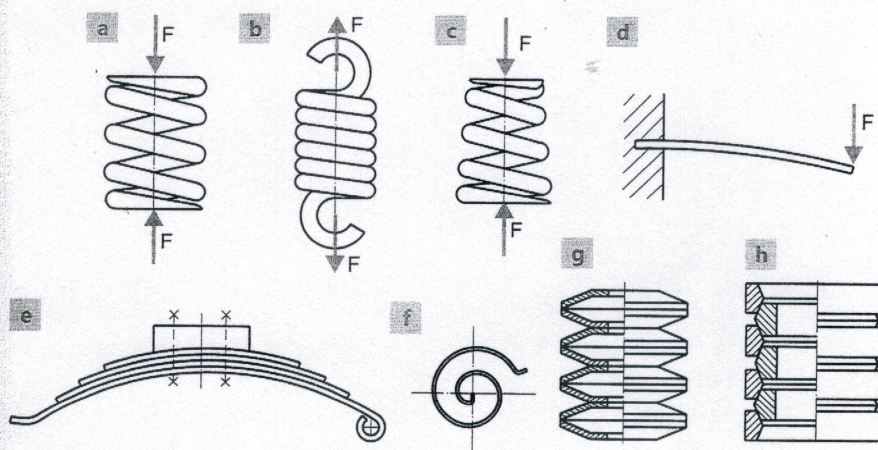
We współczesnych konstrukcjach elementów podatnych niekiedy zamiast gumy stosuje się wybrane tworzywa sztuczne – są to tzw. **amortyzatory żelowe**.

W elementach sprężystych wykorzystuje się również układy pneumatyczne – **sprężyny gazowe** lub układy hydrauliczne – **amortyzatory**.

**Sprężyny** stosowane w budowie maszyn spełniają następujące podstawowe zadania:

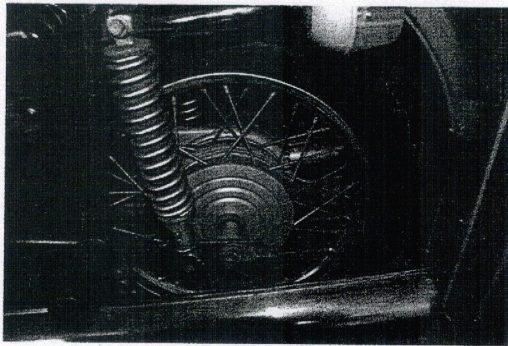
- dociskają części maszyn podczas pracy,
- zapewniają wzajemne przemieszczanie połączonych części w określonych granicach,
- łagodzą uderzenia i wstrząsy,
- tłumią drgania.

W zależności od kształtu rozróżniamy sprężyny śrubowe (walcowe i stożkowe), płaskie, spiralne, talerzowe i pierścieniowe (rys. 8.84). Zależnie od rodzaju obciążenia występują sprężyny ściskane, naciągowe, zginane i skręcane. Rodzaj obciążenia nie określa tutaj kierunków wywoływanych w sprężynie naprężeń.



**Rys. 8.84** Rodzaje sprężyn

a – śrubowa walcowa ściskana, b – śrubowa walcowa rozciągana, c – śrubowa stożkowa ściskana, d – płaska zginana, e – płaska wielokrotna (tzw. resor), f – spiralna skręcana, g – talerzowa ściskana, h – pierścieniowa ściskana



**Rys. 8.87** Sprężyna śrubowa współpracująca z amortyzatorem hydraulicznym w tylnym zawieszeniu motocykla

## Materiały stosowane na elementy podatne

8.6.2

Do wyrobu sprężyn i resorów używa się głównie stali charakteryzujących się wysoką granicą sprężystości i plastyczności oraz dużą wytrzymałością zmęczeniową. Typowe węglowe stale sprężynowe cechuje zwiększona zawartość węgla, wynosząca 0,5–0,7%. Stopowe stale sprężynowe zawierają dodatki manganu (ok. 1%), krzemu (1,5–2%), chromu (0,5–1%) oraz wanadu (0,15%). Wysoką granicę sprężystości stali sprężynowych osiąga się dzięki hartowaniu i odpuszczaniu w temperaturze 380–520°C. Do wyrobu sprężyn o małej średnicy przekroju używa się drutu patentowego (fortepianowego). Drut taki zawiera ok. 1% węgla, jest wielokrotnie przeciągany na zimno i hartowany w kąpeli ołowiowej. Stale sprężynowe są znormalizowane.

Sprężyny pracujące w ośrodkach korodujących lub te, od których wymaga się dobrego przewodnictwa elektrycznego, wykonuje się ze sprężystych brązów cynowo-ołowiowych, krzemowo-manganowych lub berylowych.

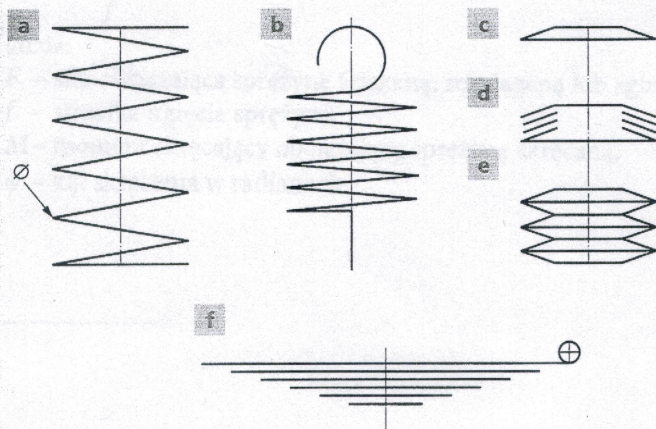
Do wyrobu elementów gumowych i metalowo-gumowych używa się gumy naturalnej lub syntetycznej o twardości 30–70° Shore'a. Istotne jest, aby elementy gumowe ściskane nie odkształcały się więcej niż 50%, a rozciągane – maksymalnie do 100%. Guma wykorzystywana w budowie pojazdów samochodowych powinna być odporna na działanie olejów i smarów.

Elastomery to tworzywa sztuczne o dużej sprężystości, zdolne do powrotu do pierwotnego kształtu nawet po znacznym odkształceniu. Wykonuje się z nich najczęściej wkładki sprężyste do amortyzatorów o małym skoku.

## Oznaczanie sprężyn na rysunkach technicznych

8.6.4

Widoki i przekroje sprężyn przedstawiono na rysunkach 8.84 i 8.89 oraz w pierwszym rozdziale podręcznika. Stosuje się je zarówno na rysunkach wykonawczych sprężyn, jak i na rysunkach złożeniowych. Wszystkie wymiary sprężyn podaje się na rysunku, a pozostałe



**Rys. 8.91** Uproszczenia rysunkowe sprężyn  
*a* – śrubowa walcowa ściskana,  
*b* – śrubowa walcowa naciągowa,  
*c* – talerzowa pojedyncza,  
*d, e* – talerzowa wielokrotna,  
*f* – płaska wielokrotna (resor) z jednostronnym zakończeniem oczkowym

## 19.1. Ogólne zasady rysowania sprężyn

Sprężyny są to części maszynowe charakteryzujące się dużą zdolnością do odkształceń odwracalnych. Zdolności te uzyskuje się przez nadanie sprężynom odpowiedniego kształtu i zastosowanie materiału o dużej sprężystości. Zależnie od rodzaju obciążenia, przy którym sprężyny pracują, rozróżnia się: **sprężyny naciskowe, naciągowe, skrętowe i zginane**. Zależnie od kształtu rozróżnia się sprężyny **śrubowe, talerzowe, spiralne i pretowe (płaskie)**.

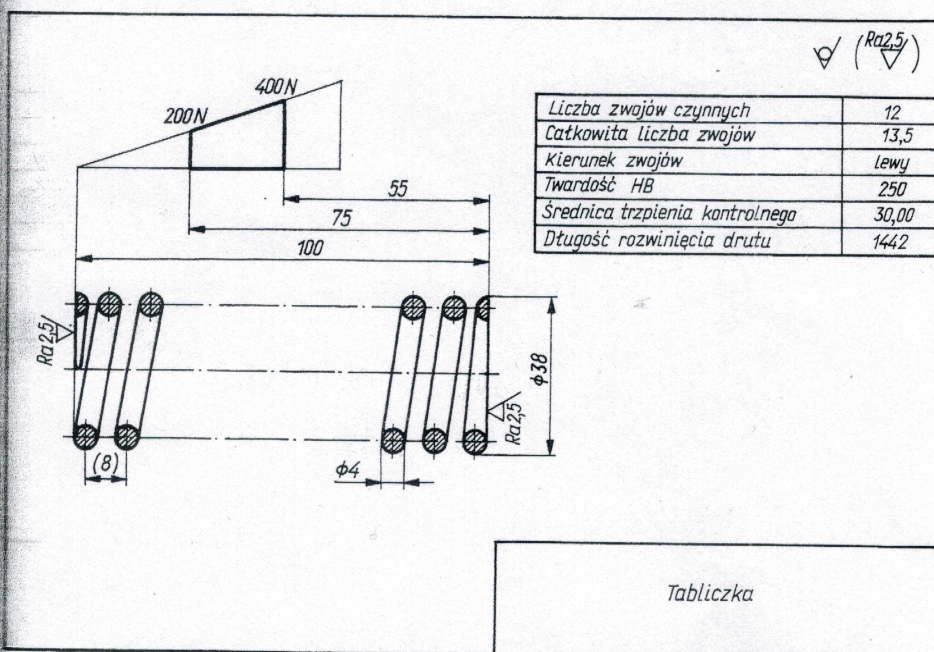
## 19.2. Rysunek wykonawczy sprężyny

Rysunek wykonawczy sprężyny należy wykonywać zgodnie z PN-81/M-01148. Norma zaleca, aby rysunek ten zawierał:

- przedstawienie sprężyny,
- wymiary i tolerancje sprężyny,
- charakterystykę sprężyny w formie wykresu (w przypadkach koniecznych),
- inne dane niezbędne do wykonania sprężyny, umieszczone w tablicy danych technicznych.

Tablicę danych technicznych należy rysować w górnym prawym rogu arkusza rysunkowego (patrz rys. 19.1) oraz umieszczać w niej kolejno, w zależności od rodzaju sprężyny, następujące dane:

- liczbę zwojów czynnych,
- całkowitą liczbę zwojów,
- kierunek zwojów (lewy, prawy),
- twardość (materiału),
- pokrycie (powłoki ochronne),
- średnicę trzpienia lub tulei kontrolnej,
- długość rozwinięcia drutu.



Rys. 19.1. Rysunek wykonawczy sprężyny śrubowej naciskowej

wymagania i dane niezbędne do ich wykonania oraz sprawdzenia podaje się w wymaganiach technicznych lub w tabliczce umieszczonej w prawym górnym rogu rysunku.

Uproszczenia rysunkowe sprężyn (rys. 8.91) stosuje się tylko na rysunkach złożeniowych i schematach. Na rysunku w uproszczeniu, jeśli kształt przekroju drutu jest inny niż okrągły, na linii odniesienia podaje się odpowiedni symbol przekroju wg PN-EN ISO 5261 (np. □).

Jeśli końce sprężyn są nieoszlifowane, na rysunku należy podać sposób zakończenia. Sprężyny prawozwojne oznaczamy symbolem RH, a lewozwojne – LH.

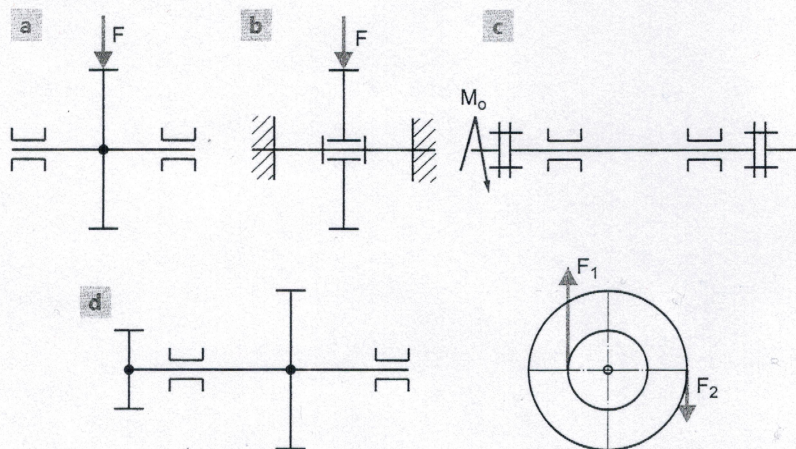
## 8.7 Osie i wały

### 8.7.1 Ogólna charakterystyka osi i wałów

**Osie** służą do podtrzymywania innych części wykonujących ruch obrotowy. Mogą one być ruchome lub nieruchome. Ułożyskowana i obracająca się razem z osadzonymi na niej częściami oś jest ruchoma (rys. 8.92a). Jeśli natomiast ułożyskowane części obracają się na osi sztywno zamocowanej w podporach, to taka oś jest nieruchoma (rys. 8.92b). Osie nie przenoszą momentu obrotowego i są głównie zginane.

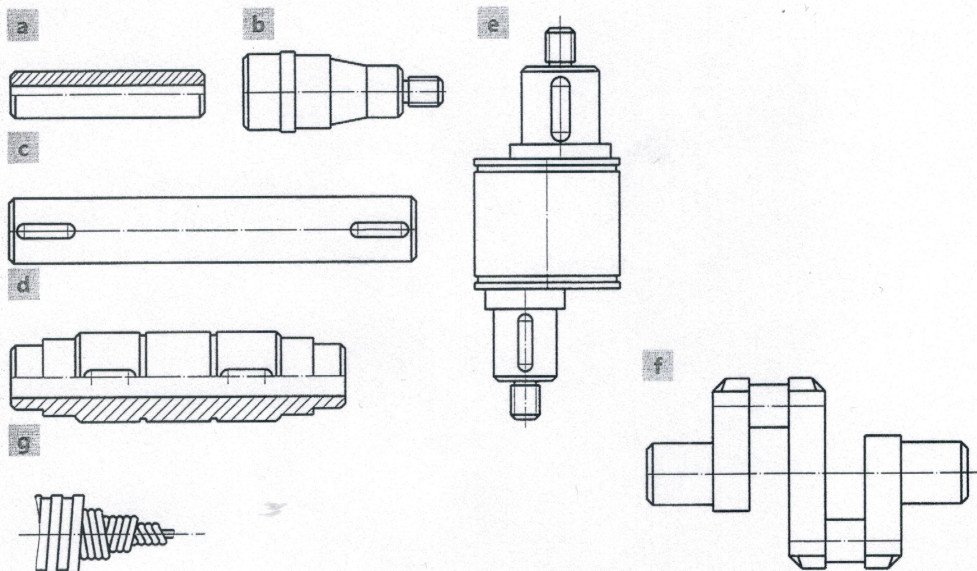
**Wały** służą przede wszystkim do przenoszenia momentu obrotowego i wtedy są skręcane (rys. 8.92c). Gdy osadzone na wale części są obciążone siłą poprzeczną do osi wału, wówczas jest on dodatkowo zginany (rys. 8.92d).

**Osie i wały sztywne** są to pręty, najczęściej o przekroju okrągłym. Ze względu na kształt zewnętrzny rozróżnia się osie i wały *gładkie*, *stopniowane (schodkowe)* oraz *kształtowe*, a ze względu na kształt przekroju *pełne* i *drążone* (rys. 8.93). Stopniowanie średnicy umożliwi efektywniejsze wykorzystanie materiału. Wraz z narastającymi wartościami momentów zginających zwiększa się wskaźnik wytrzymałości przekroju na zginanie. Wały skręcane, w których nie występuje zginanie, są najczęściej gładkie (mają jednakową średnicę).



**Rys. 8.92** Osie i wały na schematach

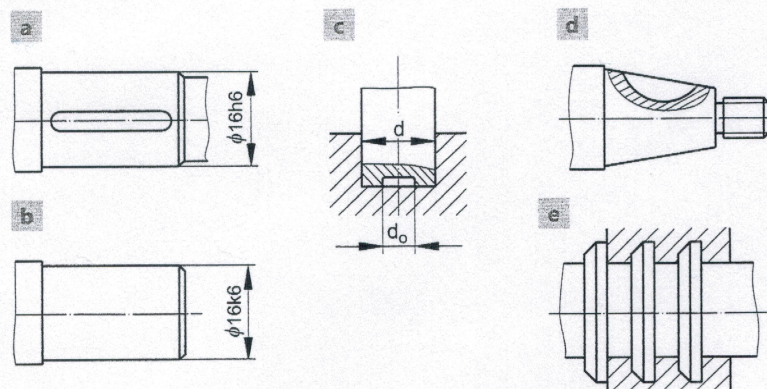
a – oś ruchoma, b – oś stała, c – wał skręcany, d – wał skręcany i zginany



**Rys. 8.93** Rodzaje osi i wałów  
*a* – drążona oś gładka, *b* – pełna oś stopniowana, *c* – pełny wał gładki,  
*d* – drążony wał stopniowany, *e, f* – wał wykorbiony, *g* – wał giętki

Nazewnictwo wałów bierze się najczęściej od spełnianych funkcji (np. wał główny, wał napędowy, wał rozrządu) lub kształtu (np. wał korbowy).

Odcinki osi i wałów, których powierzchnie stykają się ze współpracującymi częściami, nazywamy czopami. Czopy wymagają dokładnej obróbki, a ich średnice i tolerancje są często znormalizowane (rys. 8.94). Dotyczy to zwłaszcza czopów współpracujących z łożyskami.



**Rys. 8.94** Rodzaje czopów  
*a, b* – poprzeczny stały, *c* – wzdłużny, *d, e* – poprzeczno-wzdłużny

## 8.7.2 Materiały stosowane na osie i wały

Rodzaj materiału, z którego wykonano oś lub wał, zależy od przeznaczenia, wymaganej wytrzymałości i sztywności tego elementu. Właściwości wybranego materiału decydują pośrednio o wymiarach części współpracujących (np. łożysk, kół, sprzęgieł, hamulców), które często są znormalizowane. Osie i wały wykonuje się z węglowych stali konstrukcyjnych i maszynowych. Typowym materiałem wałów są stale C35 i C45 w stanie ulepszonym cieplnie. Wykorzystuje się również stale stopowe do ulepszania cieplnego. Gdy bardziej istotna jest twardość powierzchni niż wytrzymałość rdzenia osi lub wału, stosuje się stale do nawęglania. Na wały korbowe dużych maszyn i urządzeń czasami stosuje się odlewy z żeliwa modyfikowanego lub sferoidalnego.

Przy doborze materiału należy uwzględnić fakt, że duża wytrzymałość materiału nie jest potrzebna, gdy o wymiarach przesądzą wymagania dotyczące jego sztywności giętej lub skrętniej.

## Klasyfikacja łożysk

### 8.8.1

**Łożyska** zapewniają stałe położenie ruchomych elementów maszyn wykonujących względny ruch obrotowy (np. koło względem piasty, wał korbowy w kadłubie silnika) i umożliwiają przenoszenie obciążeń oraz zmniejszają tarcie podczas względnego ruchu obracających się części. Układ łożysk zapewniający prawidłową współpracę elementów maszyn nazywa się **łożyskowaniem**.

Łożyska są obciążone siłami związanymi z ciężarem osi i wałów oraz wzajemną współpracą poszczególnych elementów (patrz wyznaczanie reakcji w belkach – podrozdz. 5.4.3). Aby prawidłowo wypełniały swoje zadania, powinny charakteryzować się małymi oporami ruchu (ponieważ wywołują straty energii), niezawodnością działania oraz odpornością na zużycie podczas normalnej pracy. Elementy łożysk mogą się po sobie ślizgać lub toczyć i w związku z tym rozróżniamy **łożyska ślizgowe i toczne**.

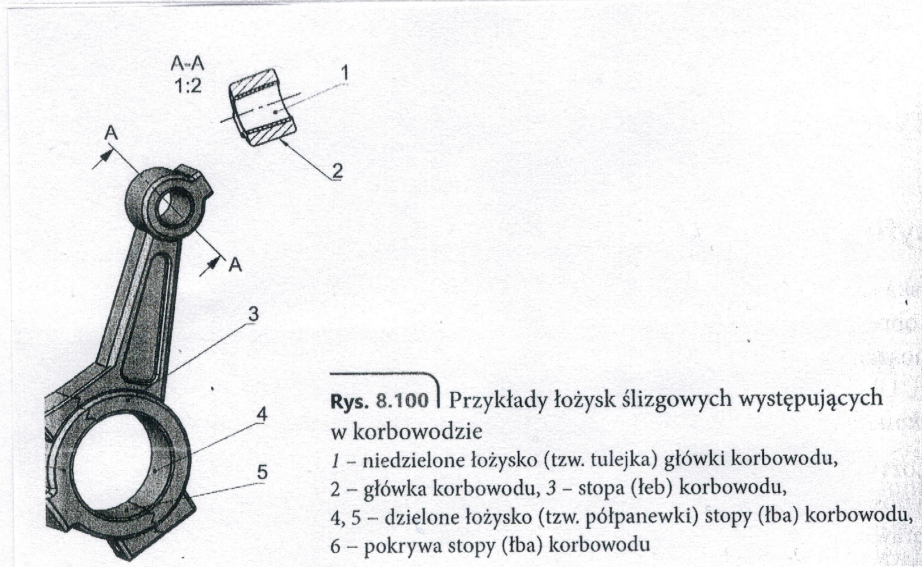
**Łożyska ślizgowe** wyróżniają się bezpośrednim stykiem powierzchni roboczych czopów i gniazd, a zachodzący ruch obrotowy powoduje ślizganie się ich po sobie. Powstaje tarcie ślizgowe, które niestety sprzyja wydzielaniu się dużej ilości ciepła. Jest to niewątpliwa wada tego rozwiązania. Łożyska ślizgowe charakteryzują też liczne zalety, którymi są:

- możliwość przenoszenia dużych obciążeń,
- możliwość zamontowania w środku wału, jeżeli zastosuje się łożyska dzielone (tzw. półpanewki),
- cichsza praca niż łożysk tocznych,
- dobre tłumienie drgań,
- duża dokładność montażu,
- lekkość ze względu na małe wymiary zewnętrzne (szerokie zastosowanie w urządzeniach precyzyjnych).

Łożysko ślizgowe najczęściej tworzy panewka o odpowiednio ukształtowanym otworze współpracująca z czopem będącym częścią wału lub osi. Panewki mogą stanowić oddzielną część zamocowaną w korpusie albo być wykonane bezpośrednio w obudowie. Panewka może występować jako tuleja w całości (łożysko niedzielone, 1, rys. 8.100) lub jako zespół złożony z połówek (łożysko dzielone, 4 i 5, rys. 8.100).

W zależności od kierunku przenoszenia sił łożyska ślizgowe dzielimy na:

- poprzeczne, które przenoszą obciążenia prostopadłe do osi wału,
- wzdłużne, przenoszące obciążenia zgodne z kierunkiem osi wału,
- poprzeczno-wzdłużne, umożliwiające przenoszenie obciążeń działających zarówno prostopadłe, jak i wzdłuż osi wału.



**Rys. 8.100** | Przykłady łożysk ślizgowych występujących w korbowodzie

- 1 – niedzielone łożysko (tzw. tulejka) główki korbowodu,  
 2 – główka korbowodu, 3 – stopa (łeb) korbowodu,  
 4, 5 – dzielone łożysko (tzw. półpanewki) stopy (łba) korbowodu,  
 6 – pokrywa stopy (łba) korbowodu

**Łożyska toczne** charakteryzuje umieszczenie elementów tocznych pośredniczących w ruchu względnym współpracujących powierzchni. Wiadomo, że łatwiej jest toczyć ciężar niż go ciągnąć. Wynika to z mniejszych wartości sił tarcia tocznego niż tarcia ślizgowego. Zastosowanie łożysk tocznych wynika z ich zalet, którymi są:

- małe opory tarcia podczas pracy,
- małe opory tarcia w czasie rozruchu, zwłaszcza przy częstym unieruchamianiu maszyny,
- małe opory tarcia przy małych prędkościach obrotowych (współczynnik tarcia w bardzo małym stopniu zależy od prędkości obrotowej),
- duża niezawodność pracy,
- duża trwałość,
- małe wymiary wzdłużne w stosunku do poprzecznych.

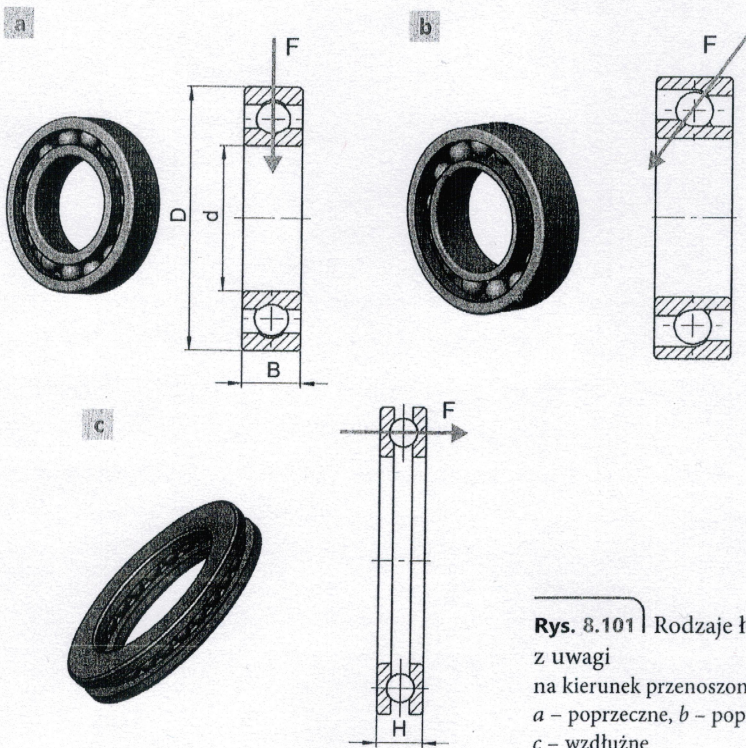
W zależności od kierunku przenoszenia sił łożyska toczne, podobnie jak ślizgowe, dzielimy na (rys. 8.101):

- poprzeczne (*a*),
- wzdłużne (*c*),
- poprzeczno-wzdłużne (tzw. skośne, *b*).

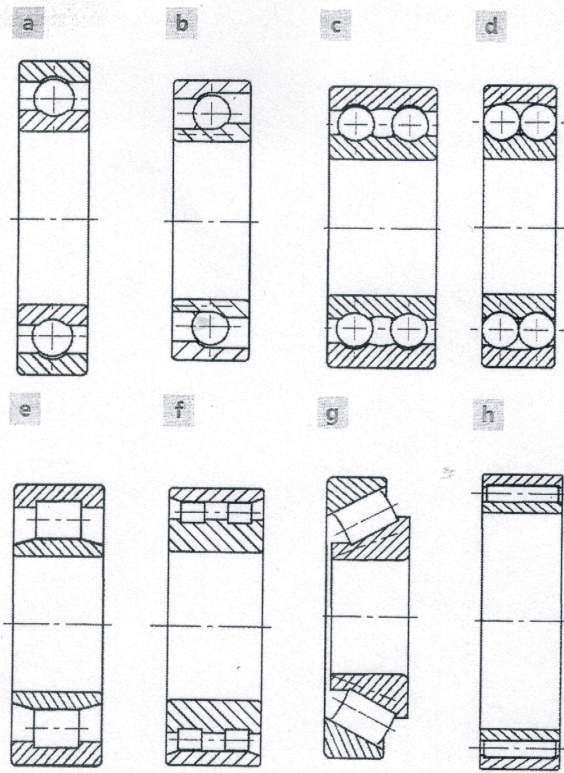
W praktyce prawie wszystkie łożyska poprzeczne mogą przenosić niewielkie obciążenia wzdłużne. O przynależności łożyska do danego rodzaju decyduje wartość przenoszonych obciążeń wzdłużnych w stosunku do poprzecznych. Wybrane rodzaje łożysk tocznych pokazano na rysunku 8.102.

Z uwagi na kształt elementów nośnych rozróżnia się łożyska toczne:

- kulkowe,

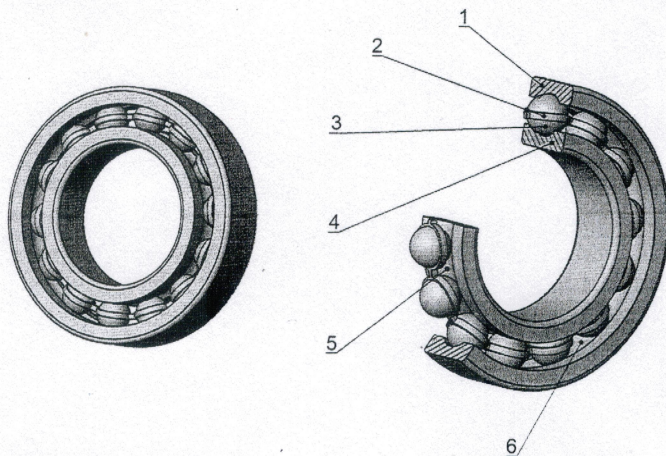


**Rys. 8.101** Rodzaje łożysk kulkowych z uwagi na kierunek przenoszonego obciążenia  
*a* – poprzeczne, *b* – poprzeczno-wzdłużne,  
*c* – wzdłużne



**Rys. 8.102** Wybrane rodzaje łożysk tocznych  
*a* – kulkowe zwykłe,  
*b* – kulkowe skośne,  
*c* – kulkowe dwurzędowe,  
*d* – kulkowe dwurzędowe wahliwe,  
*e* – walcowe bez prowadzenia na pierścieniu wewnętrznym,  
*f* – walcowe dwurzędowe,  
*g* – stożkowe,  
*h* – igiełkowe

- wałeczkowe (z elementami tocznymi o kształcie walcowym, stożkowym lub baryłkowym).  
 Najbardziej rozpowszechnione łożysko kulkowe (rys. 8.103) składa się z pierścienia zewnętrznego 1, pierścienia wewnętrznego 4, kulek 3 oraz połówek koszyka 2 połączonych nitami.



**Rys. 8.103** Budowa łożyska kulkowego zwykłego  
 1 – pierścień zewnętrzny, 2 – koszyk, 3 – kulka, 4 – pierścień wewnętrzny,  
 5 – bieżnia pierścienia wewnętrznego, 6 – bieżnia pierścienia zewnętrznego



**Łożyska ślizgowe.** Praca łożyska ślizgowego zależy w dużym stopniu od własności materiałów czopa i panwi łożyska. Czopy wałów są najczęściej stalowe, natomiast na panwie łożysk stosuje się materiały łożyskowe cechujące się dużą wytrzymałością mechaniczną, odpornością na ścieranie i korozję, dobrym przewodzeniem ciepła oraz łatwością obróbki. W silnikach pojazdów samochodowych panewki wykonuje się z taśmy stalowej (o zawartości węgla 0,1%) o grubości od 1 do 4 mm, powleczonej warstwą stopu łożyskowego o grubości od 0,1 do 0,5 mm. Do najczęściej stosowanych stopów łożyskowych należą stopy na osnowie:

- cyny (białe metale),
- miedzi (brązy),
- aluminium.

Najpopularniejsze z nich są stopy: cynowo-antymonowo-miedziowy, ołowiowo-cynowo-antymonowo-miedziowy, ołowiowo-cynowo-antymonowy. Właściwy dobór składu chemicznego stopów zapewnia odpowiednie właściwości łożysk oraz możliwość ich dostosowania do wymaganego obciążenia i zakresu prędkości obrotowej. We współczesnych łożyskach ślizgowych coraz częściej wykorzystuje się nowe materiały. Są to np. intermetale, czyli związki międzymetaliczne, będące połączeniem tytanu i aluminium. Wynikowa struktura związku jest zupełnie inna niż struktura składników.

Stopami o dużej twardości i wytrzymałości, wykorzystywanymi w łożyskach pracujących w najcięższych warunkach, są **brązy odlewnicze** cynowe i ołowiowe. **Mosiądze** są mniej wytrzymałe, lecz bardziej odporne na pracę w podwyższonej temperaturze. Natomiast dobre własności antykorozyjne mają **stopy aluminium z miedzią, niklem i krzemem**. Ich wadą jest jednak duża rozszerzalność cieplna. **Żeliwo** jest rzadziej stosowane, ze względu na dość dużą twardość i małą odkształcalność. Do celów specjalnych stosuje się panewki wielowarstwowe; np. panewki **stalowe pokryte warstwą srebra** (o grubości 0,5–0,7 mm), następnie **warstwą ołowiu** (ok. 0,005 mm) **z dodatkiem indu**. Materiały wielowarstwowe dobiera się drogą prób, odpowiednio do warunków pracy łożysk (np. w tłokowych silnikach lotniczych).

Jeżeli smarowanie łożysk jest bardzo utrudnione lub ze względu na warunki pracy należy go unikać (w tradycyjnej formie), stosuje się panewki **z materiałów porowatych**. Najczęściej są to tuleje prasowane, spiekane i nasycane olejem. Po rozgrzaniu łożyska smar wpływa na powierzchnię panwi, a po obniżeniu temperatury cofa się w głąb porów.

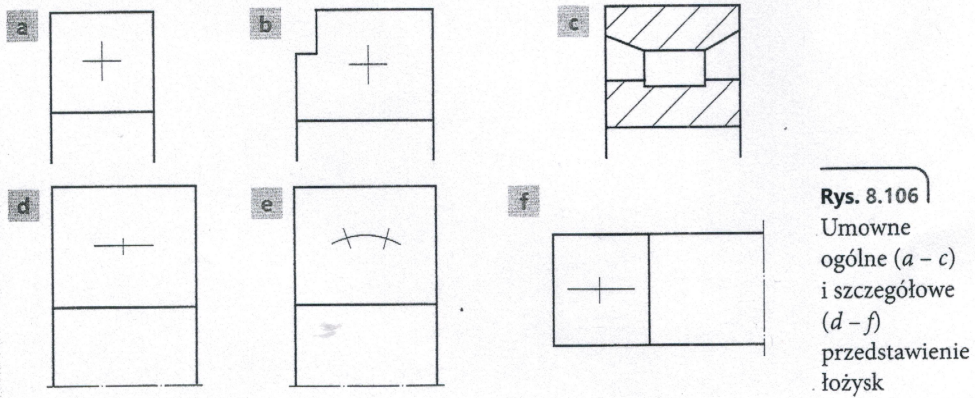
Poza stopami metali na panewki łożysk wykorzystuje się również **tworzywa sztuczne** (polimery). Stosuje się je często ze względu na korzystne własności ślizgowe, takie jak: mały współczynnik tarcia suchego, zdolność samodocierania, odporność na ścieranie, dobre tłumienie drgań, cichobieżność, odporność na korozję i łatwość kształtowania. Wadami polimerów są przede wszystkim słabe właściwości mechaniczne, mała przewod-

### 8.8.4 Oznaczanie łożysk na rysunkach technicznych

**Łożyska ślizgowe** rysuje się tak samo jak wałki i tulejki w przekroju. Ogólne zasady rysowania tych elementów opisano w rozdziale 1.

**Łożyska toczne** na rysunkach technicznych można przedstawiać umownie ogólnie lub szczegółowo. Umownie w sposób ogólny (zgodnie z PN-EN ISO 8826-1) łożyska toczne można przedstawiać trzema sposobami:

- bez pokazywania szczegółów (jako kwadrat z krzyżykiem w środku – rys. 8.106a);
- z podaniem rzeczywistego zarysu przekroju poprzecznego łożyska, ale tylko z krzyżykiem w środku (rys. 8.106b);
- z pokazaniem zakreskowanych pól przekrojów pierścieni wewnętrznego i zewnętrznego łożyska – jest to sposób rzadko używany, przy czym pierścienie zaleca się kreskować w tym samym kierunku (rys. 8.106c).



Przykłady zastosowania elementów graficznych przedstawiono na rysunku 8.106d-f. Na rysunku 8.106d zobrazowano łożysko kulkowe poprzeczne z elementem tocznym, którego kształt nie jest do końca ustalony. Może to być łożysko kulkowe lub walcowe. Gdyby kreska pozioma cienka była dłuższa, mogłoby to być łożysko igiełkowe.

Na rysunku 8.106e wyraźnie widać dwa rzędy elementów toczych. Mogą to być kulki lub baryłki, ponieważ długi łuk oznacza możliwość samonastawiania, czyli jest to łożysko wahliwe, a tylko kulki i baryłki mają możliwości poruszania się po łuku.

Na rysunku 8.106f pokazano dłuższą linię prostą do osi obrotu łożyska, co wskazuje na możliwość przenoszenia obciążeń wzdłużnych (tzw. łożysko oporowe). Elementami tocznymi mogą być kulki lub wałeczki.

