



MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ



Leon Zujko

Rozpoznawanie części maszyn, mechanizmów i urządzeń transportu wewnątrzzakładowego 722[02].O1.07

Poradnik dla ucznia

Wydawca

**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2007**

Recenzenci:

mgr inż. Grażyna Uhman

mgr inż. Regina Mroczek

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Paweł Krawczak

Konsultacja:

mgr Małgorzata Sienna

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 722[02].O1.07 „Rozpoznawanie części maszyn, mechanizmów i urządzeń transportu wewnątrz zakładowego”, zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu operator obrabiarek skrawających.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	3
2. Wymagania wstępne	5
3. Cele kształcenia	6
4. Materiał nauczania	7
4.1. Podstawowe wiadomości z wytrzymałości materiałów	7
4.1.1. Materiał nauczania	7
4.1.2. Pytania sprawdzające	13
4.1.3. Ćwiczenia	14
4.1.4. Sprawdzian postępów	15
4.2. Połączenia	16
4.2.1. Materiał nauczania	16
4.2.2. Pytania sprawdzające	34
4.2.3. Ćwiczenia	34
4.2.4. Sprawdzian postępów	35
4.3. Łożyskowanie	36
4.3.1. Materiał nauczania	36
4.3.2. Pytania sprawdzające	47
4.3.3. Ćwiczenia	48
4.3.4. Sprawdzian postępów	49
4.4. Przekładnie	50
4.4.1. Materiał nauczania	50
4.4.2. Pytania sprawdzające	60
4.4.3. Ćwiczenia	60
4.4.4. Sprawdzian postępów	63
4.5. Maszyny i urządzenia transportu wewnętrzzakładowego	64
4.5.1. Materiał nauczania	64
4.5.2. Pytania sprawdzające	76
4.5.3. Ćwiczenia	76
4.5.4. Sprawdzian postępów	77
5. Sprawdzian osiągnięć	78
6. Literatura	82

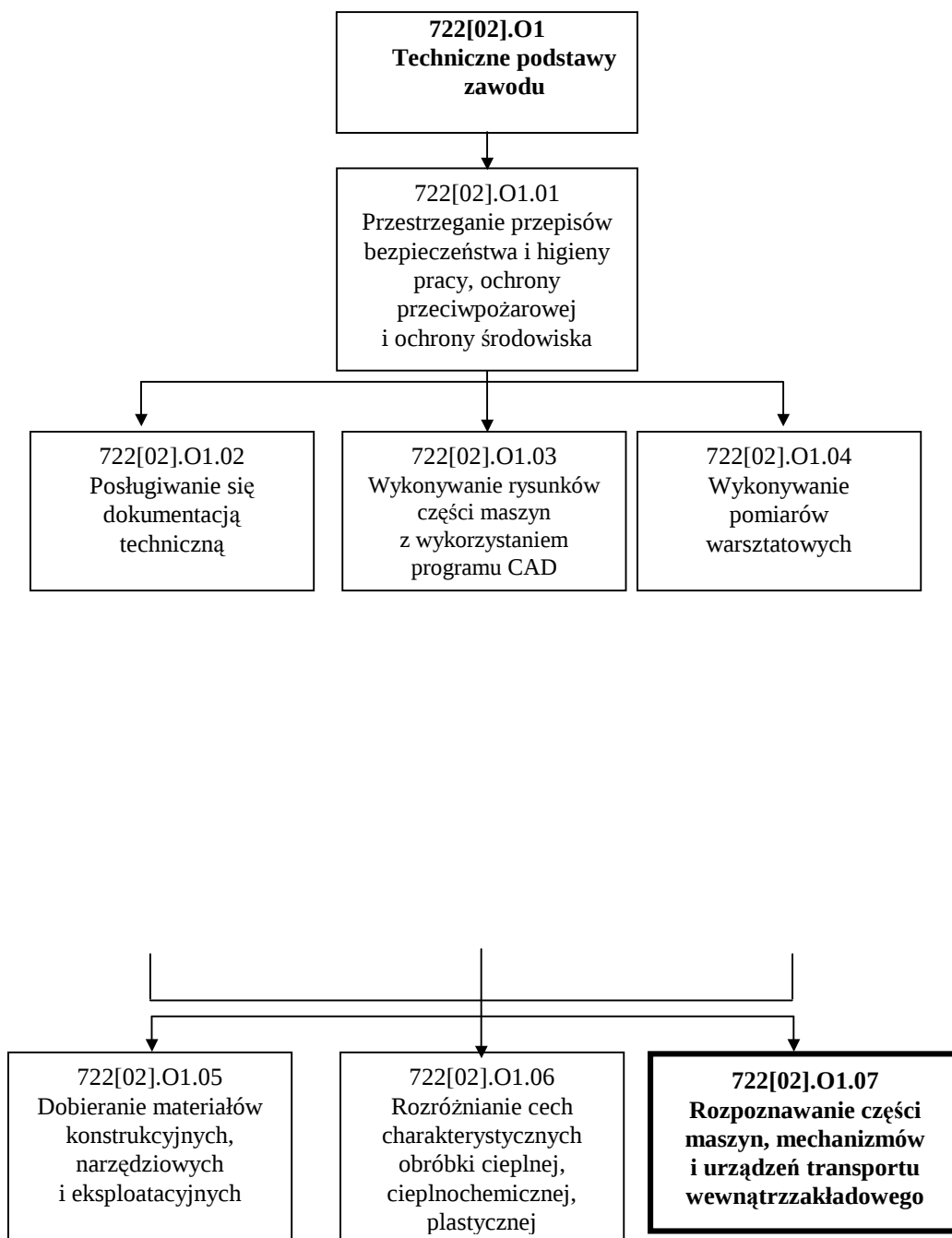
1. WPROWADZENIE

Poradnik ten będzie Ci pomocny w przyswajaniu wiedzy dotyczącej wytrzymałości materiałów, części maszyn, mechanizmów i urządzeń transportu wewnątrzzakładowego.

W poradniku zamieszczono:

- wymagania wstępne – wykaz umiejętności, jakie powinieneś mieć już kształtowane, abyś bez problemów mógł korzystać z poradnika,
- cele kształcenia – wykaz umiejętności, jakie ukształtujesz podczas pracy z poradnikiem,
- materiał nauczania – wiadomości teoretyczne niezbędne do osiągnięcia założonych celów kształcenia zawartych w jednostce modułowej,
- zestaw pytań, który pomoże Ci sprawdzić, czy już opanowałeś określone treści,
- ćwiczenia, które pomogą Ci zweryfikować wiadomości teoretyczne oraz ukształtować umiejętności praktyczne,
- sprawdzian postępów,
- sprawdzian osiągnięć, przykładowy – zestaw zadań. Zaliczenie testu potwierdzi opanowanie jednostki modułowej,
- literaturę uzupełniającą.

Gwiazdka oznaczono pytania i ćwiczenia, których rozwiązanie może Ci sprawiać trudności. W razie wątpliwości zwróć się o pomoc do nauczyciela.



Schemat układu jednostek modułowych

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- stosować jednostki układu SI,
- przeliczać jednostki,
- posługiwać się podstawowymi pojęciami z zakresu statyki, dynamiki i kinematyki, takimi jak: masa, siła, prędkość, energia,
- korzystać z różnych źródeł informacji,
- korzystać z poradników i norm,
- użytkować komputer,
- współpracować w grupie,

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- rozróżnić proste przypadki obciążenia elementów konstrukcyjnych,
- rozróżnić rodzaje naprężeń i odkształceń występujące podczas pracy maszyn i urządzeń,
- rozróżnić rodzaje połączeń rozłącznych i nierozłącznych,
- scharakteryzować osie i wały maszynowe,
- scharakteryzować budowę i rodzaje łożysk tocznych i ślizgowych,
- dobrać z katalogu na podstawie oznaczeń łożyska toczne,
- scharakteryzować rodzaje sprzęgieł i ich zastosowanie,
- sklasyfikować przekładnie mechaniczne,
- wyjaśnić budowę przekładni zębatych prostych i złożonych,
- obliczyć przełożenie przekładni,
- określić zastosowanie mechanizmów krzywkowych, korbowych, śrubowych, przekładni śrubowo-tocznej,
- dobrać części maszyn z katalogów,
- sklasyfikować dźwignice i przenośniki oraz określić ich przeznaczenie,
- objaśnić przeznaczenie palet transportowych i wózków,
- posłużyć się dokumentacją techniczną.

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Podstawowe wiadomości z wytrzymałości materiałów

4.1.1. Materiał nauczania

Podział odkształceń i naprężeń

Zadaniem nauki o wytrzymałości materiałów jest rozwiązywanie następujących zagadnień:

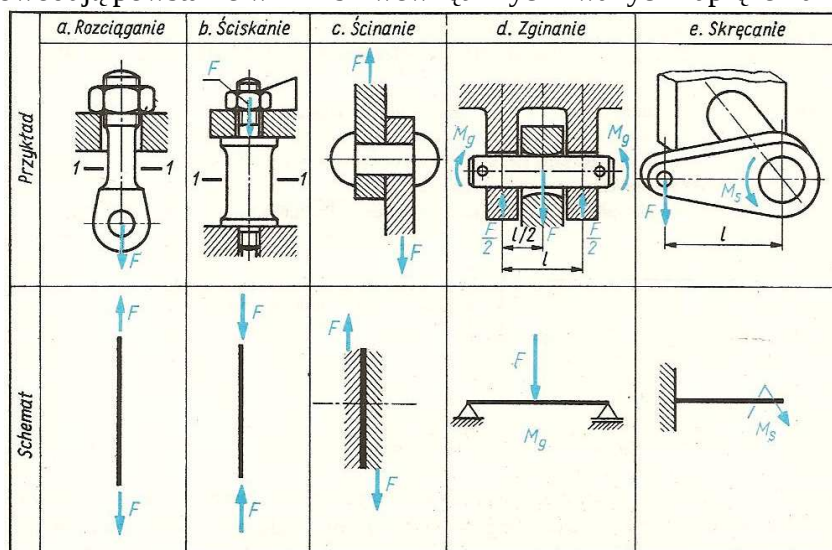
- czy materiały użyte na elementy konstrukcyjne maszyn, urządzeń i budowli w określonych warunkach są w stanie stawiać opór siłom zewnętrznym działającym na nie,
- jakie należy nadawać elementom konstrukcyjnym kształty, jakie dobierać wymiary i materiały do ich wykonania, aby zapewnić założoną w obliczeniach trwałość maszyn, urządzeń i budowli z uwzględnieniem jak największej oszczędności materiałów.

Obliczenia wytrzymałościowe materiałów służą przede wszystkim konstruktorom i architektom, umożliwiając im wybór optymalnej konstrukcji maszyny lub budowli z uwzględnieniem z jednej strony oszczędności stosowanych materiałów, z drugiej zaś warunków bezpieczeństwa.

Materiały stosowane na konstrukcje odznaczają się:

- odkształcalnością, tj. zdolnością do zmian postaci geometrycznej pod wpływem sił zewnętrznych (obciążeń) lub zmian temperatury,
- sprężystością, tj. zdolnością powracania do pierwotnej postaci po usunięciu obciążeń, które spowodowały odkształcenia,
- plastycznością, tj. zdolnością do odkształceń trwałych (plastycznych), czyli takich, które nie znikają po usunięciu obciążeń je wywołujących,
- wytrzymałością, określającą największą wartość obciążenia, po przekroczeniu której następuje zniszczenie elementu konstrukcyjnego lub całej konstrukcji.

Na rysunku 1 przedstawiono typowe rodzaje obciążeń części maszyn: rozciąganie, ściskanie, ścinanie, zginanie i skręcanie. Siły zewnętrzne (obciążenia), działając na element konstrukcyjny, powodują powstanie w nim sił wewnętrznych zwanych naprężeniami.



Rys. 1. Typowe rodzaje obciążeń części maszyn [2].

W zależności od kierunku działania sił zewnętrznych względem przekroju elementu występujące naprężenia dzielimy na:

- naprężenia normalne, wywołane obciążeniem prostopadłym do rozpatrywanego przekroju (rozciąganie, ściskanie, zginanie); obliczamy je wg wzoru:

w którym:

$$\sigma \text{ (sigma)} - \sigma = \frac{F}{S} \quad \begin{array}{l} \text{naprężenia normalne w Pa (MPa),} \\ \text{F – siła} \\ \text{elementu w N,} \\ \text{S – pole powierzchni przekroju w m}^2, \end{array}$$

- naprężenia styczne, wywołane obciążeniem równoległym do rozpatrywanego przekroju (ściananie, skręcanie); obliczamy je wg wzoru:

$$\tau = \frac{F}{S}$$

w którym:

$$\tau \text{ (tau)} - \begin{array}{l} \text{naprężenia styczne w Pa (MPa),} \\ \text{F – siła równoległa względem przekroju obciążanego elementu w N,} \\ \text{S – pole powierzchni przekroju w m}^2. \end{array}$$

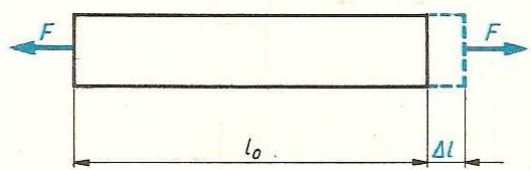
Prawo Hooke'a

Prawo sprężystości Hooke'a (czyt. Huka) pozwala na obliczanie wartości odkształceń sprężystych elementów konstrukcyjnych maszyn i budowli. Prawo to brzmi następująco: materiały pod wpływem obciążenia wydłużają się lub skracają proporcjonalnie do działającej siły, jeżeli tylko wartość tej siły nie przekroczy pewnej granicy, zwanej granicą proporcjonalności. Definicję tę można ująć wzorem (patrz rys. 2):

$$\Delta l = \frac{F \cdot l_0}{S \cdot E}$$

w którym:

Δl – wydłużenie materiału pod działaniem obciążenia w m,
 F – obciążenie w N,
 L – długość pierwotna elementu (przed obciążeniem) w m,
 S – pole przekroju poprzecznego w m²,
 E – moduł sprężystości Younga (czyt. Janga) w Pa (lub w Mpa, 1 MPa, = 10⁶ Pa).



Rys. 2. Wydłużenie materiału podczas rozciągania [2].

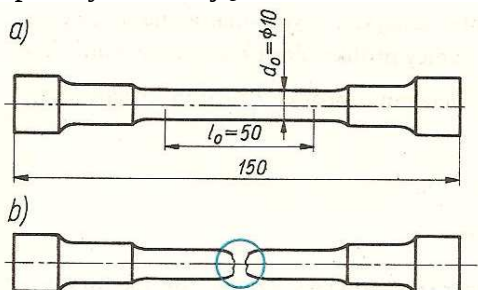
Moduł Younga E określa obciążenie, przy którym element o przekroju poprzecznym 0,0001 m² wydłużyłby się o swoją długość pierwotną przy założeniu, że nie zerwałby się przedtem. Moduł ten jest wielkością charakterystyczną każdego materiału i na przykład dla stali wynosi 200 000 MPa.

Statyczna próba rozciągania

Przy projektowaniu maszyn i budowli niezbędna jest znajomość właściwości materiałów stosowanych na ich konstrukcje. Szczególnie ważne jest zachowanie się materiału pod działaniem różnych obciążeń. Na przykład istotna jest wartość siły, przy której następuje odkształcenie plastyczne materiału lub jego zerwanie. W celu wyznaczenia wartości tej siły

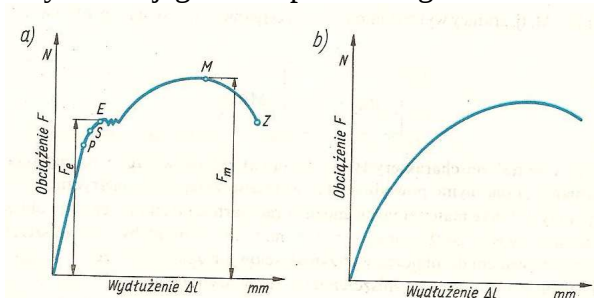
wykonuje się statyczną próbę rozciągania próbki z określonego materiału na specjalnych maszynach wytrzymałościowych, zwanych zrywarkami.

Próbka o znormalizowanym kształcie i wymiarach (rys. 3) umocowana w szczękach zrywarki jest poddawana rozciąganiu. Siłomierz zainstalowany na maszynie umożliwia w każdej chwili odczyt wartości siły, a specjalne urządzenie samopiszące wykreśla na papierze wykres rozciągania w układzie współrzędnych $F - \Delta l$, na podstawie którego możemy wyznaczyć charakterystyczne punkty, określające wielkości zwane granicami.



Rys. 3. Próbka do badania na rozciąganie: a) przed rozciąganiem, b) po zerwaniu na zrywarcie [2].

Na rysunku 4 przedstawiono wykres rozciągania próbki ze stali konstrukcyjnej zwykłej jakości. Pierwsza część wykresu od punktu O do P jest odcinkiem linii prostej nachylonej do osi poziomej pod pewnym kątem. Do punktu P działa prawo Hooke'a, tzn. próbka ulega wydłużeniu proporcjonalnie do działającej siły. Punkt ten określa granicę proporcjonalności. Dla stali granica ta wynosi ok. 200 MPa. Wskutek dalszego zwiększania siły próbka ulega wydłużeniu do punktu S. Wydłużenie wzrasta szybciej niż siła i dlatego wykres zaczyna tworzyć linię krzywą. Gdyby w punkcie S, określającym granicę sprężystości, odjęto nagle siłę rozciągającą, próbka powróciłaby do swojego stanu pierwotnego.



Rys. 4. Wykres rozciągania: a) stali konstrukcyjnej zwykłej jakości (miękkiej), b) metalu kruchego nie wykazującego granicy plastyczności (np. miedzi) [2].

W miarę dalszego rozciągania próbka wydłuża się do punktu E określającego granicę plastyczności, i od chwili tej materiał zaczyna płynąć, tzn. przy niewielkim wzroście siły następuje gwałtowne wydłużenie. Po osiągnięciu granicy plastyczności i po odjęciu siły rozciągającej próbka wykazuje już trwałe odkształcenie plastyczne. Dla rozważanej stali granica ta wynosi około 250 MPa.

Przy dalszym ciągłym zwiększaniu obciążenia wydłużenie wzrasta bardzo szybko i w punkcie M pojawia się przewężenie próbki mniej więcej w połowie jej długości (rys. 3 b). Punkt ten określa wytrzymałość na rozciąganie, tj. graniczną wartość naprężenia, jakie może występować w danym materiale. Próbka ulega zniszczeniu wskutek pojawienia się przewężenia. Dla omawianej stali wytrzymałość na rozciąganie wynosi ok. 600 MPa. Po przekroczeniu tej granicy próbka ulega zerwaniu w punkcie Z.

Na rysunku 4 b przedstawiono wykres rozciągania próbki z metalu kruchego, na przykład miedzi.

Napężenia dopuszczalne

Napężenia powstające w próbce podczas jej rozciągania wyraża się stosunkiem siły do powierzchni przekroju poprzecznego S_0 tej próbki przed rozciąganiem. W każdym charakterystycznym punkcie wartości naprężeń będą inne wskutek ciągłego zwiększania siły i zmniejszania się przekroju próbki.

Dla granicy plastyczności, tj. w punkcie E , napężenia w próbce wynoszą:

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \quad [\text{MPa}]$$

Dla punktu M tj. granicy wytrzymałości na rozciąganie, napężenia w próbce wynoszą:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad [\text{MPa}]$$

Napężenia określone charakterystycznymi punktami na wykresie rozciągania są naprężeniami granicznymi powodującymi widoczne zmiany geometryczne próbki. Dlatego przy doborze materiałów nie można brać wartości tych naprężeń do obliczeń wytrzymałościowych, gdyż elementy z tych materiałów mogłyby ulec zniszczeniu. Przed przystąpieniem do obliczeń wytrzymałościowych zakładamy, że:

- dany element nie może ulec zniszczeniu (warunek wytrzymałości),
- odkształcenia elementu muszą być małe, mieszczące się w granicach sprężystości (warunek sztywności).

Aby spełnić te warunki, przyjmujemy z góry współczynnik bezpieczeństwa n wartości 1,3–12, dzięki któremu otrzymujemy tzw. pewność konstrukcyjną.

Napężenia, które mogą występować w materiale bez obawy naruszenia warunków wytrzymałości i sztywności nazywamy naprężeniami dopuszczalnymi i oznaczamy literą k . Dla różnych odkształceń dodajemy w indeksie odpowiedni wyróżnik, charakteryzujący rodzaj odkształcenia, np.: k_r – napężenia dopuszczalne na rozciąganie, k_c – napężenia dopuszczalne na ściskanie, k_g – napężenia dopuszczalne na zginanie, k_t – napężenia dopuszczalne na ścinanie, k_s – napężenia dopuszczalne na skręcanie.

Napężenia dopuszczalne na rozciąganie obliczamy wg wzorów:

- dla materiałów plastycznych $k_r = \frac{R_m}{n} \quad [\text{MPa}]$
- dla materiałów kruchych $k_r = \frac{R_e}{n} \quad [\text{MPa}]$

Warunek wytrzymałości materiału jest taki, aby napężenia rzeczywiste (normalne σ lub styczne τ) były zawsze mniejsze, a co najwyżej równe naprężeniom dopuszczalnym:

$$\sigma \quad \text{lub} \quad \tau \leq k$$

W obliczeniach wytrzymałościowych przyjmujemy warunek najniekorzystniejszy, to znaczy σ lub τ równe k .

Rozciąganie i ściskanie

Napężenia rozciągające i ściskające są naprężeniami normalnymi, a różnica między nimi polega tylko na przeciwnych zwrotach sił.

Rzeczywiste napężenia występujące w elemencie obliczamy wg wzorów:

$$\text{rozciąganie} \quad \sigma_r = \frac{F}{S} \qquad \text{ściskanie} \quad \sigma_c = \frac{F}{S}$$

Napężenia te nie mogą przekraczać naprężeń dopuszczalnych, a więc musi być spełniony warunek:

$$\sigma_r \leq k_r \quad \text{ i } \quad \sigma_c \leq k_c$$

Ścinanie elementu występuje w wyniku działania dwu sił równoległych o przeciwnych zwrotach, tworzących parę sił (rys. 5). Ramię działania pary sił jest bardzo małe. W przypadku gdyby siły te leżały na wspólnej linii działania, nie wystąpiłoby ścinanie, lecz ściskanie.

Rzeczywiste naprężenia występujące w materiale przy ścinaniu obliczamy wg wzoru:

$$\tau = \frac{F}{S} [\text{MPa}]$$



Rys. 5. Siły występujące podczas ścinia [2].

Aby był spełniony warunek wytrzymałości, naprężenia te muszą być mniejsze lub co najwyżej równe naprężeniom dopuszczalnym na ścinanie:

$$\tau \leq k_t$$

Naprężenia dopuszczalne na ścinanie są mniejsze od naprężeń dopuszczalnych na rozciąganie. Przyjmuje się, że $k_t = 0,5\text{--}0,8 k_r$.

Zginanie

Zginanie najłatwiej można wyjaśnić na przykładzie belki o przekroju prostokątnym, podpartej na obu końcach, na którą działa siła F (rys. 6).

Jeżeli wyobrazimy sobie, że materiał belki składa się z włókien ułożonych warstwami, to podczas zginania ulegają one odkształceniom. Górne włókna są ściskane, dolne zaś rozciągane. Mniej więcej w środku belki włókna nie ulegają ściskaniu ani rozciąganiu i tworzą tzw. warstwę obojętną (oś $x-x$ na rys. 6), w której ulegają one tylko zgięciu, nie zaś odkształceniu (skróceniu lub wydłużeniu), jak w pozostałych przypadkach.

Wskutek odkształceń w materiale powstają naprężenia – w górnej części belki ściskające σ_c w dolnej rozciągające σ_r które proporcjonalnie maleją do 0 w warstwie obojętnej. Na naprężenia zginające σ_g składają się zatem naprężenia ściskające i rozciągające.

Przy obliczeniach naprężeń zginających korzystamy ze wzoru:

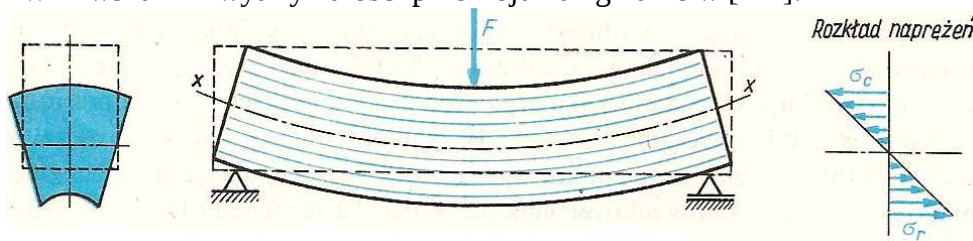
$$\sigma_g = \frac{M_g}{W}$$

w którym:

σ_g – naprężenia zginające w [Pa] (lub w MPa),

M_g – moment zginający w [Nm],

W – wskaźnik wytrzymałości przekroju na zginanie w [m^3].



Rys. 6. Odkształcenie i naprężenia występujące w zginanej belce [2].

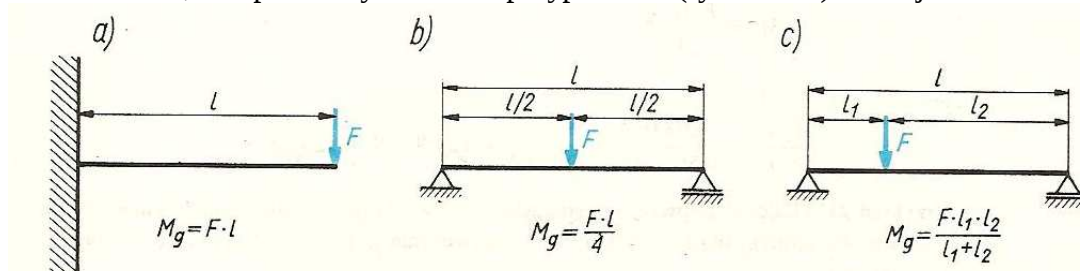
Naprężenia zginające zależą od:

- wartości momentu zginającego M_g ; przy takiej samej sile F , lecz różnych długościach belki wartości σ_g są różne,
- wartości wskaźnika wytrzymałości przekroju na zginanie W ; dla tych samych przekrojów S , lecz różnych ich kształtów i wymiarów wartości σ_g są inne.

Aby zginanie było bezpieczne, musi być spełniony warunek wytrzymałości:

$$\sigma_g \leq k$$

Na rysunku 7 podano typowe przypadki obciążenia belek jedną siłą oraz wzory do określania momentów zginających. Do obliczeń wytrzymałościowych bierzemy momenty zginające maksymalne występujące w danej belce i wyznaczane wg podanych wzorów. Dla przypadku przedstawionego na rysunku 7 a moment maksymalny występuje w miejscu utwierdzenia belki, a w pozostałych dwóch przypadkach (rys. 7 b i c) w miejscu działania siły.



Rys. 7. Typowe przypadki zginania belek [2].

Na naprężenia zginające decydujący wpływ ma także wskaźnik wytrzymałości W przekroju – jak już wspomniano – zależny od kształtu tego przekroju i jego wymiarów. Na rysunku 8 podano kilka typowych kształtów przekrojów poprzecznych belek oraz wzory do obliczania wskaźnika W . Najkorzystniejsze wskaźniki wytrzymałości przekroju na zginanie, z punktu widzenia przenoszenia obciążeń i oszczędności materiałów, mają kształtowniki (na przykład ceowniki, teowniki, kątowniki). Dlatego też są one najczęściej stosowane w budowie maszyn.

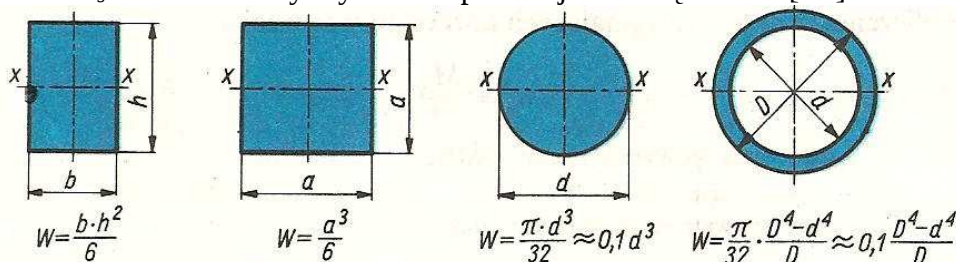
Skręcanie występuje w wyniku przyłożenia pary sił lub siły na ramieniu prostopadle do osi prętów, jak to pokazano na rys. 1e. Para sił lub siła działająca na ramieniu wywołują moment skręcający M_s . Powoduje on obrót względem siebie równoległych przekrojów pręta, wskutek czego włókna równoległe do osi ulegają skręceniu o pewien kąt.

Naprężenia skręcające oblicza się wg wzoru: $\tau_s = \frac{M_s}{W_s}$

w którym: τ_s – naprężenie skręcające w [Pa] (lub w MPa),

M_s – moment skręcający w [N m],

W_s – wskaźnik wytrzymałości przekroju na skręcanie w [m³].



Rys. 8. Typowe kształty przekrojów poprzecznych belek [2].

Wskaźnik wytrzymałości przekroju na skręcanie W_s , podobnie jak wskaźnik W , jest wielkością charakteryzującą kształt i wymiary przekroju skręcanego elementu.

Dla przekroju kołowego:
$$W_s = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \approx 0,2d$$

Dla przekroju pierścieniowego:
$$W_s = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{(D^4 - d^4)}{D} \approx 0,2 \frac{(D^4 - d^4)}{D}$$

Przy obliczaniu wałów na skręcanie, znając prędkość obrotową n obr/min oraz przenoszoną moc P [kW], moment skręcający wyznaczamy wg wzoru:

$$M_s = 9554,1 \frac{P}{n} \text{ [Nm]}$$

Również w przypadku skręcania musi być spełniony warunek wytrzymałości $\tau_s \leq k_s$.

Wytrzymałość zmęczeniowa

Wytrzymałością zmęczeniową materiału nazywamy największą wartość zmiennego naprężenia, przy którym materiał może pracować nieograniczenie długo bez pojawienia się rys zmęczeniowych. Wiadomo z praktyki, że nie wszystkie naprężenia zmienne prowadzą do powstania w materiale pęknięć zmęczeniowych. O powstaniu rys zmęczeniowych decyduje nie tylko zmienność naprężenia, lecz również największa wartość zmiennego naprężenia, które nie może przekraczać wartości granicznej. Każdą nagłą zmianę przekroju części maszyny na przykład wytoczenie, nacięcie, otwór, rowek na klin, gwint itp. oraz nierówności powierzchni na przykład rysa, pęknięcie i tym podobnie nazywa się karbem. W otoczeniu karbu zachodzi spiętrzenie naprężeń, zmniejszające wytrzymałość elementu konstrukcji, szczególnie przy obciążeniach zmiennych lub działających uderzeniowo. Karb jest szczególnie szkodliwy w elementach z materiałów kruchych. Zmniejszenie karbu uzyskuje się przez odpowiednie kształtowanie części (stosowanie łagodnych zmian przekroju), azotowanie itp.

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest wytrzymałość materiału?
2. W jakim celu wykonuje się obliczenia wytrzymałościowe?
3. W jakich przypadkach powstają odkształcenia sprężyste?
4. Co nazywa się plastycznością materiału?
5. Co to są naprężenia dopuszczalne?
6. W jakich jednostkach wyraża się naprężenia dopuszczalne?
7. Jakie rodzaje naprężeń powstają na skutek działania dowolnego rodzaju obciążeń?
8. Co przedstawia prostoliniowa część wykresu na rozciąganie?
9. Co to jest naprężenie rozrywające?
10. Jakie wielkości charakteryzują plastyczność materiału?
11. Jak wpływa temperatura na właściwości wytrzymałościowe materiału konstrukcyjnego?
12. Kiedy występuje czyste zginanie?
13. Co nazywamy osią obojętną belki?
14. Co rozumiemy przez wskaźnik wytrzymałości przekroju na zginanie?
15. Jaki jest warunek wytrzymałości na zginanie?
16. Jakie czynniki decydują o wytrzymałości zmęczeniowej?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wyznacz wartość naprężenia dopuszczalnego dla stali 45(C45) w stanie normalizowanym, jeżeli części wykonane z wymienionego gatunku stali będą pracowały przy obciążeniach rozciągająco-ściskających.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie, powinien:

- 1) przyjąć wytrzymałość na rozciąganie na podstawie danych tabelarycznych z literatury,
- 2) przyjąć do obliczeń współczynnik bezpieczeństwa $x = 3,5 \div 4$,
- 3) wykonać obliczenia wartości dopuszczalnych naprężeń dla stali 45.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyty,
- Polskie Normy,
- literatura.

Ćwiczenie 2

Sprawdź wytrzymałość na skręcanie wrzeciona tokarki, obracającego się z prędkością minimum 31,5 obr/min., gdy średnica jego wynosi 55 mm, moc obrabiarki $P = 3$ kW, a dopuszczalne naprężenia na skręcanie materiału wrzeciona $k_s = 36$ MPa.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinien:

- 1) odszukać wzory,
- 2) obliczyć moment obrotowy wrzeciona,
- 3) wyznaczyć wartość wskaźnika wytrzymałości W_s ,
- 4) obliczyć wartość naprężenia skręcającego,
- 5) porównać wartość naprężenia skręcającego z wartością naprężeń dopuszczalnych k_s ,
- 6) zapisać wyniki:

$M = \dots\dots\dots \text{Nm},$

$W = \dots\dots\dots \text{m}^3,$

$\sigma_s = \dots\dots\dots \text{N/m}^2.$

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Polskie normy,
- Poradnik mechanika,
- tablice wytrzymałościowe,
- literatura.

Ćwiczenie 3

Określ wielkości charakteryzujące właściwości plastyczne materiału.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienś:

- 1) złożyć zerwaną próbkę,
- 2) zmierzyć długość próbki po zerwaniu L_u ,
- 3) zmierzyć średnicę próbki w miejscu rozerwania,
- 4) obliczyć przekroje próbki S_o i S_u ,
- 5) obliczyć wydłużenie względne A [%],
- 6) obliczyć przewężenie próbki Z [%],
- 7) porównać wyniki z tabelami właściwości plastycznych w Poradniku mechanika.

Wyposażenie stanowiska:

- zerwana próbka,
- suwmiarka,
- kalkulator,
- Poradnik mechanika,
- literatura.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

Tak **Nie**

- 1) obliczyć naprężenia dopuszczalne?
- 2) zdefiniować rodzaje obciążeń?
- 3) zdefiniować plastyczność materiału?
- 4) określić rodzaje naprężeń wywołanych różnymi obciążeniami?
- 5) opisać punkty charakterystyczne wykresu rozciągania?
- 6) odróżnić wykres rozciągania dla materiału plastycznego od wykresu dla materiału kruchego?
- 7) określić podstawowe wielkości wytrzymałościowe uzyskane na podstawie wykresu?
- 8) zdefiniować pojęcie wytrzymałości zmęczeniowej?
- 9) wyjaśnić, do jakich materiałów stosuje się próbę ściskania?
- 10) określić ogólny warunek wytrzymałości elementu konstrukcyjnego?

4.2. Połączenia

4.2.1. Materiał nauczania

Maszyną nazywamy urządzenie, które składa się zwykle z kilku mechanizmów we wspólnym kadłubie, których zadaniem jest przenoszenie określonych ruchów i sił, co prowadzi do wykonania pracy użytecznej lub przekształcania energii. Każdy z tych mechanizmów składa się z elementów nazywanych częściami maszyn spełniających w nim różne funkcje robocze. Części maszyn można podzielić na: części spoczynkowe, gdy skojarzone elementy pozostają względem siebie w stanie spoczynku (np. śruby, nity, kołki); części ruchowe, tj. części przesuwne (o ruchu prostoliniowym) i obrotowe (np. osie, wały); części przenoszące napęd (np. wały, sprzęgła, hamulce, przekładnie).

Od jakości części zależą własności użytkowe maszyn. Dlatego części powinny odznaczać się następującymi cechami: wytrzymałością, dokładnością wykonania, technologicznością i zamiennością.

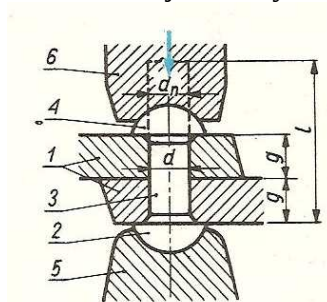
Połączenia służą do powiązania elementów maszyny w całość. Ogólnie dzieli się na: nierozłączne i rozłączne.

Połączenia nierozłączne to takie, których elementy przy ich rozłączaniu ulegają zniszczeniu. Należą do nich połączenia: nitowe, spawane, zgrzewane, lutowane, klejowe i wciskowe.

Połączenia rozłączne to takie, które można wielokrotnie rozłączyć bez uszkodzania elementów. Należą do nich połączenia: gwintowe, wpustowe, wielowypustowe, kołkowe, sworzniowe i klinowe. Ponadto połączenia dzieli się na spoczynkowe i ruchowe.

Połączenia nitowe są zaliczane do połączeń spoczynkowych. Połączenie blach lub kształtowników za pomocą nitów polega na skojarzeniu otworów wykonanych w wymienionych elementach o średnicy nieco większej niż średnica trzonu nitu. Po włożeniu nitów w otwory następuje ich zamykanie (ręcznie lub maszynowo), dzięki któremu uzyskuje się odpowiednie ukształtowanie zakuwki 4 (rys. 9). Ze względu na ruch narzędzia nitującego (zakuwnika) rozróżniamy dwa podstawowe sposoby nitowania: osiowe i promieniowe (wahającym zakuwnikiem).

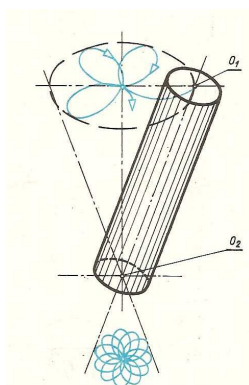
Nitowanie osiowe (rys. 9) jest sposobem tradycyjnym, do niedawna powszechnie stosowanym. Ma tę wadę, że uderowe działanie siły osiowej często powoduje pęknięcie materiału zakuwki. Poza tym nitowanie takie nie zapewnia odpowiedniej szczelności połączenia i dlatego niektóre nity należy dodatkowo doszczelniać przez dobijanie łba i zakuwki nita oraz krawędzi łączonych blach. Sposób ten stosuje się do ręcznego i maszynowego nitowania dużych i ciężkich elementów, na przykład konstrukcji stalowych, poszyc statków czy mostów.



Rys. 9. Zamykanie nitu: 1) łączone blachy, 2) łeb nitu, 3) trzon, 4) zakuwka, 5) wspornik, 6) zakuwnik [2].

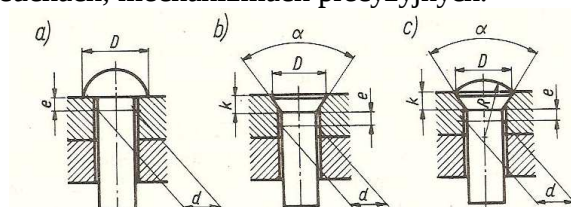
Nitowanie promieniowe (rys. 10) jest znacznie korzystniejsze i coraz powszechniej stosowane. Jeden koniec (O_1) zakuwnika jest umocowany we wrzecionie maszyny, drugi zaś –

swobodny, odpowiednio ukształtowany – (O_2) wykonuje ruch po rozecie, rozwalcowując jednocześnie nit.

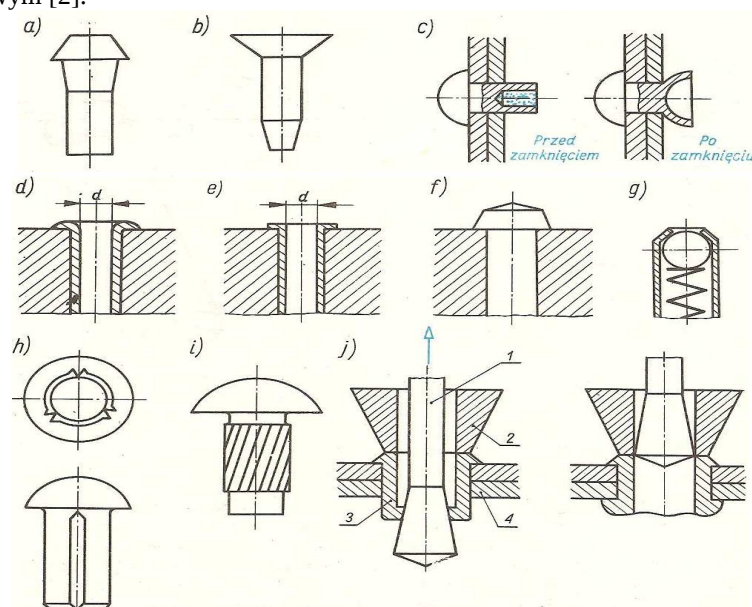


Rys. 10. Schemat nitowania wahającym stemplem (zakuwnikiem) [2].

Dzięki temu operacja kształtowania plastycznego zakuwki odbywa się łagodnie i przy użyciu znacznie mniejszych sił. Dlatego sposób ten stosuje się do nitowania elementów precyzyjnych, kruchych oraz w przypadku konieczności uzyskania odpowiedniej szczelności i estetyki połączenia, np. w elektronice, narzędziach rzemieślniczych, przyrządach pomiarowych, łańcuchach, mechanizmach precyzyjnych.



Rys. 11. Nity normalne: a) z łbem kulistym (D, d, e – charakterystyczne wymiary, b) z łbem płaskim, c) z łbem soczewkowym [2].



Rys. 12. Nity specjalne: a) okrętowy, b) pasowy, e) wybuchowy, d, e) rurkowe, f, g) zamknięcia łbów metodą promieniową, h) nitokółek karbowy, i) nitokółek radełkowany, j) nitowanie metodą Choberta [2].

Nitowanie odbywa się na zimno lub na gorąco. Na zimno zakuwa się łby z metali nieżelaznych oraz stalowe o średnicy do 9 mm. Przy zakuwaniu na gorąco należy przewidzieć większą średnicę otworu ($d \geq 1,1 d_n$) w łączonych elementach – ze względu na rozszerzalność temperaturową nitu.

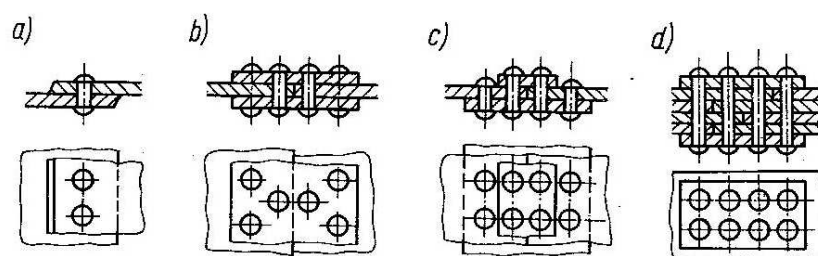
Rozróżnia się:

- nity normalne z łbami: kulistym (rys. 11 a), płaskim (rys. 11 b), soczewkowym (rys. 11 c), grzybkowym i trapezowym,
- nity specjalne (rys. 12).

Nity specjalne charakteryzują się ogromną różnorodnością ze względu na ukształtowanie zakuwki oraz przeznaczenie. Nity wybuchowe (rys. 12 r), nitokołki (rys. 12 h, i) oraz nity Choberta (czy. Szoberta) stosuje się do takich połączeń, w których dostęp z jednej strony jest niemożliwy – z tym że nity wybuchowe stosuje się do połączeń mocno obciążonych, nitokołki zaś do połączeń przenoszących niewielkie siły (np. do mocowania tabliczek informacyjnych).

Nitowanie metodą Choberta (rys. 12 j) polega na tym, że do otworu wkłada się nit 3 wraz z trzpieniem 1 i po dociśnięciu dociskaczem 2 kołnierza nitu do łączonych elementów 4 przeciąga się trzpień 1 przez nit, powodując jego odkształcenie i trwałe połączenie elementów.

Najczęściej spotykane rodzaje połączeń nitowych przedstawiono na rys. 13. Nity w tych połączeniach mogą występować jako jednokrotnie cięte (jedna płaszczyzna cięcia – rys. 13 a) oraz wielokrotnie cięte (kilka płaszczyzn cięcia – rys. 13 b, c, d).



Rys. 13. Rodzaje połączeń nitowych: a) połączenie zakładkowe – nity jednokrotnie cięte, b–d) połączenia nakładkowe – nity wielokrotnie cięte [2].

Wytrzymałość połączeń nitowych oblicza się przeważnie na ścinanie wg wzoru:

$$\tau = \frac{F}{n \cdot S \cdot m} \leq k_t$$

w którym:

n – liczba nitów,

m – liczba ścinanych przekrojów w jednym nicie,

$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ – przekrój poprzeczny nitu.

Połączenia spawane w budowie maszyn występują najczęściej. W odróżnieniu od nitowania podczas spawania do obszaru łączenia elementów konieczne jest doprowadzenie ciepła.

Spawanie polega na łączeniu metali przez ich miejscowe stopienie, dzięki czemu cząsteczki metali wzajemnie do siebie przenikają. Rozróżniamy spawanie: gazowe, elektryczne i termitowe.

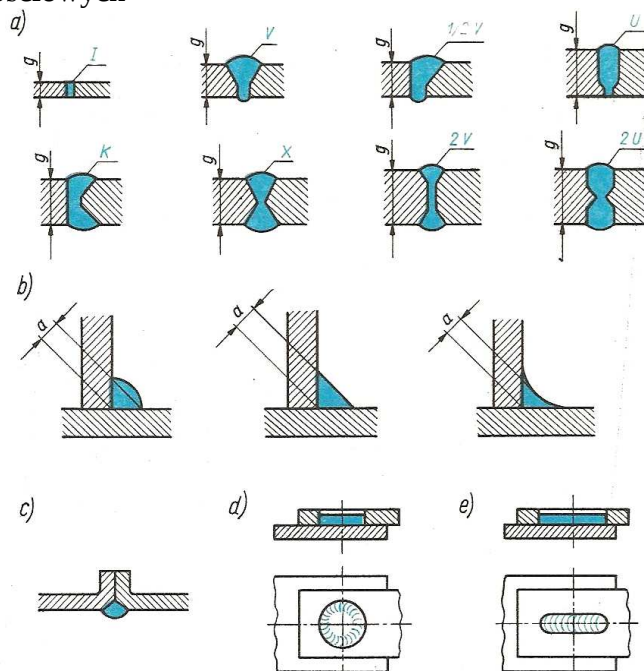
Spawanie gazowe, najczęściej acetylenowo-tlenowe, jest stosowane do łączenia cienkich blach.

Najbardziej rozpowszechnione w przemyśle maszynowym jest spawanie elektryczne. Może odbywać się ono przy użyciu elektrody topliwej lub nietopliwej. Podczas spawania elektrodą topliwą następuje jej stapianie, w wyniku czego wraz z materiałem po zakrzepnięciu tworzy ona spoinę. Spośród metod spawania elektrodą topliwą należy wymienić spawanie: elektrodą otuloną, łukiem krytym (pod warstwą topnika), w osłonie gazów obojętnych, na przykład argonu, dwutlenku węgla CO₂. Spawanie w osłonie CO₂ jest coraz częściej

stosowane w budowie maszyn ze względu na możliwość automatyzacji i dużą efektywność procesu. Podczas spawania elektrodą nietopliwą (węglową lub wolframową) nie ulega ona stapianiu; służy tylko do podtrzymywania łuku elektrycznego. Natomiast spoiwo jest dostarczane w postaci drutów z materiałów odpowiednich do materiałów łączonych elementów.

Spawanie termitowe jest stosowane do łączenia elementów o dużych przekrojach, np. szyn tramwajowych. Spoiwem jest tzw. żelazo termitowe, otrzymywane w stanie ciekłym w procesie spalania mieszaniny sproszkowanych tlenków żelaza i aluminium.

Typowe rodzaje spoin wraz z ich oznaczeniami przedstawiono na rysunku 14. Spoiny połączeń narażonych na działanie znacznych obciążeń dobiera się na podstawie obliczeń wytrzymałościowych



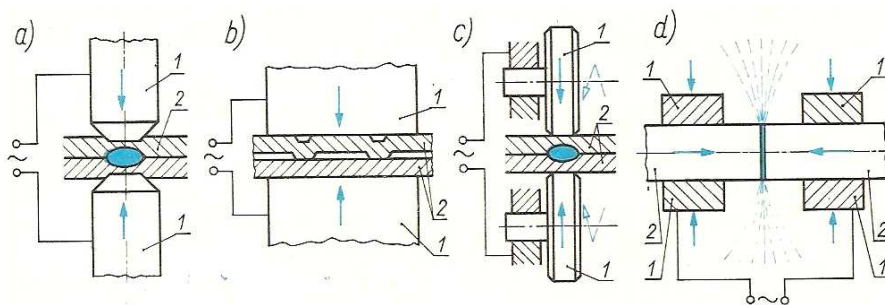
Rys. 14. Rodzaje spoin i ich oznaczenia: a) czołowe, b) pachwinowe: wypukła, płaska i wklęsła, c) grzbietowa (krawędziowa), d) otworowa, e) szczelinowa [2].

Połączenia zgrzewane polegają na nagraniu elementów z metali w łączonych miejscach do stanu plastyczności i silnym dociśnięciu ich do siebie. Nagrzewanie odbywa się w różny sposób i w związku z tym rozróżnia się zgrzewanie: kuźnicze, gazowe, oporowe oraz tarciove.

Podczas zgrzewania kuźniczego łączone elementy nagrzewa się w ognisku kowalskim, a podczas zgrzewania gazowego – palnikiem acetylenowo-tlenowym.

Najbardziej powszechne w przemyśle maszynowym jest zgrzewanie oporowe. Polega ono na wywołaniu przepływu prądu elektrycznego przez elektrody i łączone elementy. Wskutek dużego oporu (rezystancji) w miejscach łączonych wytwarza się ciepło, powodujące uplastycznienie materiału, a elektrody jednocześnie dociskają elementy do siebie. Rozróżniamy następujące metody zgrzewania oporowego: punktowe, garbowe, liniowe i doczołowe (rys. 15).

Zakres stosowania zgrzewania oporowego, zwłaszcza punktowego i liniowego, jest stosunkowo niewielki, ponieważ tymi sposobami można zgrzewać elementy o maksymalnej grubości rzędu kilku mm. Zgrzewanie punktowe stosuje się w przypadku, gdy złącze nie wymaga szczelności, liniowe zaś tam, gdzie szczelność jest niezbędna np. w zbiornikach na paliwo.

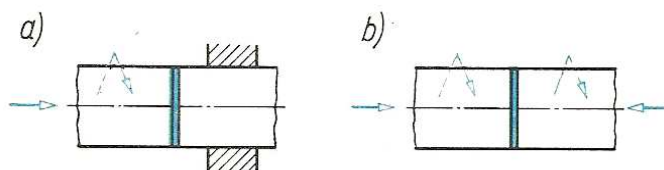


Rys. 15. Metody zgrzewania oporowego: a) punkowego, b) garbowego, c) liniowego, d) doczołowego, 1) elektrody, 2) łączone elementy [2].

Większe możliwości zastosowań stwarza zgrzewanie garbowe (rys. 15 b). W jednym z łączonych elementów, przez które przepływa prąd, wykonuje się przetłoczenia – tzw. garby. W wyniku docisku płaskich elektrod następuje spłaszczenie garbów, wskutek czego zgrzeina upodabnia się do zgrzeiny punktowej. W porównaniu ze zgrzewaniem punkowym zgrzewanie garbowe ma następujące zalety: w jednej operacji można wykonać więcej zgrzein (nawet 8–10), większa jest trwałość elektrod (ze względu na stosowanie mniejszych nacisków). Ponadto zgrzeiny powstają w miejscach z góry określonych.

Zgrzewanie doczołowe polega na łączeniu płaszczyzn czołowych elementów (rys. 15 d). Doczołowo zgrzewa się np. część skrawającą noża tokarskiego (wykonaną z bardzo drogiej stali szybko tnącej) z częścią chwytową (z tańszej stali konstrukcyjnej).

Zgrzewanie oporowe jest metodą bardzo wydajną, lecz drogą ze względu na duże zapotrzebowanie na energię elektryczną. Dlatego coraz częściej jest stosowane zgrzewanie tarciove (rys. 16).



Rys. 16. Schemat zgrzewania tarciovego: a) na zasadzie obracającego się jednego elementu, b) na zasadzie obracających się dwóch elementów w przeciwnych kierunkach [2].

Zgrzewanie tarciove polega na łączeniu elementów dzięki ciepłu powstającemu wskutek tarcia. Jednemu (rys. 16 a) lub obydwu łączonym elementom (rys. 16 b) nadaje się dużą prędkość obrotową i dociska do siebie łączone elementy. W ten sposób łączy się m. in. części robocze i chwytowe narzędzi skrawających (wiertel, rozwiertaków, pogłębiaczy).

Połączenia lutowane

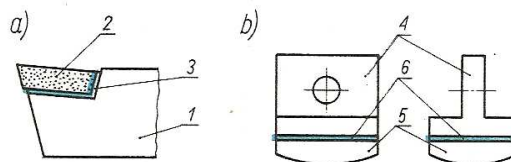
Podczas lutowania nie zachodzi zjawisko nadtopiania materiałów łączonych elementów, lecz zwilżanie powierzchni roztopionym lutem, który dyfunduje w głąb materiałów. Zatem temperatura topnienia lutu musi być niższa od temperatury topnienia łączonych materiałów.

Ze względu na zakres temperatur rozróżnia się lutowanie:

- lutami miękkimi, których temperatura topnienia wynosi poniżej 500°C,
- lutami twardymi, których temperatura topnienia jest większa niż 500°C.

Jako lutów miękkich używa się cyny, stopów cynowo-kadmowych i cynowo-ołowiowych. Luty te są stosowane do połączeń nie przenoszących większych obciążeń, a więc do łączenia przewodów elektrycznych, uszczelniania rur, robót blacharskich, powlekania końcówek przewodów elektrycznych itd. Lutowanie lutem miękkim odbywa się za pomocą lutownic, palników lub przez zanurzanie w ciekłym lucie.

Jako lutów twardych używa się miedzi lub jej stopów (mosiądz, brąz), cynku, srebra i stopów srebra z miedzią. Są one stosowane do połączeń przenoszących znaczne obciążenia, np. w przypadku narzędzi skrawających (rys. 17 a), styków urządzeń elektrycznych (rys. 17 b). Luty twarde można topić za pomocą palników acetylenowo-tlenowych, lamp lutowniczych, w piecach, zgrzewarkach i kąpielach solnych.



Rys. 17. Przykłady lutowania lutem twardym: a) nakładki z węglików spiekanych do noża tokarskiego, b) styku urządzenia elektrycznego, 1) nóż tokarski, 2) nakładka z węglików spiekanych, 3) lutownia miedziana, 4) styk elektryczny, 5) nakładka stykowa, 6) lutownia srebrna [2].

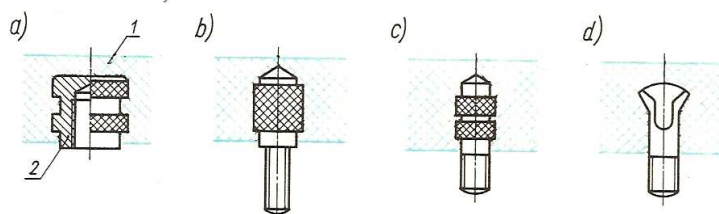
Przed lutowaniem powierzchnie łączonych elementów powinny być oczyszczone mechanicznie (palnikiem, papierem ściernym) lub chemicznie (kwasem solnym, wodą lutowniczą). W celu zwiększenia przyczepności lutu i zapobieżenia utlenianiu łączonych powierzchni używa się topników, np. kalafonii lub boraksu.

Połączenia otrzymywane przez klejenie i zaprasowywanie

Wraz z rozwojem chemii coraz częściej są ostatnio stosowane połączenia klejowe. Ich otrzymywanie nie wymaga wytworzenia wysokich temperatur, specjalnych urządzeń i narzędzi. Ponadto spośród zalet należy wymienić odporność takich połączeń na korozję, zdolność tłumienia drgań, właściwości izolacyjne, możliwość klejenia metali z niemetalami. Niejednokrotnie wytrzymałość połączeń klejowych jest większa niż otrzymywanych innymi sposobami. Powierzchnie przed klejeniem muszą być odpowiednio przygotowane, a przede wszystkim odtłuszczone i w miarę gładkie. Wiąże się to ze wzrostem kosztów, co stanowi istotną wadę tego sposobu wykonywania połączeń.

Do klejenia używa się żywic epoksydowych, fenolowych, polimerów winylu, kauczuków i innych materiałów.

Połączenia przez zaprasowywanie są stosowane przeważnie w wypraskach z tworzyw sztucznych w celu zwiększenia odporności połączenia na obciążenia. Najczęściej dotyczy to metalowych łączników gwintowych, gwint bowiem wykonany bezpośrednio w tworzywie sztucznym nie może przenosić zbyt dużych sił ze względu na niską wytrzymałość tworzyw. Aby zabezpieczyć zapraski (np. metalowe wkręty) przed obrotem, gdy działa nań moment skręcający, ich powierzchnie są radełkowane (rys. 18 a–c) lub odpowiednio ukształtowane (rys. 18 d).

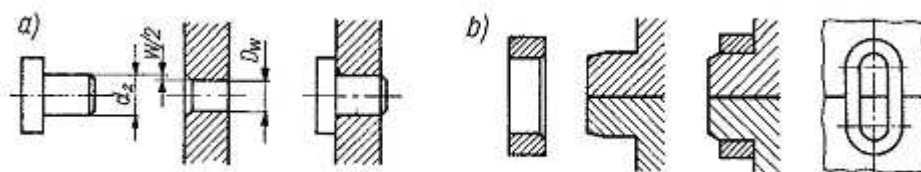


Rys. 18. Metalowe łączniki gwintowe zaprasowane w tworzywie sztucznym: 1) wypraska z tworzywa sztucznego, 2) metalowy łącznik [2].

Połączenia wciskowe są w zasadzie nierozłączne. Powstają dzięki odkształceniom sprężystym materiałów w wyniku wciśnięcia części wewnętrznej o większym wymiarze w część zewnętrzną o wymiarze mniejszym. Przy montażu połączenia powstają odkształcenia

sprężyste wywołujące docisk na powierzchniach styku. Dzięki temu jest możliwe przenoszenie obciążeń przez to połączenie (siły wzdłużnej lub momentu skręcającego).

Połączenia wciskowe należą do połączeń spoczynkowych bezpośrednich lub pośrednich (rys. 19).



Rys. 19. Połączenia wciskowe: a) bezpośrednie, b) pośrednie [8].

Rozróżnia się połączenia wciskowe:

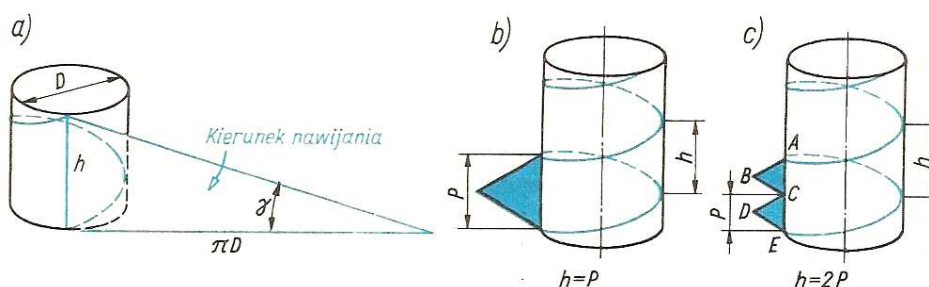
- wtlaczane, uzyskiwane przez wzajemne wtlaczanie na zimno łączonych elementów o jednakowym wymiarze nominalnym, lecz o odpowiednio dobranych tolerancjach;
- skurczowe, uzyskiwane przy kojarzeniu elementów o różnych, lecz zbliżonych wymiarach nominalnych – dzięki skurczowi jednego z nich.

Połączenie skurczowe można otrzymać w wyniku ogrzania części zewnętrznej; oziębienia części wewnętrznej lub zastosowania obu tych sposobów jednocześnie. Wskutek ogrzania części zewnętrznej, np. w piecu elektrycznym, następuje zwiększenie jej wymiarów (średnicy otworu) i można wtedy swobodnie nasunąć ją na część wewnętrzną (wałek). W wyniku oziębienia części wewnętrznej (wałka) jej wymiary ulegają zmniejszeniu, lecz po umieszczeniu w części zewnętrznej w temperaturze otoczenia część wewnętrzna powraca do pierwotnych wymiarów i powstaje połączenie.

Zaletami połączeń wciskowych są: prostota i łatwość wykonania, brak elementów pomocniczych, zachowanie współosiowości, możliwość przenoszenia dużych obciążeń. Wadami tych połączeń są: konieczność bardzo dokładnego wykonania łączonych elementów, duże naprężenia montażowe, zależność wytrzymałości połączeń od temperatury pracy.

Połączenia wciskowe często stosuje się na przykład podczas osadzania łożysk ślizgowych.

Połączenia gwintowe powszechnie stosowane w budowie maszyn należą do połączeń rozłącznych. Powstają przez skojarzenie części zewnętrznej (nakrętki) z częścią wewnętrzną (śrubą), które współpracują ze sobą powierzchniami śrubowymi.



Rys. 20. Powstawanie linii śrubowej i gwintu: a) linia śrubowa prawoskrętna, b) gwint zewnętrzny pojedynczy, c) gwint zewnętrzny dwukrotny [2].

Linie śrubową otrzymuje się przez nawinięcie na walcu o średnicy D trójkąta prostokątnego o podstawie πD ($2\pi r$) i wysokości h (rys. 20 a), powstaje w ten sposób tzw. gwint, tor punktu poruszającego się po linii śrubowej nazywa się zarysem gwintu.

Podstawowymi parametrami linii śrubowej są skok h oraz kąt pochylenia linii śrubowej γ (rys. 20 a), obliczany z zależności:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{h}{\pi \cdot D}$$

Klasyfikacja gwintów

W zależności od kierunku nawijania linii śrubowej rozróżnia się:

- gwinty prawozwójne – o kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu wskazówek zegara (rys. 20 a),
- gwinty lewoswójne – o kierunku przeciwnym kierunkowi ruchu wskazówek zegara.

Wielkością charakterystyczną gwintu jest jego skok P (rys. 20 b), będący odległością między odpowiadającymi sobie sąsiednimi punktami zarysu gwintu. Jeżeli skok linii śrubowej h odpowiada skokowi gwintu P , to gwint taki nazywa się pojedynczym, gdy zaś stanowi krotność skoku gwintu – wielokrotnym (np. dwukrotny – patrz rys. 20 c).

Gwinty mają różne zarysy i z tego względu dzieli się je na następujące podstawowe rodzaje:

- gwinty metryczne (rys. 21 a) o zarysie trójkątnym i kącie rozwarcia $\alpha = 60^\circ$, oznaczane symbolem M (np. gwint o średnicy $\Phi 12 - M12$),
- gwinty calowe walcowe (rys. 20 b) o zarysie trójkątnym, lecz o zaokrąglonych wierzchołkach, i kącie rozwarcia $\alpha = 55^\circ$, których wymiary należy wyrażać w mm (jednostka 1 cal nie należy do jednostek układu SI) i oznaczać symbolem G ; gwinty te są stosowane w hydraulice, urządzeniach sanitarnych i wodnokanalizacyjnych,
- gwinty trapezowe symetryczne (rys. 20 c) o zarysie trapezowym i kącie rozwarcia $\alpha = 30^\circ$, oznaczane symbolem Tr , np. $Tr 40 \times 6$; gwinty te są stosowane do połączeń silnie obciążonych (śruby pociągowe obrabiarek),
- gwinty trapezowe niesymetryczne (rys. 21 d) o zarysie trapezowym niesymetrycznym (jeden bok trapezu jest pochylony pod kątem 30° , a drugi – 3°), oznaczane symbolem S , np. $S 48 \times 8$; gwinty te są stosowane w konstrukcjach silnie obciążonych (prasach ciernych), w których siły działają z jednej strony,
- gwinty okrągłe (rys. 21 e) o zaokrąglonym zarysie, oznaczane symbolem Rd (wymiar – średnicę i skok gwintu – obok symbolu należy podawać w mm); gwinty te są stosowane w połączeniach narażonych na gwałtowne obciążenia uderowe oraz pracujących w niekorzystnych warunkach powodowanych zanieczyszczeniem i korozją, na przykład w zaczepach wagonowych; gwinty okrągłe stosuje się także w elektrotechnice – pod nazwą gwintów Edisona – w oprawkach żarówek,
- gwinty prostokątne (rys. 21 f) – coraz rzadziej stosowane i zastępowane gwintami trapezowymi.

Gwinty trójkątne metryczne i calowe mogą być zwykłe lub drobnozwojne.

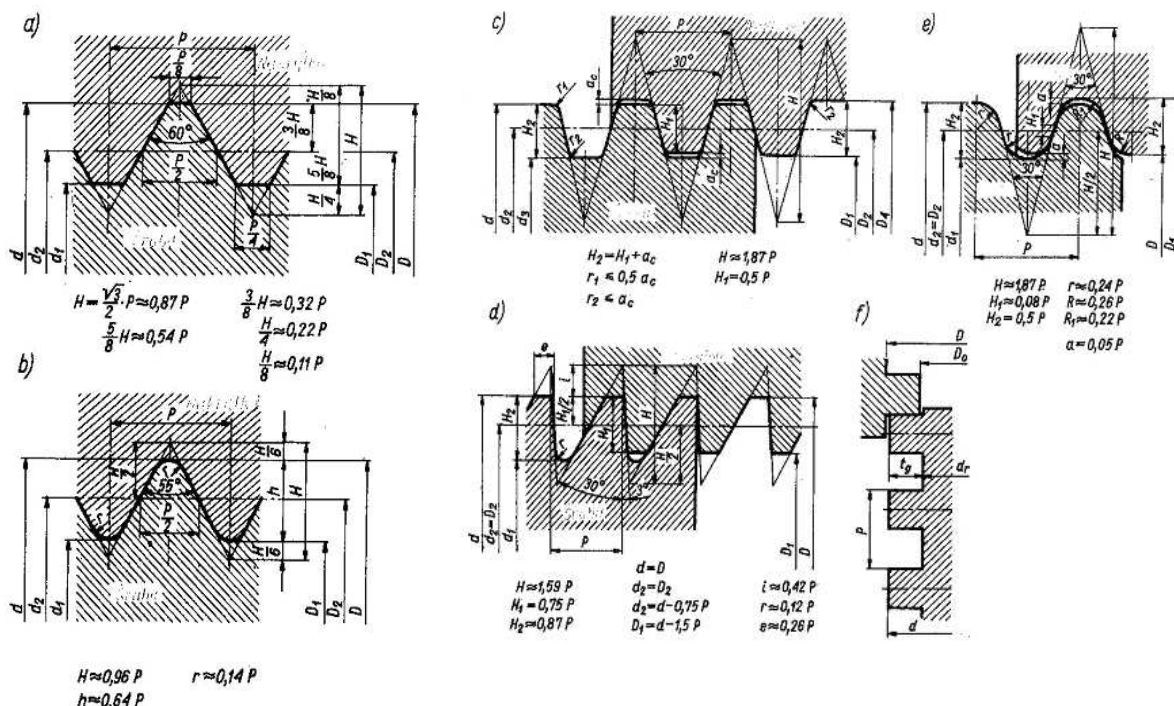
W oznaczeniach gwintów zwykłych nie podaje się ich skoku P , gdyż jest on już z góry określony, np. $M16$ (gwint metryczny o średnicy 16 mm i skoku 2 mm). W oznaczeniach gwintów drobnozwojnych należy podać dodatkowo skok gwintu, np. $M16 \times 1$.

Podstawowymi parametrami gwintów (rys. 21) są:

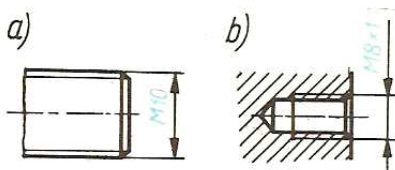
- d – średnica nominalna (zewnętrzna) gwintu śruby,
- D – średnica zewnętrzna gwintu nakrętki,
- d_1 – średnica rdzenia śruby,
- d_2 – średnica podziałowa śruby,
- D_1 – średnica otworu nakrętki,
- H – teoretyczna wysokość zarysu gwintu,
- H_g – rzeczywista wysokość gwintu; $H_g = 0,5 (d - d_1)$,
- H_n – wysokość nośna gwintu; $H_n = 0,5 (d - D_1)$; jest to długość linii styku śruby z nakrętką,
- P – skok gwintu,
- D_2 – średnica podziałowa nakrętki.

Średnice podziałowe tych samych gwintów – zewnętrznego i wewnętrznego – są sobie równe ($d_2 = D_2$).

Na rysunkach śruby wymiaruje się przez podanie średnicy zewnętrznej gwintu d (rys. 22 a), a nakrętki – średnicy wewnętrznej gwintu D (rys. 22 b).



Rys. 21. Zarysy gwintów: a) metrycznego, b) walcowego, c) trapezowego symetrycznego, d) trapezowego niesymetrycznego, e) okrągłego, f) prostokątnego [2].



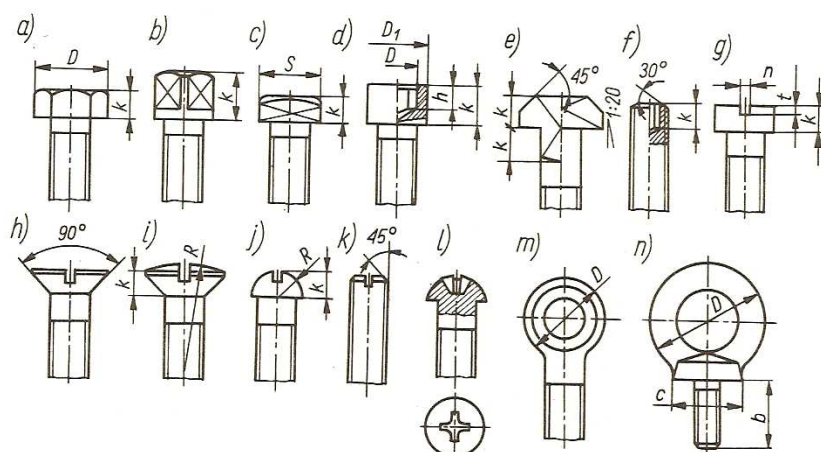
Rys. 22. Wymiarowanie średnicy gwintu: a) zewnętrznego, b) wewnętrznego [2].

Łączniki gwintowe mogą być znormalizowane lub wykonane jako specjalne. Dzieli się je na: śruby, wkręty i nakrętki.

Śruby mają odpowiednio ukształtowany łeb pasujący do klucza maszynowego. Wymiary łbów (rys. 23 d–f) są uzależnione od wielkości gwintów.

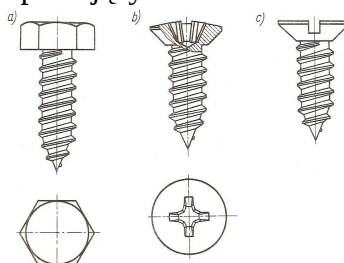
Wkręty różnią się od śrub tym, że mają łby z naciętym rowkiem (rys. 23 g–i), służącym do przykręcania ich wkrętakiem.

Odrębną grupę łączników stanowią śruby i wkręty samogwintujące (rys. 24), charakteryzujące się tym, że podczas wkręcania ich w elementy łączone – z przygotowanymi uprzednio otworami o odpowiednio mniejszej średnicy – gwintują je, tworząc jednocześnie połączenie gwintowe. Bardzo często są one stosowane w przemysłach: motoryzacyjnym, meblowym i elektromaszynowym.

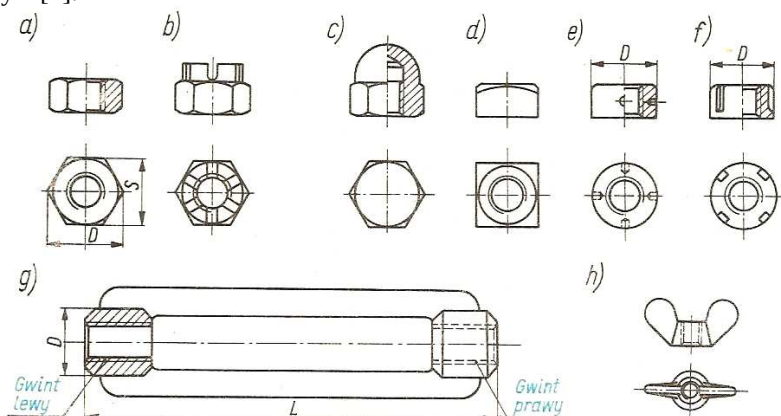


Rys. 23. Łby śrub (a–f, i, m, n) i wkrętów (g–l): a) sześciokątny, b) czworokątny wieńcowy, c) czworokątny, d) walcowy z gniazdem sześciokątnym, e) młoteczkowy, f) z gniazdem sześciokątnym, g) walcowy, h) stożkowy, i) soczewkowy, j) kulisty, k) bez łba, l) z gniazdem krzyżowym, m) pierścieniowy, n) z uchem [2].

Nakrętki są elementami współpracującymi ze śrubami i wkrętami (rys. 25).

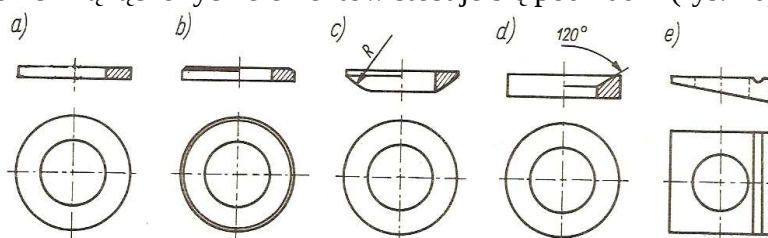


Rys. 24. Wkręty samogwintujące z łbem: a) sześciokątny, b) soczewkowy z wgłębieniem krzyżowym, c) stożkowy [2].



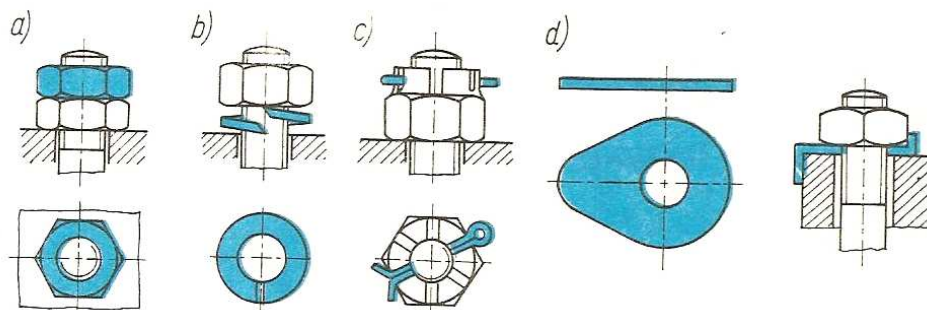
Rys. 25. Nakrętki: a) sześciokątna, b) koronowa, c) kapturkowa, d) czworokątna, e) okrągła otworowa, f) okrągła rowkowa, g) napinająca (rzymska), h) skrzydełkowa (motylkowa) [2].

W celu zmniejszenia nacisku powierzchniowego między łbem śruby, łbem wkręta lub nakrętką a powierzchnią łączonych elementów stosuje się podkładki (rys. 26).



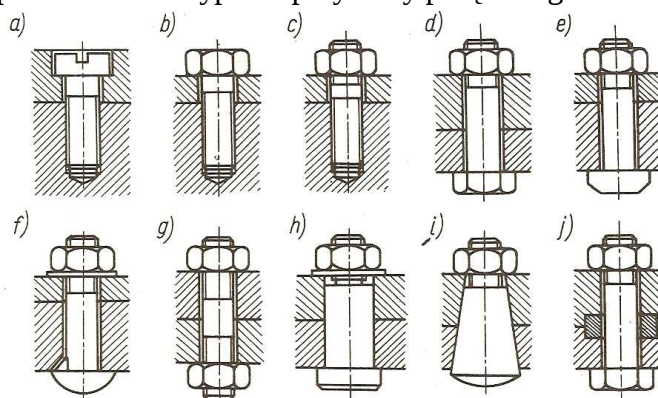
Rys. 26. Podkładki: a) zgrubna, b) dokładna, c) kulista wypukła, d) stożkowa, e) klinowa [2].

Na skutek wstrząsów i drgań, przenoszonych przez niektóre łączniki gwintowe, istnieje możliwość ich luzowania. W celu wyeliminowania tego zjawiska łączniki powinny być ustalane za pomocą podkładek sprężystych, zawleczek itp. (rys. 27). Łączniki gwintowe można także zabezpieczyć przed odkręceniem przez punktowanie trzpienia śruby lub wkręta za pomocą punktaka. Dotyczy to zwłaszcza połączeń ruchomych.



Rys. 27. Sposoby zabezpieczania łączników przed odkręcaniem się za pomocą: a) przeciwnakrętki, b) podkładki sprężystej, c) zawlecзки, d) odgiętej blaszki [2].

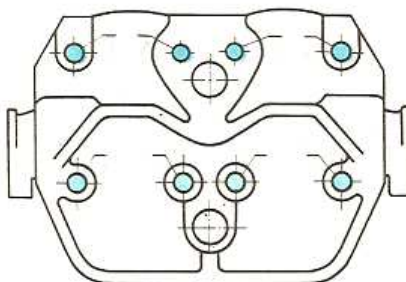
Na rysunku 28 przedstawiono typowe przykłady połączeń gwintowych.



Rys. 28. Połączenia gwintowe za pomocą: a) wkręta, b) śruby z łbem sześciokątnym, c) śruby dwustronnej i nakrętki, d) śruby z łbem sześciokątnym i nakrętki, e) śruby z łbem młoteczkowym i nakrętki, f) śruby noskowej z łbem kulistym i nakrętki, g) śruby dwustronnej i dwóch nakrętek, h) śruby pasowanej walcowej i nakrętki, i) śruby pasowanej stożkowej i nakrętki, j) śruby z łbem sześciokątnym, nakrętki i pierścienia [2].

Podczas łączenia elementów dużą liczbą śrub lub wkrętów należy zwrócić uwagę na odpowiednią kolejność dokręcania, aby uniknąć niepożądanych odkształceń i naprężeń łączonych elementów (rys. 29).

Obliczanie połączeń gwintowych. Połączenia gwintowe są poddawane różnym obciążeniom, najczęściej jednak działają na nie siły wzdłuż osi śruby, powodujące naprężenia rozciągające. Dlatego zajmujemy się tylko obliczaniem połączeń gwintowych na rozciąganie.



Rys. 29. Kolejność dokręcania nakrętek mocujących głowicę silnika samochodu Polski Fiat 126p (widok z góry) [2].

Znając średnicę rdzenia śruby d_1 korzystamy z poznanego wcześniej wzoru na naprężenia rozciągające σ_r i warunku wytrzymałości na rozciąganie $\sigma_r = k_r$. Przekształcając wzór, obliczamy:

– dopuszczalną siłę obciążającą śrubę:
$$F = \frac{\pi \cdot d_1^2}{k} \cdot k_r \text{ [N]},$$

– średnicę rdzenia śruby:
$$d_1 = \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot k_r}} \text{ [mm]}.$$

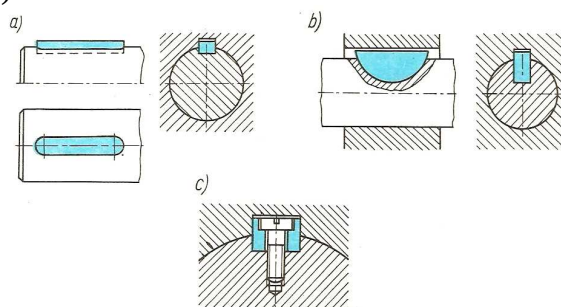
Po obliczeniu średnicy rdzenia d_1 na podstawie odpowiedniej normy PN lub dowolnego poradnika mechanika dobieramy rodzaj i wielkość śruby czy wkręta.

Połączenia wpustowe należą do połączeń ruchowych, przenoszą bowiem moment obrotowy. Tworzą je wpusty łączące piasty kół zębatach, pasowych itp. z wałem. Będąc elementem pośredniczącym między piastą a wałem, wpust uniemożliwia obrót koła względem wału. Aby możliwy był jego montaż, w czopie wału i w piaście koła wykonuje się odpowiedni rowek.

W połączeniach wpustowych spoczynkowych, tj. takich, w których koło nie przesuwa się wzdłuż osi wału, wpust jest mocno wciśnięty w rowek czopa i piasty (pasowanie N9/h9), natomiast w połączeniach wpustowych przesuwnych wpust jest mocno wciśnięty w rowek czopa (pasowanie N9/h9) i luźno osadzony w rowku piasty (pasowanie F9/h9 lub G9/h9).

W zależności od kształtu wpusty dzieli się na: pryzmatyczne (rys. 30 a) i czółenkowe (rys. 30 b).

W połączeniach ruchowych wpusty o szerokości większej niż 14 mm są przykręcane do czopa wkrętami (rys. 30 c).

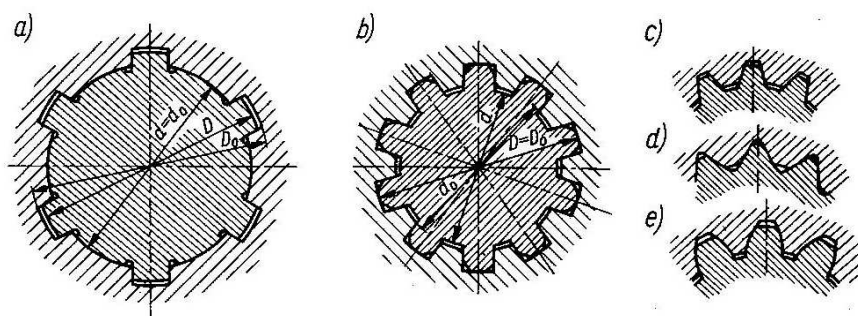


Rys. 30. Połączenia wpustowe: a) wpustem pryzmatycznym, b) wpustem czółenkowym, c) wpustem pryzmatycznym przykręcanym [2].

Połączenia wielowypustowe są zaliczane do połączeń ruchowych i podobnie jak połączenia wpustowe przenoszą moment obrotowy, a ponadto środkują piasty kół na czopach. Dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu czopa i piasty możliwe jest wyeliminowanie elementu pośredniczącego – wpustu. Ponadto połączenia te mogą przenosić większe obciążenia, gdyż naciski rozkładają się równomiernie na wszystkie wypusty.

Piasty kół mogą być środkowane na powierzchni wewnętrznej czopa o średnicy d (rys. 31 a) lub na powierzchni zewnętrznej czopa o średnicy D (rys. 31 b).

Ze względu na zarys wypustów dzieli się je na prostokątne (rys. 31 a, b), trapezowe (rys. 31 c), trójkątne (rys. 31 d) i ewolwentowe (rys. 31 e).



Rys. 31. Połączenia wielowypustowe o zarysie wypustów: a) prostokątnym, środkowane na powierzchni wewnętrznej czopa, b) prostokątnym, środkowane na powierzchni zewnętrznej czopa, c) trapezowym, d) trójkątnym, e) ewolwentowym [2].

Połączenia wielowypustowe są powszechnie stosowane w samochodowych skrzynkach biegów, obrabiarkach i sprzęgłach.

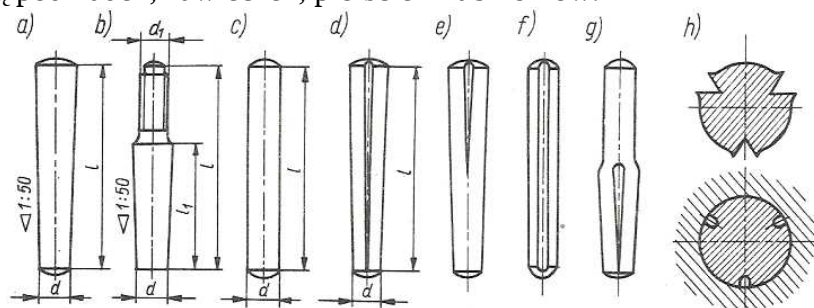
Połączenia kołkowe i sworzniowe

Połączenia kołkowe należą do najtańszych połączeń rozłącznych. Zadaniem kołków jest łączenie elementów maszyn lub ustalanie ich wzajemnego położenia.

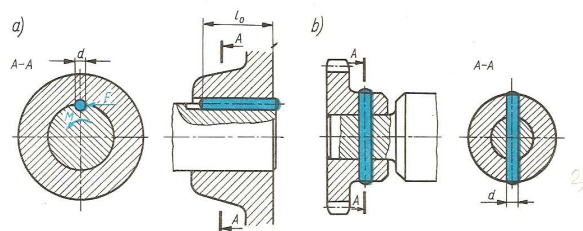
Najczęściej spotykane rodzaje kołków przedstawiono na rys. 32. Mogą być walcowe lub stożkowe o zbieżności 1:50. Do połączeń mniej dokładnych, gdy nie jest konieczne wykonanie dokładnego otworu, stosuje się kołki gwintowane (rys. 32 b) lub karbowe (rys. 32 d–g).

Połączenia kołkowe – w zależności od kierunku działania sił na kołek – dzieli się na: połączenia wzdłużne i połączenia poprzeczne (rys. 33).

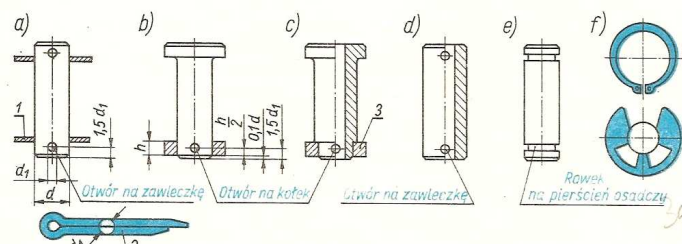
Odmianą kołków są sworznie (rys. 34), odznaczające się tym, że mają większą średnicę, przenoszą większe obciążenia oraz zawsze są zabezpieczone przed przesuwaniem się wzdłuż ich osi za pomocą podkładek, zawleczek, pierścieni lub kołków.



Rys. 32. Kołki: a–e) kołki gładkie (stożkowy, stożkowy z gwintem, walcowy), d–g) kołki karbowe, h) zasada działania kołka karbowego [2].

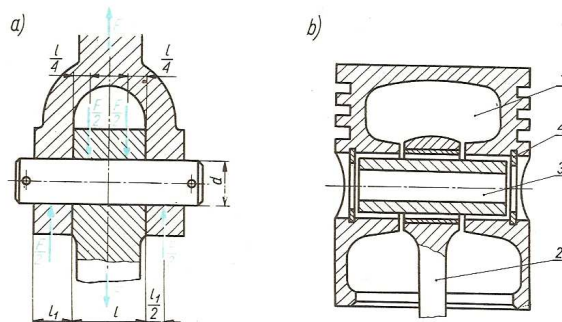


Rys. 33. Połączenia kołkowe: a) wzdłużne, b) poprzeczne [2].



Rys. 34. Sworznie: a) gładki, b) kształtowy pełny, c) kształtowy drażony, d) gładki drażony, e) rowkowy, f) osadcz sprężynujący; 1) podkładka, 2) zawlecza, 3) pierścień [2].

Sworznie łączą różnego rodzaju przeguby. Przykładem może być połączenie tłoka 1 z korbowodem 2 silnika spalinowego (rys. 35 b). Kołki i sworznie pasowane ciasno w otworach łączonych elementów są obliczane na ścinanie, natomiast pasowane luźno – na zginanie.



Rys. 35. Połączenia sworzniove: a) połączenie widełkowe, b) połączenie tłoka z korbowodem silnika spalinowego; 1) tłok, 2) korbowód, 5) sworzeń, 4) pierścień zabezpieczający [2].

Połączenia klinowe są zaliczane do połączeń rozłącznych spoczynkowych.

Klin jest elementem, którego powierzchnie robocze (płaskie lub walcowe) są zbieżne względem siebie, tworząc niewielki kąt rozwarcia α (rys. 36 d). W zależności od kształtu rozróżnia się kliny dwustronne (rys. 36 b) i jednostronne (rys. 36 c). Kliny jednostronne często są zakończone noskiem w celu ułatwienia demontażu połączenia.

Charakterystycznym parametrem klinów dwustronnych jest ich zbieżność Δ , określana wg wzoru (rys. 36 b)

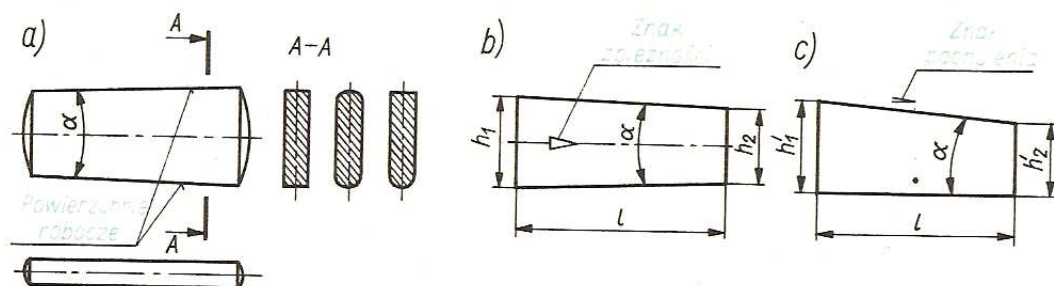
$$\Delta = \frac{h_2 - h_1}{l} = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

Na przykład zbieżność 1:10 lub 0,1 oznacza, że na każde 10 mm długości l klina jego wysokość zmniejsza się lub zwiększa o 1 mm.

Kliny jednostronne cechuje pochylenie Λ (duża lambda), obliczane wg wzoru (rys. 36 c):

$$\Lambda = \frac{h'_2 - h'_1}{l} = \operatorname{tg} \alpha$$

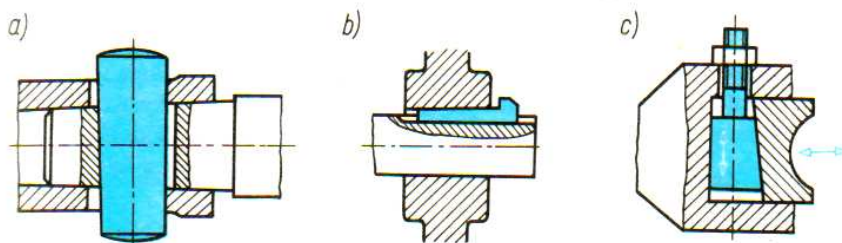
Na przykład wartość pochylenia 1:50 oznacza, że na każdy 1 mm długości klina jego wysokość zmniejsza się lub zwiększa o $\frac{1}{50}$ mm.



Rys. 36. Budowa i rodzaje klinów: a) budowa klina wraz z różnymi kształtami powierzchni roboczych, b) klin dwustronny symetryczny, c) klin jednostronny [2].

Rozróżnia się:

- połączenia klinowe poprzeczne, w których oś klina jest prostopadła do osi łączonych elementów (rys. 37 a); połączenia takie są stosowane do łączenia wałów i tulei przy wstępnym napięciu łączonych elementów;
- połączenia klinowe wzdłużne o osi klina usytuowanej równolegle względem osi łączonych elementów (rys. 37 b); połączenia takie są stosowane – podobnie jak wpusty do łączenia wałów z piastami kół pasowych, zębatych i tym podobnie.



Rys. 37. Połączenia klinowa: a) poprzeczne, b) wzdłużne, c) nastawne [2].

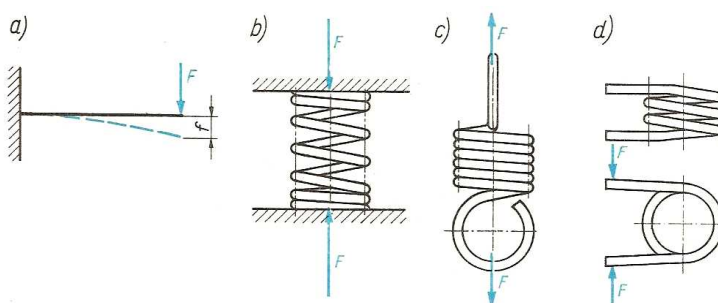
Stosuje się także połączenia klinowe nastawne (rys. 37 c), umożliwiające regulację wzajemnego położenia kojarzonych elementów oraz utrzymanie stałego napięcia w połączeniu mimo zużywania się tych elementów.

Połączenia sprężyste powstają dzięki zastosowaniu elementów takich jak sprężyny – z materiałów o małej podatności na odkształcenia sprężyste (specjalne gatunki stali), oraz z materiałów o dużej zdolności do odkształceń sprężystych, jak guma, tworzywa sztuczne.

Mimo małej podatności na odkształcenia sprężyste materiału sprężyny odznaczają się dużą odkształcalnością, uzyskiwaną w wyniku nadania sprężynom odpowiedniego kształtu.

Ze względu na rodzaj obciążenia rozróżnia się:

- sprężyny zginane (rys. 38 a) – obciążone momentem zginającym,
- sprężyny naciskowe (rys. 38 b) – ściskane siłą osiową,
- sprężyny naciągowe (rys. 38 c) – rozciągane siłą osiową,
- sprężyny skrętne (rys. 38 d) – obciążone momentem skręcającym.

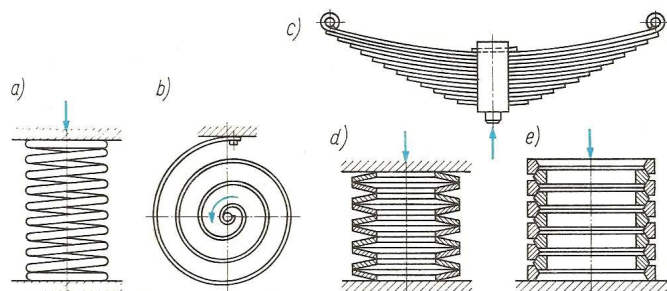


Rys. 38. Sprężyny: a) schemat sprężyny zginanej, b) sprężyna naciskowa, c) naciągowa, d) skrętne [2].

Sprężyny naciskowe mają szlifowane powierzchnie czołowe, by przyłożona siła działała równomiernie na sprężynę oraz wzdłuż jej osi. Zeszlifowanie płaszczyzn czołowych sprawia, że ostatnie zwoje sprężyny nie biorą udziału w pracy (nie odkształcają się).

Sprężyny naciągowe charakteryzują się tym, że końce ich mają odpowiednio ukształtowane zaczepy.

W zależności od kształtu sprężyny można ogólnie podzielić na: śrubowe, spiralne, płaskie, talerzowe i pierścieniowe (rys. 39).

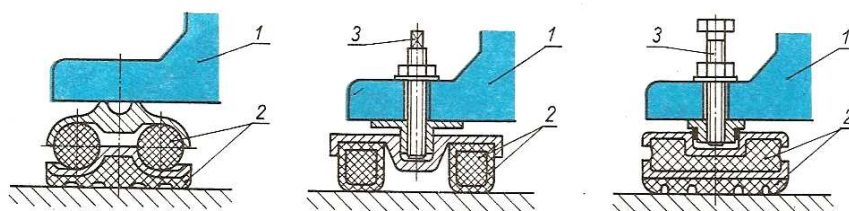


Rys. 39. Rodzaje sprężyn: a) śrubowa, b) spiralna, c) zespół sprężyn płaskich tworzących resor, d) pierścieniowa, e) talerzowa [2].

Własności każdej sprężyny charakteryzuje tzw. sztywność sprężyny C . Jest ona określana stosunkiem działającej siły F do wartości odkształcenia, zwanego strzałką ugięcia f (rys. 39 a):

$$C = \frac{F}{f} \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Coraz częściej do sprężystego łączenia elementów stosuje się gumę i tworzywa sztuczne. Materiały te są używane np. w fundamentowaniu obrabiarek, przyrządach tłocznych, zawieszeniach pojazdów, sprzęgłach, amortyzatorach, przegubach podatnych. Na rysunku 40 przedstawiono przykłady rozwiązań wibroizolatorów do fundamentowania maszyn. Zastosowanie ich eliminuje konieczność wykonania pracochłonnych fundamentów i umożliwia szybkie i bez większych nakładów przestawianie i montaż obrabiarek.



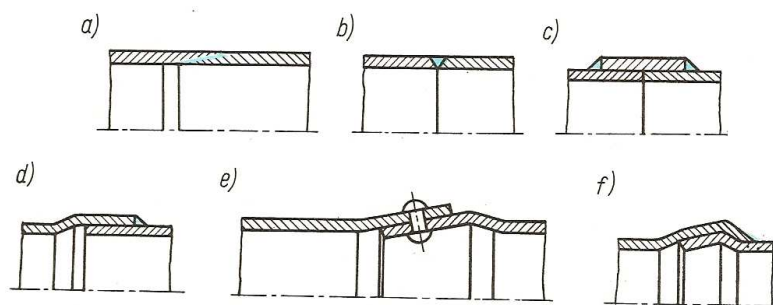
Rys. 40. Wibroizolatory: 1) korpus obrabiarki 2) element gumowy, 3) śruba do regulacji poziomu ustawienia obrabiarki [2].

Połączenia rurowe

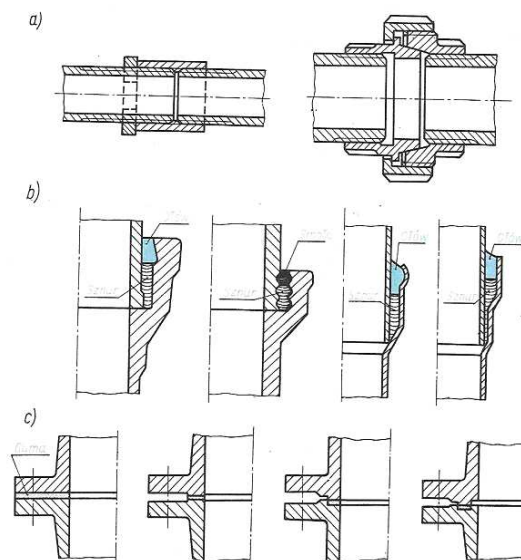
Do transportu cieczy i gazów na znaczne odległości służą rurociągi, w skład których wchodzi: rury, łączniki rurowe i zawory.

Rury są wykonywane ze stali, żeliwa, metali nieżelaznych, kamionki, a ostatnio coraz częściej z tworzyw sztucznych (polichloru winylu).

Odcinki rur łączy się ze sobą w przewody o wymaganej długości za pomocą połączeń nierozłącznych i rozłącznych. Spośród połączeń nierozłącznych stosuje się połączenia: lutowane, spawane, nitowe i rozłączane (rys. 41), gdy nie ma konieczności rozłączania przewodów oraz gdy musi być zachowana idealna szczelność złączy. Połączenia spawane (rys. 41 b–d) szczególnie nadają się do rurociągów przenoszących czynniki o wysokim ciśnieniu, np. do transportu ropy naftowej. W takim przypadku spoiny muszą być specjalnie sprawdzane i atestowane.



Rys. 41. Połączenia rurowe nierozłączne: a) lutowane, b–d) spawane, e) nitowane, f) rozciągane, uszczelniane lutem [2].



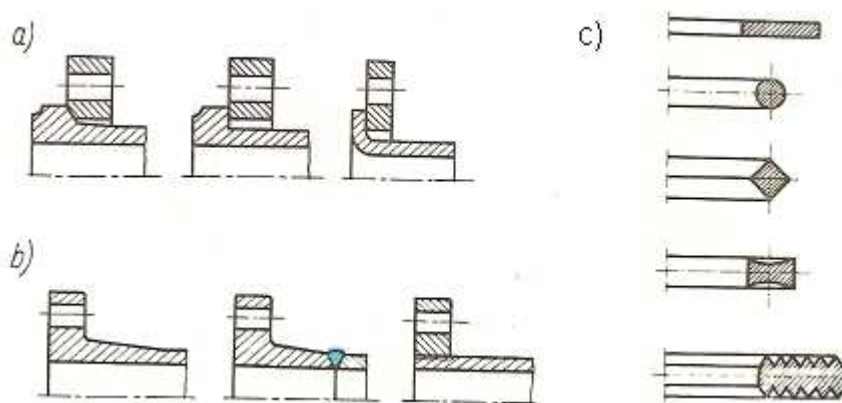
Rys. 42. Połączenia rurowe rozłączne: a) gwintowe, jednozłączkowe i dwuzłączkowe, b) kielichowe, c) kołnierzowe [2].

Do połączeń rozłącznych rur należą połączenia: gwintowe, kielichowe i kołnierzowe (rys. 42).

Połączenia gwintowe (rys. 42 a) najczęściej są stosowane do łączenia rur: stalowych, mosiężnych, miedzianych i z tworzyw sztucznych o niewielkiej średnicy, przenoszących wodę, parę lub gaz o niskim ciśnieniu (do 0,4 MPa). Na obu końcach rur jest wykonywany gwint całowy walcowy. Obydwa końce skręca się złączką i niekiedy dodatkowo przeciwnakrętką w celu zabezpieczenia przed odkręceniem i zapewnienia szczelności połączenia.

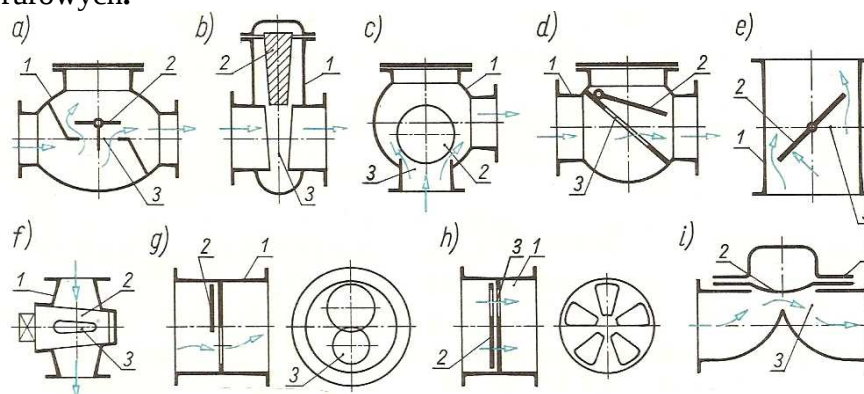
Połączenia kielichowe (rys. 42 b) są stosowane w przypadku rur żeliwnych, z tworzyw sztucznych i kamionkowych w przewodach kanalizacyjnych. Koniec jednej rury jest rozszerzony i ukształtowany w postaci kielicha, w który jest wkładany koniec drugiej rury. Złącza takie należy dodatkowo uszczelnić sznurem konopnym (zalewanym ołowiem lub smołą). Połączenia kielichowe stosuje się w przewodach kanalizacyjnych, w których czynnik znajduje się pod ciśnieniem do 0,2 MPa.

Połączenia kołnierzowe znajdują największe zastosowanie. Końce rur zakończone kołnierzami łączy się ze sobą za pomocą śrub (rys. 42 c). Kołnierze są osadzone luźno (rys. 43 a) lub na stałe (rys. 43 b). Szczelność jest uzyskiwana dzięki zastosowaniu uszczelek: gumowych, z tworzyw sztucznych, metali miękkich, skóry itp. – o różnych przekrojach (rys. 43 c).



Rys. 43. Rodzaje kołnierzy: a) luźne, b) stałe, c) półprzekroje uszczeltek [2].

Zawory to mechanizmy służące do regulacji i zamykania przepływu cieczy i gazów w przewodach rurowych.



Rys. 44. Schematy zaworów: a) grzybkowego, b) zasuwowego, c) kulowego, d) klapowego, e) motylkowego, f) kurkowego, g) płytkowego, h) tarczowego, i) przeponowego [2].

Na rysunku 44 przedstawiono schematy najczęściej spotykanych zaworów. Wszystkie składają się z trzech zasadniczych elementów: korpusu 1, zawieradła 2 (część zamykająca), gniazda 3 (otwór zamykany przez zawieradło). Spośród pokazanych najczęściej są stosowane zawory: grzybkowe, zasuwowe i kurkowe.

Odrębną grupę stanowią zawory bezpieczeństwa (rys. 45), instalowane w naczyniach ciśnieniowych. Ich zadaniem jest samoczynne utrzymywanie ciśnienia i niedopuszczanie do przekroczenia granicznej wartości. Z chwilą jej przekroczenia następuje otwarcie zaworu i ciśnienie czynnika maleje. Do ustalenia granicznej wartości służy obciążnik Q działający na ramieniu a. Gdy zawór jest zamknięty, dźwignia znajduje się w stanie równowagi:

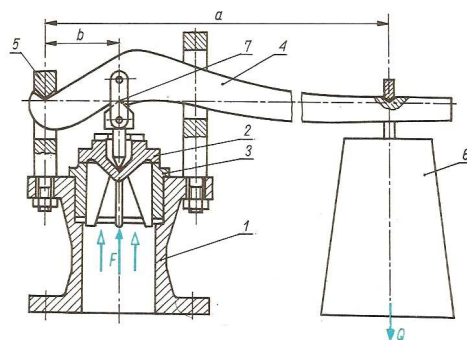
$$Q \cdot a = F \cdot b$$

gdzie:

F – siła w N, działająca na zawieradło, jej wartość zależy od ciśnienia panującego w naczyniu i od powierzchni zaworu),

a – ramię dźwigni,

b – ramię działania siły F.



Rys. 45. Zawór bezpieczeństwa: 1) korpus, 2) zawieradło, 3) gniazdo, 4) dźwignia, 5) jarzmo, 6) obciążnik, 7) trzon [2].

Otwarcie zaworu nastąpi, gdy $F > \frac{Q \cdot a}{b}$.

Zawory dzieli się na:

- samoczynne, tj. działające pod wpływem ciśnienia czynnika,
- sterowane, tj. uruchamiane za pomocą mechanizmów.

4.2.2 Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są podstawowe rodzaje nitów.
2. Jakie są podstawowe parametry połączenia gwintowego?
3. Jakie rozróżnimy rodzaje połączeń klinowych?
4. Jakie rozróżniamy sprężyny ze względu na rodzaj obciążenia.
5. Jakie zadania w budowie maszyn spełniają sprężyny?
6. Jakie znasz elementy składowe rurociągu.
7. Jakie stosujemy połączenia rurowe?
8. Jakie jest zastosowanie zaworów.

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Na podstawie dokumentacji technicznej tokarki zidentyfikuj elementy konstrukcyjne i występujące między nimi połączenia. Wypisz nazwy części. Krótko scharakteryzuj połączenia.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) przeanalizować dokumentację techniczną tokarki,
- 2) wypisać nazwy elementów konstrukcyjnych tokarki,
- 3) zidentyfikować połączenia między elementami,
- 4) pogrupować połączenia według następującego kryterium:
 - połączenia rozłączne,
 - połączenia nierozłączne,
- 5) scharakteryzować poszczególne rodzaje połączeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- poradniki,
- dokumentacja techniczna tokarki,
- Polskie Normy,
- poradnik dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Dobierz gwint metryczny zwykły dla śruby obciążonej wzdłuż jej osi siłą 50 kN, jeżeli naprężenie dopuszczalne na rozciąganie wynosi 120 MPa.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinien:

- 1) odszukać odpowiednie określenia,
- 2) wykonać obliczenia,
- 3) przeanalizować otrzymane wyniki,
- 4) dobrać średnicę rdzenia śruby na podstawie odpowiedniej normy,
- 5) dobrać odpowiadający jej wymiar gwintu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- poradnik mechanika,
- zeszyt,
- Polskie Normy.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

Tak Nie

- 1) rozpoznać połączenia?
- 2) scharakteryzować podstawowe parametry sprężyny śrubowej?
- 3) rozróżnić rodzaje nitów?
- 4) określić jakie naprężenia występują w połączeniu nitowym?
- 5) scharakteryzować połączenie spawane?
- 6) scharakteryzować spawalność metali i ich stopów?
- 7) określić podstawowe parametry połączenia gwintowego?
- 8) Rozróżnić rodzaje połączeń kształtowych?
- 9) sklasyfikować rodzaje wpustów pryzmatycznych?
- 10) dokonać charakterystyki połączeń wielowypustowych?
- 11) dobrać pasowanie czopa z otworem w połączeniu z wpustem pryzmatycznym?
- 12) dokonać charakterystyki połączeń klinowych poprzecznych?
- 13) dokonać podziału sprężyn ze względu na obciążenie?
- 14) scharakteryzować zadania jakie spełniają sprężyny w budowie maszyn?
- 15) określić siły na jakie jest narażona sprężyna śrubowa?

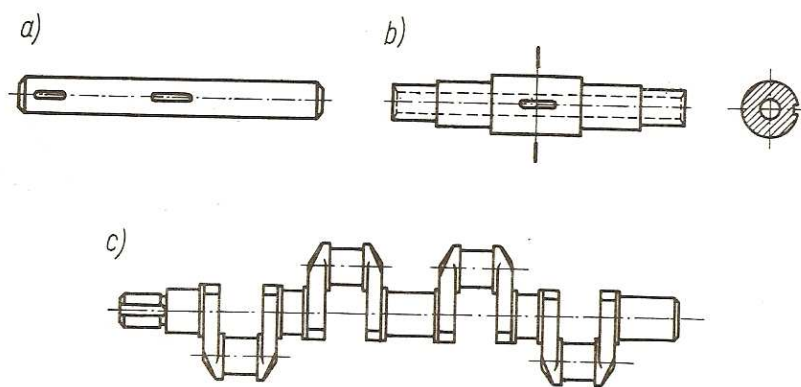
4.3. Łożyskowanie

4.3.1 Materiał nauczania

Osie i wały to elementy maszyn w kształcie walca, podparte w łożyskach. Osadzonym na osiach i wałach innym częściom maszyn (np. kołom zębatym, pasowym) może być nadawany ruch obrotowy lub wahadłowy.

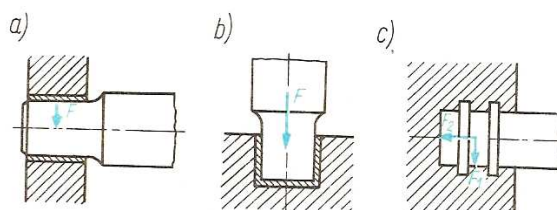
Osie przenoszą tylko obciążenia zginające (np. oś wagonu kolejowego). Mogą one być ruchome (obracające się wraz z zamocowanymi częściami maszyn) i nieruchome (pozostające w spoczynku, podczas gdy osadzone części wykonują ruch obrotowy).

Wały – w odróżnieniu od osi – są zawsze ruchome i przenoszą moment napędowy (np. wrzeciona obrabiarek, samochodowe wały napędowe). W zależności od kształtu rozróżniamy wały: proste, schodkowe i korbowe (rys. 46). Wały korbowe mogą być z wykorbieniem pojedynczym lub wielokrotnym (rys. 46 c).



Rys. 46. Rodzaje osi i wałów: a) prosty, b) schodkowy, c) korbowy z wykorbieniem wielokrotnym [2].

Części osi i wałów, na których są osadzone inne elementy maszyn, nazywamy czopami. Ze względu na usytuowanie czopów dzielimy je na: środkowe i końcowe. W zależności zaś od kierunku przenoszonych obciążeń rozróżniamy czopy poprzeczne (obciążone siłą prostopadłą do osi), wzdłużne (obciążone siłą równoległą) i poprzeczno – wzdłużne, przenoszące siły skośne względem osi (rys. 47).



Rys. 47. Rodzaje czopów: a) poprzeczny, b) wzdłużny, c) poprzeczno-wzdłużny [2].

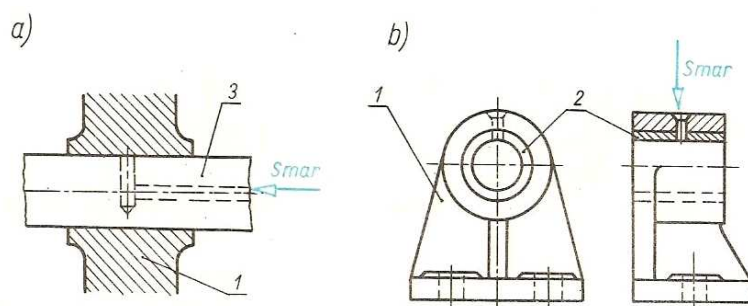
Średnice czopów są znormalizowane. Doboru ich można zatem dokonać na podstawie normy lub poradników, w których są podane wzory do obliczeń wytrzymałościowych. Z uwagi na trudne warunki pracy czopów muszą być one dokładnie wykonane często z materiału o wyższej jakości niż materiał osi czy wału (niekiedy jest wymagane utwardzenie materiału czopa).

Łożyska służą do podtrzymywania osi i wałów oraz przenoszenia obciążeń z jednego elementu na drugi. Zadaniem ich jest również zmniejszanie oporów ruchu.

Ze względu na budowę oraz rodzaj tarcia w łożyskach dzielimy je na ślizgowe i toczne. W zależności zaś od kierunku przenoszonych obciążeń zarówno łożyska ślizgowe, jak i toczne dzielimy na: poprzeczne (siła jest skierowana prostopadle do osi łożyska), wzdłużne (siła równoległa do osi) i poprzeczno-wzdłużne (obciążenie działa skośnie w stosunku do osi łożyska).

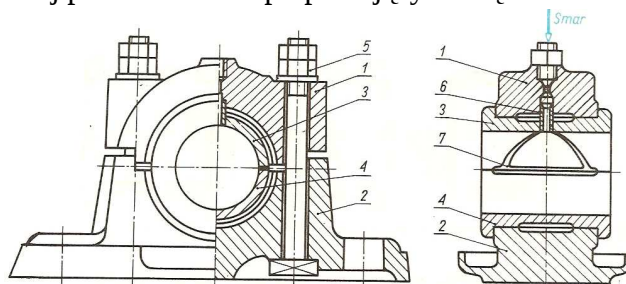
Łożysko ślizgowe tworzy zwykle tuleja wciśnięta w korpus l maszyny. Łożyskiem może być także otwór wykonany bezpośrednio w korpusie (rys. 48 a), jednak rozwiązanie takie jest stosowane rzadko. Tuleje, zwane też panwiami, mogą być jednolite lub dzielone. Rozróżniamy więc łożyska ślizgowe niedzielone i dzielone. Na rysunku 48 b przedstawiono typowe rozwiązanie łożyska niedzielonego (w korpusie 1, najczęściej żeliwny, jest wciśnięta tuleja 2).

W korpusie i w tulei wykonuje się otwór, smar przedostaje się do współpracujących powierzchni czopa i panwi. Podstawa korpusu łożyska jest mocowana do płyty maszyny za pomocą śrub.



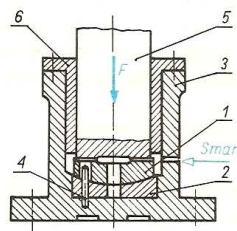
Rys. 48. Łożyska ślizgowe poprzeczne medzielone: a) bezpośrednio wykonane w korpusie maszyny, b) z tuleją (panwią); 1) korpus, 2) tuleja, 3) czop wału [2].

Znacznie częściej są stosowane łożyska dzielone, zwłaszcza w przypadku większych obciążeń. Panwie tych łożysk, zwykle dwudzielne, o płaszczyźnie podziału przechodzącej przez oś czopa, ułatwiają montaż i demontaż łożysk. Łożysko dzielone poprzeczne – pokazane na rysunku 49 – składa się z korpusu (podstawy łożyska) 2, do którego za pomocą śrub 5 jest przymocowana pokrywa 1. Panew składa się z dwóch półpanwi: górnej 3 i dolnej 4. Otwór w pokrywie i rowek 7 wykonany na wewnętrznych powierzchniach panwi, umożliwia doprowadzenie smaru do całej powierzchni współpracujących części ruchowych.



Rys. 49. Łożysko ślizgowe poprzeczne dzielone: 1) pokrywa, 2) korpus, 3) półpanew górna, 4) półpanew dolna, 5) śruby, 6) rurka, 7) rowek smarowy [2].

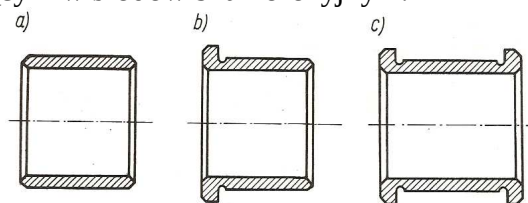
Łożysko wzdłużne (rys. 50) składa się z płytki oporowej 1 o powierzchni kulistej, wahlwie osadzonej na podkładce 2. Płytkę oporową i podkładkę są ustalane w korpusie 3 za pomocą kolka 4, zabezpieczającego je przed obrotem względem siebie. Na płaskiej powierzchni płytki oporowej opiera się czop 5, który dodatkowo jest prowadzony w tulei 6 osadzonej w korpusie łożyska.



Rys. 50. Łożysko ślizgowe wzdłużne [2].

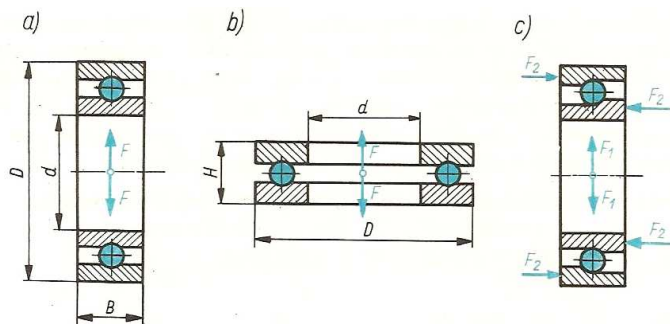
Panwie łożysk ślizgowych niedzielone pokazane na rysunku 51, powinny być łatwo wymienne, umożliwiać przenoszenie dużych obciążeń i odznaczać się wysoką dokładnością wykonania. Materiał na panwie powinien charakteryzować się małą rozszerzalnością temperaturową i małym współczynnikiem tarcia. Najczęściej są stosowane brązy cynowe i ołowiowe, mosiądze, stopy łożyskowe (o składzie cyna-ołów-miedź-antymon). Ostatnio stosuje się także tworzywa sztuczne termoplastyczne (poliamidy, np. tarnamid z wypełniaczem grafitowym lub molibdenowym, itamid lub teflon) oraz spieki metalowe. Niekiedy jest stosowane żeliwo (w przypadku części maszyn nie przenoszących dużych obciążeń) i drewno (gwajak, dąb) – zwłaszcza w przemyśle stoczniowym.

Do zalet łożysk ślizgowych zaliczamy: małe wymiary promieniowe, łatwy montaż i demontaż, przenoszenie dużych obciążeń, możliwość pracy przy dużych prędkościach obrotowych. Ponadto wykonanie łożyska z odpowiedniego materiału umożliwia zastosowanie go w mechanizmie pracującym w środowisku korozyjnym.



Rys. 51. Panwie niedzielone: a) prosta, b) jednokołnierzowa, c) dwukołnierzowa [2].

Wadami łożysk ślizgowych są: wysokie koszty eksploatacji z uwagi na stosowanie drogich stopów łożyskowych oraz duże zużycie smarów (nie dotyczy to łożysk z tworzyw sztucznych), znaczne opory ruchu i duże wymiary osiowe.



Rys. 52. Łożyska toczne a) poprzeczne, b) wzdłużne, c) poprzeczno-wzdłużne [2].

W budowie maszyn znacznie częściej są stosowane łożyska toczne. Na rysunku 52 przedstawiono trzy podstawowe rodzaje łożysk tocznych: poprzeczne, wzdłużne i poprzeczno-wzdłużne (skośne). Łożysko toczne składa się z pierścienia zewnętrznego o średnicy D , pierścienia wewnętrznego o średnicy d , elementów tocznych osadzonych w koszyczku ustalającym odległość między nimi. Pierścienie: zewnętrzny i wewnętrzny mają odpowiednio ukształtowane rowki, zwane bieżniami, po których poruszają się elementy toczne.

W zależności od kształtu elementów tocznych łożyska dzieli się na kulkowe i wałeczkowe. Wałeczki mogą mieć kształt walcowy, igiełkowy, stożkowy, baryłkowy, i stąd wynika dalszy podział łożysk tocznych.

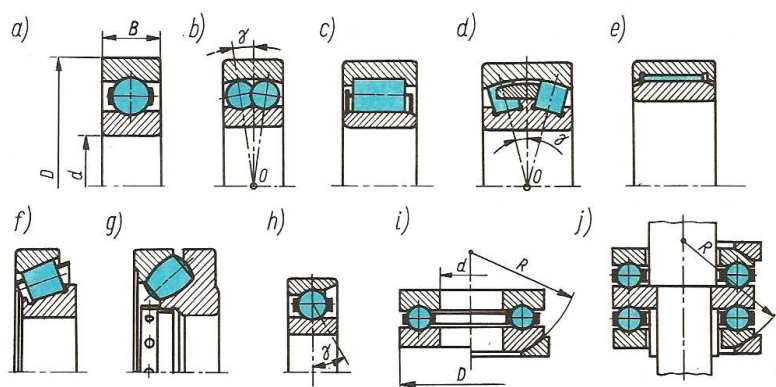
Elementy toczne mogą być usytuowane w jednym lub kilku rzędach i dlatego rozróżnia się łożyska jednorzędowe i wielorzędowe.

Podstawowe rodzaje łożysk tocznych przedstawiono na rysunku 53. Wymiary ich (D , d , B , H) są znormalizowane w celu zapewnienia zamienności łożysk. Ujęte są one w odpowiednich normach krajowych i międzynarodowych oraz katalogach wytwórni.

W zależności od wartości wymiaru D przy zachowaniu stałych wymiarów d , B i H rozróżnia się łożyska: lekkie, średnie i ciężkie. łożyska różniące się wymiarem B lub H przy tych samych wymiarach D i d stanowią odmiany: wąskie, zwykłe, szerokie i bardzo szerokie.

Warunkiem prawidłowej pracy łożysk tocznych jest ich odpowiednie osadzenie na czopie osi lub wału oraz w korpusie.

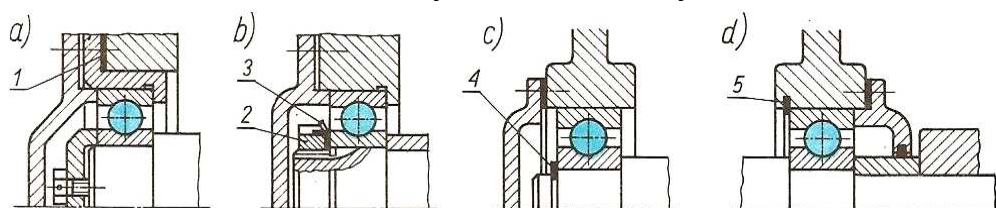
Zasada montażu jest następująca: przy ruchomym czopie łożysko musi być na nim osadzone ciasno (tolerancja wymiaru czopa $k5$, $k6$) i bez wcisku w korpusie maszyny (tolerancja otworu $H7$, $H8$), a przy ruchomym korpusie łożysko należy osadzać ciasno w otworze korpusu (tolerancja średnicy otworu $N7$, $M7$) i bez wcisku na czopie (tolerancja średnicy czopa $h6$, $h7$).



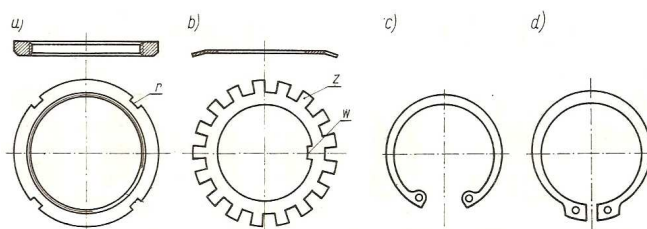
Rys. 53. Podstawowe rodzaje łożysk tocznych: a) kulkowe zwykłe, b) kulkowe wahliwe, c) wałeczkowe, d) baryłkowe dwurzędowe, e) igiełkowe, f) stożkowe, g) baryłkowe jednorzędowe, h) kulkowe skośne, i) jednokierunkowe wahliwe, j) dwukierunkowe wahliwe [2].

Typowe obudowy łożysk łącznych pokazano na rysunku 54. Obudowa łożyska wpływa na jego trwałość: z jednej strony zapewnia odpowiednie luzy osiowe, uniemożliwiając jednocześnie uszkodzenie łożyska podczas pracy, z drugiej strony zaś chroni je przed zanieczyszczeniami z zewnątrz. Elementami obudowy łożysk są: różnego rodzaju nakrętki, podkładki i pierścienie osadcze (rys. 55) oraz pierścienie uszczelniające, wykonywane z gumy, filcu, a także z tworzyw sztucznych (rys. 56).

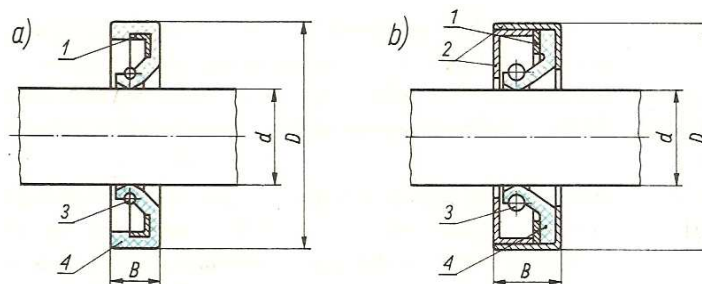
Spośród zalet łożysk tocznych należy wymienić: małe opory ruchu, brak konieczności stałego smarowania, pełną unifikację i zamienność. Wadami są stosunkowo duże wymiary promieniowe oraz wrażliwość na zanieczyszczenia i wstrząsy.



Rys. 54. Budowa i sposoby ustalania łożysk tocznych: 1) pakiet podkładek do regulacji osiowego położenia łożyska, 2) nakrętka, 3) podkładka zębata, 4) pierścień osadczy sprężynujący zewnętrzny, 5) pierścień osadczy sprężynujący wewnętrzny [2].



Rys. 55. Elementy obudowy: a) nakrętka, b) podkładka zębata, c) pierścień osadczy sprężynujący wewnętrzny, d) zewnętrzny [2].



Rys. 56. Pierścienie uszczelniające: a) z metalową wkładką usztywniającą, b) w zewnętrznej obudowie metalowej; 1) wkładka metalowa, 2) obudowa metalowa, 3) sprężyna, 4) guma [2].

Łożyska toczne dobiera się na podstawie katalogów wytwórni, np. Fabryki Łożysk Tocznych (FŁT). W katalogach takich jest podany sposób obliczania łożysk w zależności od wymaganych ich parametrów.

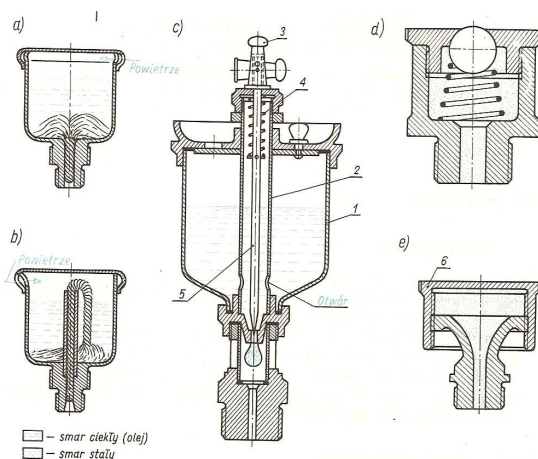
Smarowanie łożysk

Smarowanie ma na celu przedłużenie trwałości łożysk. Dotyczy to zwłaszcza łożysk ślizgowych, które wymagają smarowania ciągłego.

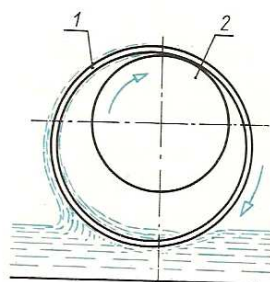
Do smarowania łożysk ślizgowych używa się smarów łożyskowych stałych, lub ciekłych, zwanych olejami. Oleje zwane maszynowymi służą do smarowania łożysk bardzo obciążonych, a wrzecionowe są stosowane w przypadku obciążeń mniejszych.

Rozróżniamy dwa podstawowe sposoby smarowania: dopływowe i obiegowe. W przypadku smarowania dopływowego (rys. 57) smar stały lub ciekły (olej) jest dostarczany do obszaru współpracujących powierzchni czopa i panwi ze smarownicy lub zbiornika oleju. Smar stały bywa doprowadzany okresowo za pomocą smarowniczek kulkowych lub kapturowych (Stauffera), natomiast olej jest dozowany przy użyciu smarowniczek otworowych, knotowych lub igiełkowych.

Smarowanie obiegowe (rys. 58) odbywa się za pomocą pierścienia luźno osadzonego na obracającym się wale 2 lub osi. Pierścień jest częściowo zanurzony w zbiorniku oleju. Dzięki lepkości i przyczepności oleju do powierzchni pierścienia po nadaniu mu ruchu obrotowego następuje rozbryzgiwanie oleju, który spływa następnie do panwi łożyska. Zamiast pierścienia mogą być zastosowane koła zębate, jak np. w skrzynce biegów czy we wrzecienniku obrabiarki.



Rys. 57. Smarowanie dopływowe za pomocą smarownic: a) otworowej, b) knotowej, c) igiełkowej, d) kulkowej, e) kapturowej: 1) zbiornik smaru, 2) rurka, 3) gałka, 4) sprężyna, 5) igiełka, 5) kaptur [2].



Rys. 58. Smarowanie obiegowe [2].

Niektóre łożyska pracujące przy bardzo dużych obciążeniach są smarowane obiegowo pod ciśnieniem wytwarzanym przez pompy olejowe.

Łożyska toczne nie mogą być smarowane zbyt obficie, gdyż nadmiar smaru powoduje dodatkowe opory ruchu. Smaruje się je zazwyczaj smarem stałym łożyskowym, dostarczonym okresowo, lub ciekłym – w sposób obiegowy, podobnie jak łożyska ślizgowe.

Sprzęgła

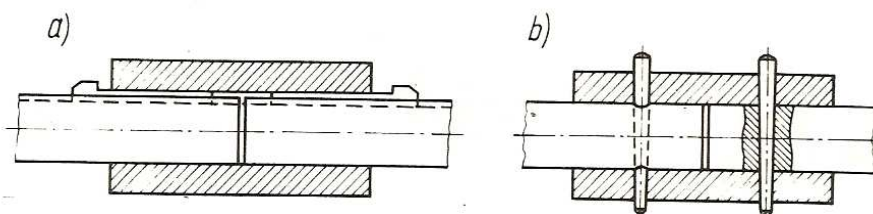
Podstawowym zadaniem sprzęgieł jest łączenie wałów w sposób umożliwiający przenoszenie momentu obrotowego. W zależności od konstrukcji i zadań sprzęgła mechaniczne dzielimy na:

- sprzęgła nierozłączne (stałe), które można rozłączyć dopiero po zatrzymaniu wału przez demontaż sprzęgła (włączanie odbywa się w spoczynku),
- sprzęgła sterowane, które dają się rozłączyć podczas ruchu wału,
- sprzęgła samoczynne, w których połączenie lub rozłączenie wałów następuje samoczynnie wskutek zmian parametrów pracy.

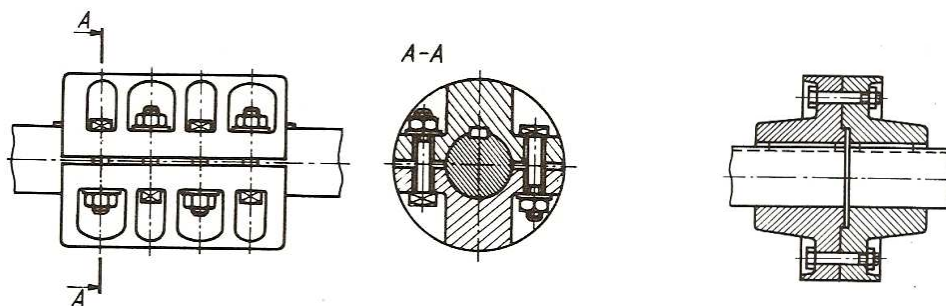
Sprzęgła nierozłączne odznaczają się prostotą budowy. Dzieli się je na: sztywne, podatne i samonastawne.

Sprzęgła sztywne łączą wały w jednolitą całość, uniemożliwiając przesunięcie jednego wału względem drugiego. Dlatego wały te muszą być dokładnie współosiowe. Do sprzęgieł sztywnych zaliczamy sprzęgła: tulejowe (rys. 59), łubkowe (rys. 60) i kołnierzone (rys. 61).

Sprzęgła podatne to sprzęgła z łącznikiem sprężystym, który kompensuje drgania wałów i niewielkie błędy ich położenia. Sprzęgłami podatnymi można zatem łączyć wały o pewnej niewspółosiowości. Łącznikami sprężystymi są w nich elementy z gumy, skóry i sprężyny. Rozróżniamy sprzęgła podatne: palcowe, sprężynowe, oponowe.



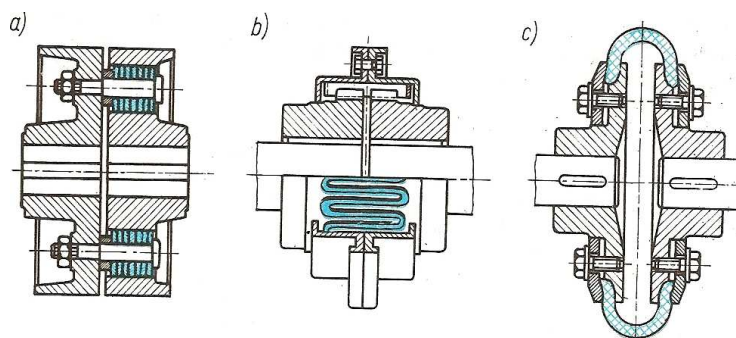
Rys. 59. Sprzęgła tulejowe z zastosowaniem: a) klinów, b) kołków [2].



60. Sprzęgło łożkowe [2].

Rys. 61. Sprzęgło kołnierzowe [2].

Rys.

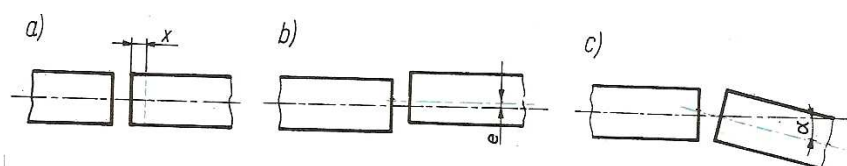


Rys. 62. Sprzęgła stałe podatne: a) palcowe, b) sprężynowe, c) oponowe [2].

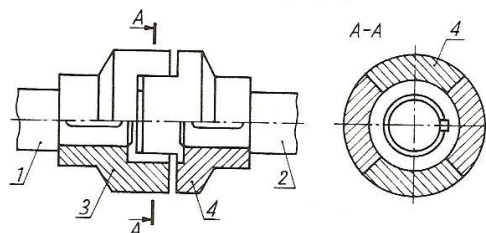
Sprzęgło palcowe (rys. 62 a) składa się z dwu tarcz osadzonych na wałach za pomocą wpustów. W jednej z tarcz na jej obwodzie są umieszczone pakiety podkładek skórzanych skręconych śrubami.

Sprzęgło sprężynowe (rys. 62 b) ma odpowiednio ukształtowaną sprężynę taśmową, która naprzemianlegle przechodzi między wystęgami dwu tarcz, łącząc je na stałe. W sprzęgle oponowym (rys. 62 c) na obwodzie dwu tarcz jest zamocowany śrubami łącznik gumowy, kształtem swym przypominający oponę. Sprzęgła samonastawne łączą wały, których osie nie pokrywają się (rys. 63). W zależności od charakteru przesunięcia osi wałów sprzęgła te mogą być odpowiednio: wysuwne, odsuwne i wychylne.

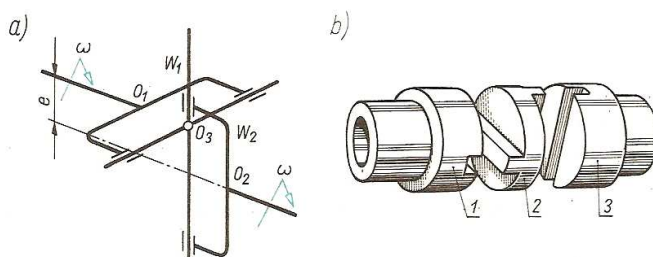
Sprzęgiem wysuwным, kompensującym przesunięcia osiowe, jest sprzęgło kłowe (rys. 64). Połączenie wałów (w stanie spoczynku) następuje przez wsunięcie kłów tarczy przesuwnej 4, osadzonej na wale biernym (napędzanym) 2 w odpowiednie rowki tarczy stałej 3, osadzonej na wale czynnym (napędzającym) 1.



Rys. 63. Przesunięcia osi wałów: a) osiowe, b) promieniowe, c) kątowe [2].



Rys. 64. Sprzęgło kłowe: 1) wał czynny (napędzający), 2) wał bierny (napędzany), 3) tarcza stała, 4) tarcza przesuwana [2].

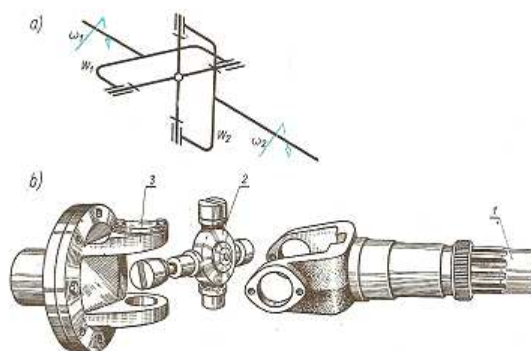


Rys. 65. Sprzęgło Oldhama: a) zasada działania , b) budowa [2].

Najbardziej rozpowszechnionym sprzęgiem odsuwnym łączącym wały o osiach równoległych jest sprzęgło krzyżowe (rys. 65), zwane sprzęgłem Oldhama. Wały takiego sprzęgła (rys. 65 a) są zakończone widelkami W_1 i W_2 ustawionymi względem siebie prostopadle. Po sztywnym ramieniu widełek W_1 przesuwa się sztywne również ramię widełek W_2 . Położenie punktu O_3 , wyznaczanego przez te ramiona, jest zmienne w zależności od przesunięcia e osi O_1 i O_2 wałów. Na rysunku 65 b przedstawiono jedno z rozwiązań sprzęgła Oldhama.

Dwie tarcze 1 i 2 z rowkami (lub wypustkami) są przesunięte względem siebie o kąt 90° . Między tarczami znajduje się tarcza 3 z wpustami (lub rowkami). Jeśli łączone wały nie są współosiowe (ich osie O_1 i O_2 są równoległe), to oś O_3 zmienia swe położenie względem O_1 i O_2 , kompensując tę niewspółosiowość. Prędkość kątowa wału 2 jest równa prędkości wału 1.

Sprzęgło wychylne, zwane sprzęgłem Cardana (rys. 66), służy do napędzania wałów usytuowanych względem siebie pod kątem $\alpha_{\max} = 30^\circ$. Zastosowano w nim krzyżak 2, którego cztery ramiona są ułożyskowane w łożyskach widełek W_1 i W_2 , osadzonych na końcach wałów. Prędkości kątowe obu wałów są jednakowe.

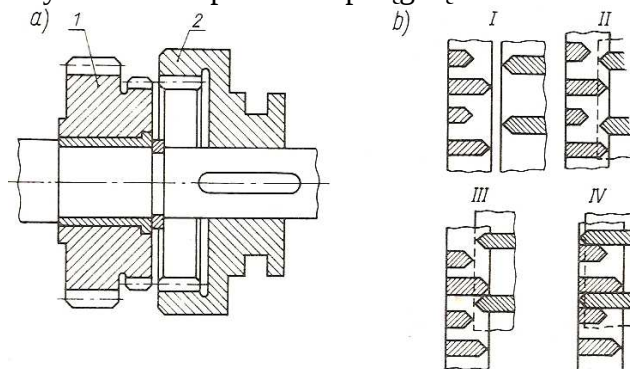


Rys. 66. Sprzęgło Cardana: a) zasada działania, b) budowa W_1 , W_2 – widełki wałów; 1) wał napędzający, 2) krzyżak, 3) widełki i krzywka [2].

Sprzęgła sterowane dzieli się na: przełączalne synchronicznie i przełączalne asynchronicznie. Sprzęgło przełączalne synchronicznie odznacza się tym, że przełączanie następuje tylko przy równych lub prawie takich samych prędkościach obrotowych wałów. W sprzęgle przełączalnym asynchronicznie przełączanie odbywa się przy różnych prędkościach

obrotowych wału napędzającego i napędzanego. Sprzęgła takie przekazują moment obrotowy w wyniku działania sił tarcia i dlatego nazywa się je ciernymi.

Sprzęgła przełączalne synchronicznie dzielimy na kłowe i zębate. Na rysunku 67 a przedstawiono sprzęgło zębate składające się z dwu tarcz: 1 o uzębieniu zewnętrznym wraz z wieńcem koła zębatego osadzonym w sposób stały na wale, oraz 2 – o uzębieniu wewnętrznym, która przesuwana po wale. W celu ułatwienia zazębienia obu tarcz podczas ruchu zęby ich są ukształtowane tak, jak to pokazano na rys. 67 b. Sprzęgła zębate nie mogą być jednak włączane przy dużej prędkości obrotowej wału napędzającego i dlatego często stosuje się synchronizatory (np. w skrzynkach biegów pojazdów), których zadaniem jest wyrównanie prędkości obrotowych obydwu wałów przed ich sprzęgnięciem.

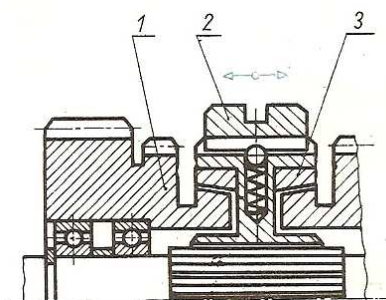


Rys. 67. Sprzęgło zębate: a) budowa, b) kolejne fazy (I–IV) włączania [2].

Na rysunku 68 pokazano w stanie rozłączonym samochodowe sprzęgło zębate wraz z synchronizatorem. Po przesunięciu wieńca zębatego 2 w prawo lub w lewo najpierw następuje połączenie powierzchni stożkowych synchronizatora 3 i jednego z kół zębatych tworzących sprzęgło cierne. Dzięki temu możliwe jest wyrównanie prędkości obrotowych koła zębatego i wału. Wskutek dalszego przesuwania wieńca zębatego 2 opór, jaki stawia zatrząsk kulkowy, zostaje pokonany i wieńiec ten nasuwa się na wieńiec koła zębatego 1.

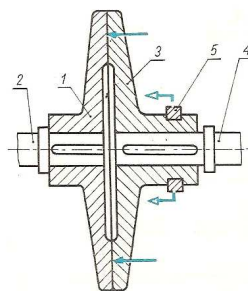
Coraz powszechniejsze zastosowanie w budowie maszyn znajdują sprzęgła cierne. Rozróżniamy sprzęgła cierne tarczowe płaskie i stożkowe oraz wielopłytkowe. Mogą one być sterowane mechanicznie, elektromagnetycznie, pneumatycznie i hydraulicznie.

Sprzęgło cierne tarczowe (rys. 70) składa się z dwu tarcz, z których jedna 1 jest osadzona nieruchomo na wale czynnym (napędzającym) 2, druga 3 zaś przesuwa się wzdłuż wpustu na wale biernym (napędzanym) 4 za pomocą pierścienia 5, stanowiącego część mechanizmu włączającego.



Rys. 68. Sprzęgło zębate z synchronizatorem: 1) wieniec zębata wewnętrzny, 2) wieniec zębata zewnętrzny, 3) synchronizator [2].

Z chwilą zetknięcia się powierzchni tarcz następuje wskutek tarcia łagodne przeniesienie momentu obrotowego z wału czynnego na bierny. Prędkość obrotowa wału biernego zmienia się od wartości początkowej 0 do wartości prędkości bliskiej prędkości wału czynnego (zwykle bowiem w sprzęgłach jest pewien poślizg).



Rys. 69. Sprzęgło cierne tarczowe [2].

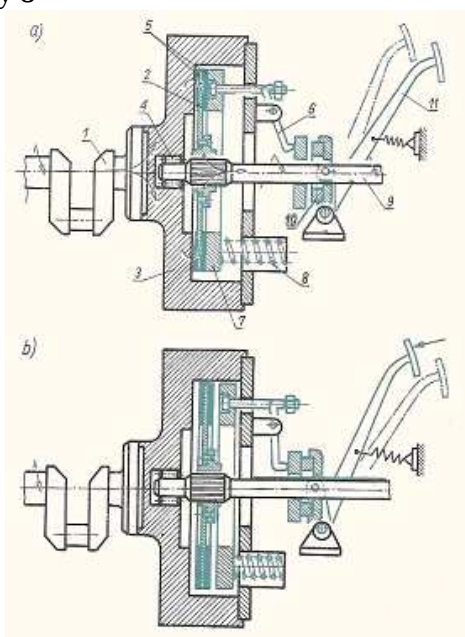
Sprzęgła tarczowe są powszechnie stosowane w układach przeniesienia napędu pojazdów samochodowych. Sprzęgło takie jest włączone, gdy kierowca nie naciska nogą pedału (rys. 70 a) wówczas tarcza cierna 2 (osadzona na wielowypuszcie) jest dociskana do koła zamachowego 3, sprzężonego z wałem korbowym 1 silnika. Dzięki temu moment obrotowy zostaje przekazany z wału korbowego przez skrzynkę biegów i pozostałe mechanizmy układu napędowego na koła jezdne.

W chwili naciśnięcia na pedał następuje – za pośrednictwem układu dźwigni – ściśnięcie sprężyn dociskowych 8 i odsunięcie tarczy czarnej 2 od koła zamachowego 3.

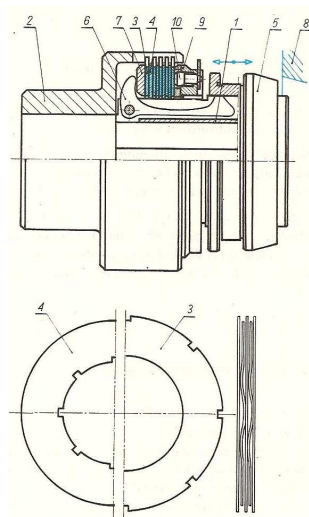
Dzięki temu, mimo że wał korbowy nadal się obraca, nie następuje przeniesienie napędu na wałek sprzęgłowy skrzynki biegów

Sprzęgła cierne wielopłytkowe mogą przenosić znacznie większe obciążenia, dlatego często są stosowane np. w obrabiarkach. Sprzęgło wielopłytkowe sterowane mechanicznie (rys. 71) składa się z kilku płytek 3 i 4. osadzonych na przemian w osłonie 1 i korpusie 2. Osłona 1 jest sprzężona z wałem czynnym, korpus 2 zaś z wałem biernym za pomocą wpustów.

Włączenie sprzęgła uzyskuje się przez przesunięcie tulei 5, która naciskając dźwignie 6 powoduje za pośrednictwem płytki oporowej 7 ściśnięcie płytek 3 i 4 przeniesienie momentu obrotowego z osłony 1 na korpus 2. Rozłączenie sprzęgła następuje przez odsunięcie tulei 5 wraz z częścią stożkową, która cofając się ulega zakleszczeniu w gnieździe stożkowym nieruchomego korpusu maszyny 8



Rys. 70. Zasada działania samochodowego sprzęgła tarczowego: a) sprzęgło w stanie włączenia, b) w stanie wyłączenia; 1) wał korbowy silnika, 2) tarcza sprzęgła, 3) koło zamachowe silnika, 4) łożysko oporowe, 5) okładziny czarnej, 6) dźwignia wyłączająca, 7) tarcza dociskowa, 8) sprężyna dociskowa 9) wałek sprzęgłowy, 10) łożysko wyciskowe, 11) pedał [2].



Rys. 71. Sprzęgło wielopłytkowe włączane mechanicznie: 1) osłona, 2) korpus, 3) płytki zewnętrzne, 4) płytki wewnętrzne, 5) tuleja, 6) dźwignia, 7) płytka oporowa, 8) korpus maszyny, 9) pierścień oporowy, 10) zatrząsk [2].

W miarę zużywania się płytek do regulacji luzu występującego między nimi służy pierścień oporowy 9 wraz z zatrząskiem. Przez obrót tego pierścienia następuje kasowanie luzu. Trzy dźwignie 6 są zamocowane na obwodzie korpusu co 120° . Płytki 3, z wycięciami na średnicy zewnętrznej, są osadzone na odpowiednich wypustach osłony 1, płytki 4 zaś z wycięciami na średnicy wewnętrznej – na wypustach korpusu 2. Płytki 4 mogą być pofałdowane, co ułatwia wyłączenie sprzęgła (po ściśnięciu ulegną one wyprostowaniu).

Zasada działania i budowy sprzęgieł wielopłytkowych przełączanych elektromagnetycznie, pneumatycznie lub hydraulicznie jest podobna – z tym że docisk płytek następuje w nich odpowiednio za pomocą elektromagnesu, pod wpływem ciśnienia powietrza lub oleju.

Sprzęgła samoczynne dzielimy na: odśrodkowe, jednokierunkowe i sprzęgła bezpieczeństwa.

Sprzęgła odśrodkowe to sprzęgła cierne włączane lub wyłączane dzięki sile działającej na ich części cierne – w zależności od prędkości obrotowej wału.

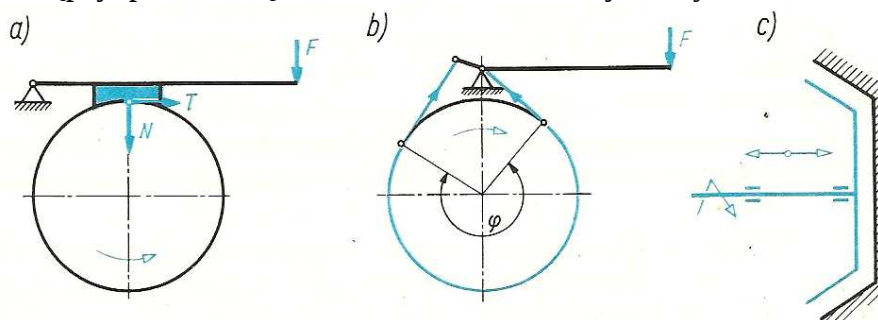
Sprzęgła jednokierunkowe umożliwiają przenoszenie ruchu lub momentu obrotowego między wałami tylko w jednym kierunku. Gdy kierunek ruchu obrotowego wałów lub kierunek momentu obrotowego zmienia się na przeciwny, sprzęgło rozłącza wały.

Sprzęgłem bezpieczeństwa może być sprzęgło pokazane na rys. 62. Materiały stosowane na łączniki (śruby, kołki) mają mniejszą wytrzymałość niż materiały używane na pozostałe elementy sprzęgła. W chwili przekroczenia dopuszczalnego obciążenia następuje zniszczenie łącznika. Sprzęgło bezpieczeństwa sygnalizuje zatem przeciążenie mechanizmu i chroni układ napędowy przed zniszczeniem.

Hamulce

Hamulce służą do zmniejszania prędkości obrotowej i zatrzymania obracających się części maszyn. W budowie maszyn najczęściej są stosowane hamulce cierne. Składają się one z dwu zasadniczych części – jednej w postaci tarczy (lub bębna), która obraca się wraz z wałem, i drugiej – nieruchomej. Wskutek docięnięcia nieruchomej (nie obracającej się) części do części ruchomej hamulca powstają siły tarcia, które powodują zmniejszenie prędkości lub zatrzymanie obracających się elementów maszyny. Najważniejsze rodzaje hamulców ciernych przedstawiono schematycznie na rys. 72. Hamulce klockowe (rys. 72 a) mogą być jedno- lub dwuklockowe. Podstawowym ich elementem jest klocek drewniany lub żeliwny, który jest dociskany do tarczy za pomocą dźwigni – ręcznie lub mechanicznie. W hamulcach cięgowych

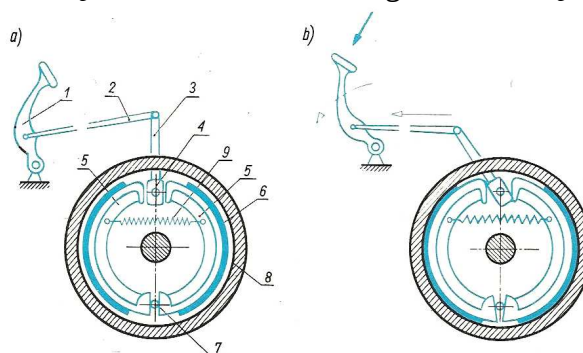
(rys. 72 b) zasadniczym elementem jest taśma stalowa opasująca bęben. Skuteczność hamowania zależy od kąta opasania ρ który wynosi zwykle 250–270°. W hamulcach talerzowych (rys. 72 c) hamowanie następuje po dociśnięciu talerza do nieruchomej osłony.



Rys. 72. Schematy hamulców: a) jednoklockowego, b) cięgowego, c) talerzowego [2].

Podczas hamowania do wewnętrznej powierzchni bębna 8, stanowiącego część koła jezdnego, są dociskane szczęki 5 rozperane za pomocą krzywki 4 lub mechanizmu hydraulicznego. Wyłączenie hamulca następuje dzięki sprężynie 9 ściągającej szczęki.

Rysunek 73 ilustruje zasadę działania samochodowego hamulca bębnowego.



Rys. 73. Hamulec bębnowy: a) w stanie wyłączonym, b) w stanie włączonym: 1) pedał nożny, 2) łącznik, 3) dźwignia, 4) krzywka, 5) szczęki, 6) okładziny szczęk, 7) oś obrotu szczęk, 8) bęben, 9) sprężyna [2].

4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jaka jest różnica pomiędzy wałem a osią?
2. Jakimi różnicami różniemy rodzaje czopów?
3. Jakimi czynnikami mają wpływ na wytrzymałość zmęczeniową wałów?
4. Jakimi znamy elementy budowy łożysk tocznych?
5. W jaki sposób osadzamy łożyska toczne na wale?
6. W jaki sposób smarujemy i uszczelniamy łożyska toczne?
7. Czym charakteryzują się łożyska ślizgowe?
8. Jakimi materiałami są stosowane na łożyska ślizgowe?
9. Jakimi są sposoby smarowania łożysk ślizgowych?
10. Jaką funkcję pełnią sprzęgła w budowie maszyn?
11. Jak dzielimy sprzęgła?
12. Jakimi różnicami różniemy hamulce?
13. Jakimi znamy elementy budowy hamulca tarczowego?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Ustal łożyskowanie wrzeciona tokarki. Określ miejsca łożyskowania i rodzaj zastosowanych łożysk.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją techniczną tokarki,
- 2) odczytać rysunek wrzeciennika,
- 3) określić rodzaj zastosowanych łożysk,
- 4) określić charakter łożyskowania,
- 5) zapisać wyniki.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna tokarki,
- Polski Normy,
- poradnik dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Rozpoznaj system smarowania zastosowany we wrzecienniku tokarki. Określ zastosowane sposoby smarowania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z dokumentacją techniczną tokarki,
- 2) odczytać rysunek wrzeciennika,
- 3) odczytać instrukcję smarowania,
- 4) określić elementy smarowania,
- 5) zapisać wyniki.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- dokumentacja techniczna tokarki,
- Polski Normy,
- poradnik dla ucznia.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

Tak Nie

- 1) scharakteryzować osie i wały?
- 2) rozpoznać oznaczenia łożysk tocznych?
- 3) dobrać łożyska toczne z katalogu?
- 4) dobrać sposób smarowania i uszczelniania łożysk tocznych?
- 5) dobrać sposób smarowania łożysk ślizgowych?
- 6) zanalizować dokumentację techniczną?
- 7) sklasyfikować sprzęgła?
- 8) dobrać na podstawie katalogu sprzęgło?
- 9) dobrać mechanizmy przełączania sprzęgieł?
- 10) sklasyfikować hamulce?
- 11) dobrać hamulce z katalogów?

4.4. Przekładnie

4.4.1 Materiał nauczania

Mechanizmom maszyn roboczych jest nadawany ruch za pomocą różnych urządzeń, zwanych napędami. W skład napędu wchodzi silnik (lub części zdolne do gromadzenia i oddawania energii, jak np. sprężyny, ciężarki) i mechanizm, którego zadaniem jest przenoszenie ruchu między wałami. Rozróżniamy napędy: mechaniczne, elektryczne, pneumatyczne i hydrauliczne. Typowym przykładem napędu mechanicznego jest mechanizm składający się z silnika spalinowego, z którego – za pośrednictwem sprzęgła, skrzynki biegów, wału napędowego i mostu – jest przenoszony ruch na koła jezdne pojazdu samochodowego.

Najczęściej stosowanymi mechanizmami służącymi do przenoszenia ruchu między wałami są przekładnie mechaniczne. Rzadko można napędzać maszynę bezpośrednio z silnika. Zwykle prędkość obrotowa roboczych elementów maszyny różni się od prędkości obrotowej silnika. Często przy stałej prędkości obrotowej silnika konieczne są zmiany – w szerokich granicach – prędkości obrotowej elementów maszyny. Przykładem może być tokarka napędzana silnikiem elektrycznym. Dzięki przekładni mechanicznej – w zależności od potrzeb – można dobierać prędkość obrotową wrzeciona.

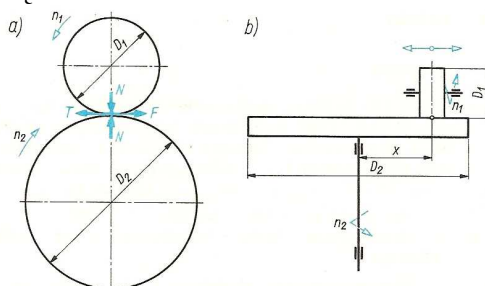
Przekładnie mechaniczne zmniejszające prędkość obrotową silnika nazywamy reduktorami, a zwiększające – multiplikatorami. Podstawowym parametrem przekładni jest jej przełożenie i , wyrażane stosunkiem prędkości obrotowej wału napędzanego (biernego) n_2 do prędkości obrotowej wału napędzającego (czynnego) n_1 :

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

Rozróżniamy trzy podstawowe rodzaje przekładni mechanicznych: cierne, cięgnowe (pasowe, łańcuchowe) i zębate.

Przekładnie cierne

W przekładniach ciernych przenoszenie ruchu obrotowego z wału czynnego na bierny następuje dzięki siłom tarcia, które powstają wskutek dociskania do siebie kół ciernych o gładkiej powierzchni (rys. 74). Aby możliwe było przenoszenie dużych obciążeń, koła te, a przynajmniej ich stykające się części (powierzchnie), powinny być wykonane z materiałów, charakteryzujących się dużym współczynnikiem tarcia ślizgowego, małym współczynnikiem tarcia tocznego i dużą odpornością na ścieranie.



Rys. 74. Przekładnie cierne: a) o stałym przełożeniu, b) o zmiennym przełożeniu [2].

Najbardziej odpowiednim materiałem jest stal. Często stosuje się ponadto żeliwo, gumę, niektóre tworzywa sztuczne. Rozróżniamy przekładnie cierne o stałym (rys. 74 a) i zmiennym przełożeniu (rys. 74 b).

Te ostatnie są stosowane częściej (np. w prasach ciernych do tłoczenia metali); sprawność (stosunek mocy przenoszonej przez wał bierny do mocy przenoszonej przez wał czynny przekładni) ich jest duża i wynosi 0,85–0,90.

Przełożenie przekładni ciernych oblicza się wg wzoru:

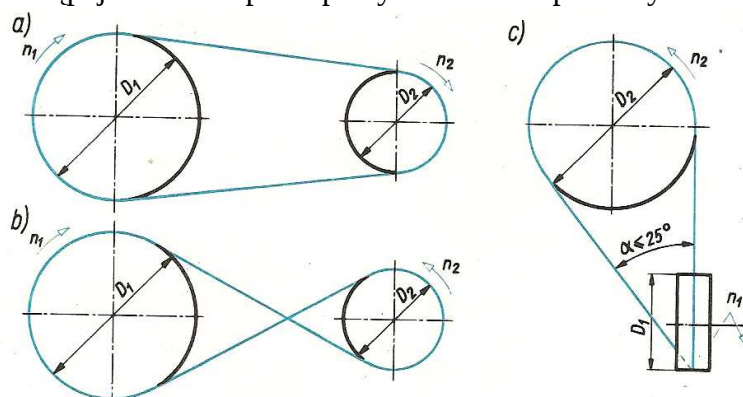
$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

W przekładni cierniej o zmiennym przełożeniu koło napędzające poruszające się ze stałą prędkością n_1 (rys. 74 b) zmienia swoje położenie x (od wartości 0 do $0,5 D_2$), powodując w sposób bezstopniowy zmianę wartości prędkości obrotowej koła napędzanego n_2 .

Wadami przekładni ciernych jest szybkie zużywanie się współpracujących elementów na skutek wywierania dużych nacisków oraz poślizg powodujący brak stabilności przełożenia.

Przekładnie pasowe zaliczamy do przekładni cięgowych. Cięgnem przenoszącym moment obrotowy jest pas. Zastosowanie pasa umożliwia przekazywanie ruchu na większe odległości.

Rozróżniamy przekładnie pasowe: otwarte, skrzyżowane i półotwarte. W przekładni otwartej (rys. 75 a) kierunek obrotów koła biernego jest taki sam jak koła czynnego, natomiast w przekładni skrzyżowanej (rys. 75 b) – odwrotny. W przekładni półotwartej (rys. 75 c) przeniesienie napędu następuje w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach.



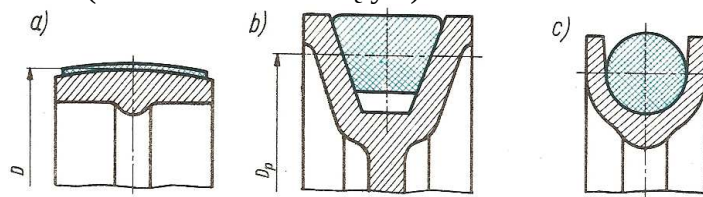
Rys. 75. Przekładnie pasowe: a) otwarta, b) skrzyżowana, c) półotwarta [2].

Pasy stosowane w przekładniach mogą być: płaskie, klinowe i okrągłe (rys. 76). Wykonuje się je z tkanin kordowych, linek poliamidowych zawulkanizowanych w gumie. Dawniej pasy wykonywane były ze skóry.

Koła pasowe wykonuje się ze stali, żeliwa, staliwa lub tworzyw sztucznych.

Największe zastosowanie w napędach (zwłaszcza obrabiarek) znajdują przekładnie z pasem klinowym o liczbie pasów od 2 do 10 (zatem o takiej samej liczbie rowków). Stosuje się je przy stosunkowo małych odległościach osi wałów czynnego i biernego. Do przekazywania napędu na większe odległości nadal używa się pasów płaskich.

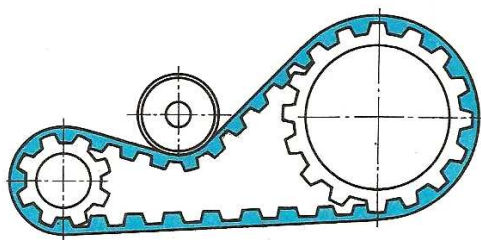
Pasy płaskie są łączone za pomocą specjalnych złączy, natomiast pasy klinowe są wykonywane jako jednolite (o obwodzie zamkniętym).



Rys. 76. Wieńce kół pasowych z pasami: a) płaskim, b) klinowym, c) okrągłym; D – średnica koła gładkiego, D_p – średnica skuteczna koła rowkowego [2].

Odrębną grupę przekładni pasowych stanowią przekładnie z pasem zębatym (rys. 77), w których nie występuje poślizg, charakterystyczny dla opisanych przekładni z pasami płaskimi i klinowymi. Stosowane są one coraz częściej.

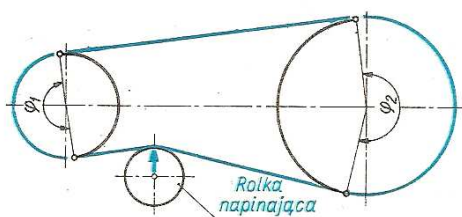
Sprawność przekładni pasowych wynosi 0,95–0,98.



Rys. 77. Przekładnia pasowa z pasem zębatym [2].

Sprawność przekładni pasowych w dużym stopniu zależy od kąta opasania mniejszego koła. Aby kąt ten zwiększyć, należy odpowiednio napiąć pas, np. za pomocą rolki napinającej (rys. 78). Rolka ta służy również do regulacji napięcia pasa w miarę jego wyciągania się w czasie pracy.

Zaletami przekładni pasowych są: prosta i tania konstrukcja, dowolna dokładność rozstawu osi kół, płynność ruchu; wadami: duże wymiary, zmienność przełożenia, szybkie zużywanie się pasów, duże naciski na wały i łożyska.



Rys. 78. Regulacja napięcia pasa [2].

Przekładnie łańcuchowe – podobnie jak pasowe – należą do przekładni cięgowych. Cięgno stanowi łańcuch spoczywający na kole łańcuchowym w odpowiednio ukształtowanych gniazdkach. Dzięki temu uniemożliwiony jest poślizg łańcucha względem koła.

Warunkiem pracy przekładni łańcuchowych jest jednakowa podziałka t łańcucha i koła.

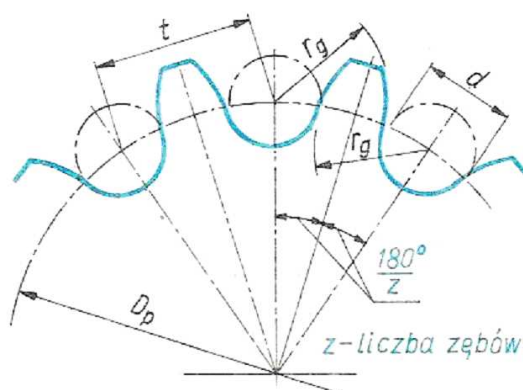
Podstawowymi parametrami koła łańcuchowego są: liczba zębów z_1 , podziałka t , średnica podziałowa D_p i promień zarysu głowy zęba r_g (rys. 79). Wymiary D_p i r_g obliczamy wg wzorów:

$$D_p = \frac{t}{\sin \frac{180^\circ}{z}}; \quad r_g = t - \frac{d}{2}$$

Wymiar d to średnica tulejki lub sworznia łańcucha.

Przełożenie przekładni łańcuchowej obliczamy wg wzorów:

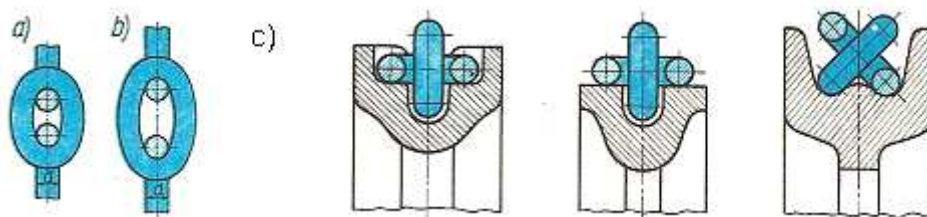
$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_{p1}}{D_{p2}} = \frac{z_1}{z_2}$$



Rys. 79. Podstawowe parametry koła łańcuchowego (zębatego) [2].

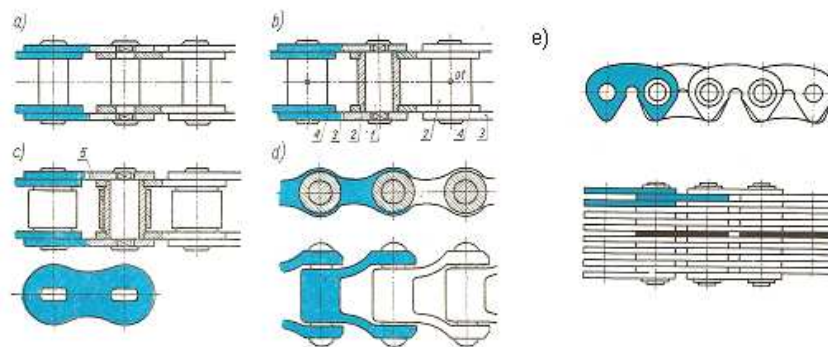
Łańcuchy dzielimy na: pierścieniowe, drabinkowe i zębate.

Ogniwa łańcucha pierścieniowego przedstawiono na rysunku 80 a, b, a odpowiednio ukształtowane wieńce kół na rysunku 80 c. Łańcuchy pierścieniowe stosuje się w urządzeniach dźwigowych przy małych prędkościach podnoszenia. Łańcuchy drabinkowe dzieli się na: sworzniowe, panwiowe, tulejowe i widelkowe (rys. 82). Najbardziej obciążane mogą być przekładnie z łańcuchem tulejowym lub widelkowym, gdyż powierzchnie ich styku z kołem są największe. Łańcuchy drabinkowe są stosowane w napędach i urządzeniach dźwigowych przy maksymalnych prędkościach odpowiednio dla poszczególnych rodzajów: 0,4 m/s, 0,9 m/s, 15 m/s, 0,5 m/s.



Rys. 80. Ogniwa łańcuchów pierścieniowych: a) krótkie, b) długie pierścieniowych c) wieńce kół i krążków do łańcuchów pierścieniowych [2].

Łańcuchy zębate (rys. 81 e) składają się z pakietów odpowiednio ukształtowanych płytek, w środku których znajdują się często płytki prowadzące. Płytki prowadzące wchodzi w rowki wieńców kół łańcuchowych, uniemożliwiając zsuniecie się łańcucha z koła. Łańcuchy zębate stosuje się w napędach przy prędkości do 8 m/s oraz tam, gdzie wymagana jest cicha praca.

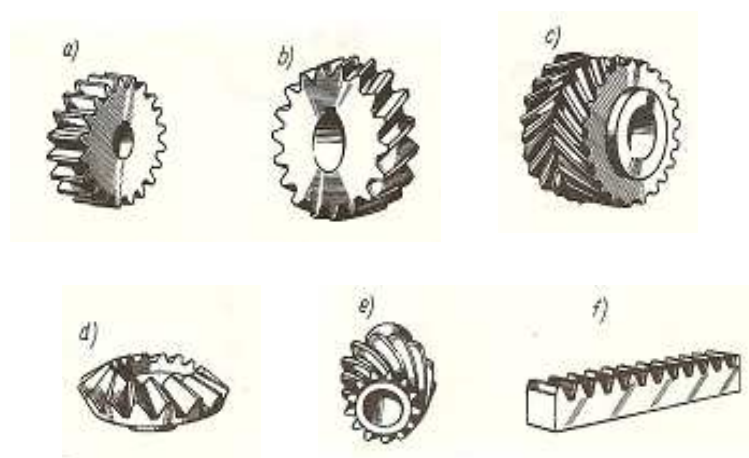


Rys. 81. Łańcuchy drabinkowe: a) sworzniowy, b) panwiowy, c) tulejowy, d) widelkowy, e) łańcuch zębaty; 1) sworzień, 2) panew, 3) płytka zewnętrzna, 4) płytka wewnętrzna, 5) tulejka, 7) otworek smarowy [2].

Ogniwa łańcuchów wykonuje się ze stali o wysokiej wytrzymałości lub żeliwa (widelkowe). W przypadku wydłużenia się łańcuchów o 2,5% pierwotnej długości muszą być one wymienione. Warunkiem dobrej ich pracy jest obfite smarowanie. Zaletami przekładni łańcuchowych są: stałe przełożenie, wysoka sprawność (0,97–0,98), małe naciski na wały i łożyska, możliwość przenoszenia dużych obciążeń; wadami: duży hałas, konieczność smarowania i wysoki koszt wykonania.

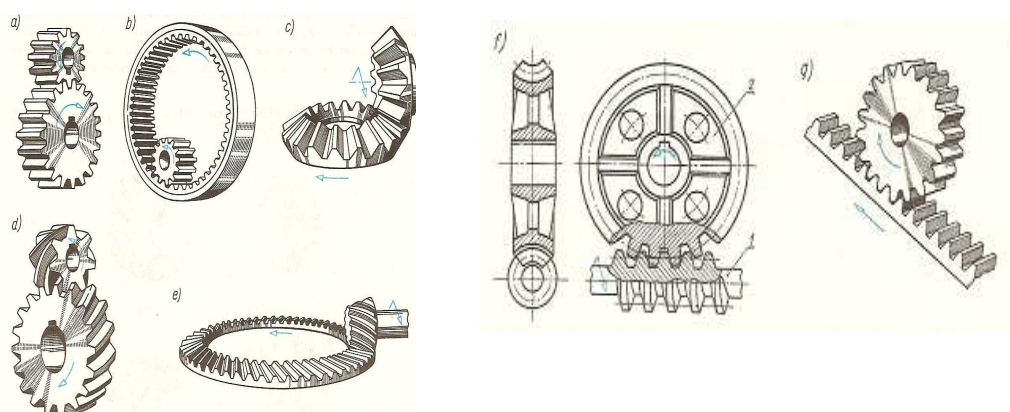
Przekładnie zębate

Przekładnie zębate znajdują największe zastosowanie w budowie maszyn, ponieważ odznaczają się wysoką sprawnością (do 0,99) i mogą przenosić duże moce (do 20 000 kW). Duże mogą być także prędkości obwodowe (do 200 m/s) kół zębatach tworzących te przekładnie. Cechuje je ponadto duża zwartość konstrukcji i stałe przełożenie.



Rys. 82. Koła zębate: a) walcowe o zębach prostych, b) walcowe o zębach skośnych, c) walcowe o zębach daszkowych, d) stożkowe o zębach prostych, e) stożkowe o zębach łukowych, f) zębatka [2].

Za pomocą przekładni zębatych moment obrotowy można przenosić tylko na niewielkie odległości. Najczęściej stosowane rodzaje kół zębatych przedstawiono na rysunku 82, a na rysunku 83 różne rodzaje przekładni zębatych. Ze względu na kształt koła zębate dzieli się na: walcowe, stożkowe i płaskie (tzw. zębátky). W zależności od kształtu zębów rozróżniamy koła z zębami prostymi, skośnymi, łukowymi i daszkowymi.



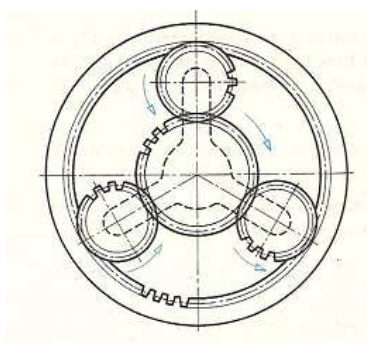
Rys. 83. Przekładnie zębate: a) równoległa o zazębieniu zewnętrznym, b) równoległa o zazębieniu wewnętrznym, c) kątowna, d) wichrowata walcowa, e) wichrowata stożkowa, f) wichrowata ślimakowa, g) zębatkowa; 1) ślimak, 2) ślimaczница [2].

Zespół kół współpracujących ze sobą tworzy przekładnię zębatą. Przekładnia jednostopniowa składa się z dwóch kół, wielostopniowa zaś z większej ich liczby. Ze względu na położenie osi kół przekładnie dzieli się na: równoległe, kątowe i wichrowate. W zależności od sposobu zazębienia mówimy o przekładniach zewnętrznych i wewnętrznych. Przekładnie o osiach równoległych to przekładnie z kołami walcowymi o zębach prostych, skośnych i daszkowych o zazębieniu zewnętrznym i wewnętrznym.

Przekładnie kątowe tworzą koła stożkowe o zębach prostych i łukowych, których osie przecinają się (zwykle pod kątem 90°).

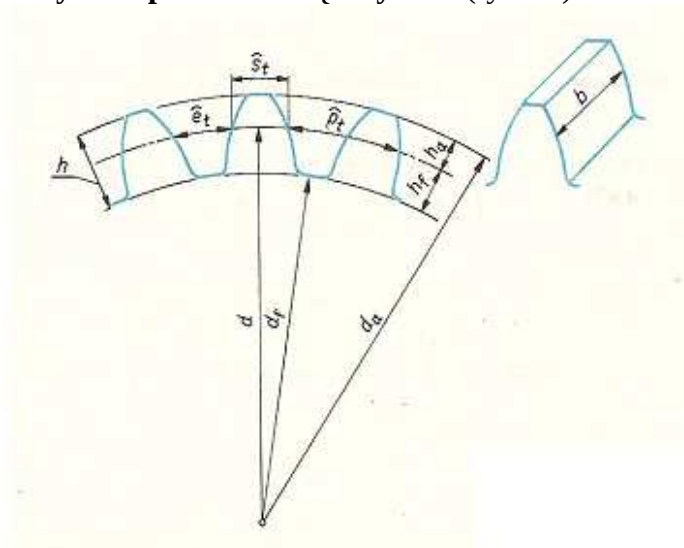
W przekładniach wichrowatych osie kół są w dowolny sposób usytuowane w przestrzeni i nie przecinają się. Do przekładni tych należą m.in. przekładnie ślimakowe, składające się ze ślimaka i ślimacznicy. Stosuje się je przy bardzo dużych przełożeniach (do 1:90).

Omówione powyżej przekładnie są zaliczane do przekładni normalnych. Odrębną grupę stanowią przekładnie obiegowe, zwane także planetarnymi (rys. 84). Charakteryzują się one tym, że osie kół wykonują dodatkowy ruch (satelitarny) wokół osi kół współpracujących.



Rys. 84. Przekładnia obiegowa (Planetarna) [2].

Podstawowe parametry kół i przekładni zębatych to (rys. 85).



Rys. 85. Podstawowe parametry koła zębatego walcowego: d_a – średnica wierzchołków (głów), d – średnica podziałowa, d_f – średnica podstaw (stóp), h – wysokość całkowita zęba, h_a – wysokość głowy zęba, h_f – wysokość stopy zęba, p_t – podziałka, s_t – grubość zęba, e_t – szerokość wrębu, m – moduł koła zębatego, y – współczynnik wysokości zębów, z – liczba zębów, b – długość zęba (szerokość wieńca) [2].

Średnica podziałowa d to umowna średnica koła, na obwodzie którego odmierza się podziałkę p_t , który dzieli ząb na stopę i głowę. Przy normalnym zazębieniu przekładni koła

podziałowe obtaczają się po sobie bez poślizgu, a punkty styku leżące na nich mają wspólną prędkość obwodową.

Podziałką p , nazywamy odległość między odpowiadającymi sobie punktami dwóch sąsiednich zębów, mierzoną po łuku na średnicy podziałowej.

Jeżeli koło ma z zębów, to obwód koła podziałowego, wynoszący πd , można podzielić na z równych części. Każda z nich będzie równa podziałce

$$p_t = \frac{\pi \cdot d}{z}.$$

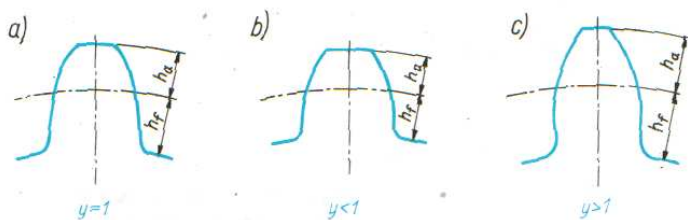
Gdy obie strony tego równania podzielimy przez π i oznaczmy $m = \frac{p_t}{\pi}$ otrzymamy:

$$m = \frac{d}{z}$$

Wielkość m , zwana modułem, jest podstawowym parametrem koła zębatego. Z powyższego równania wynika, że moduł mieści się w średnicy podziałowej d tyle razy, ile wynosi liczba zębów z . Zatem średnica podziałowa wynosi $d = m z$.

Wartości modułów są znormalizowane i objęte ciągiem liczbowym: 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10 i tak dalej.

Zarys zębów jest najczęściej ewolwentowy, a zęby mogą być o różnej wysokości: normalne, niskie i wysokie (rys. 86).



Rys. 86. Zęby: a) normalne, b) niskie, c) wysokie [2].

Wysokość zębów określa współczynnik wysokości zęba y , obliczany wg wzoru:

$$y = \frac{h}{2,2m}$$

Warunkiem współpracy dwóch kół zębatych jest taki sam zarys ich zębów oraz ich jednakowy moduł. Ponadto między zębami musi być zachowany luz obwodowy j_t i wierzchołkowy c (rys. 87).

Luz wierzchołkowy oblicza się z zależności $c = 0,2 m$.

Pozostałe wielkości charakterystyczne kół zębatych oblicza się wg następujących wzorów:

- wysokość głowy zęba o normalnej wysokości ($y = 1$), $h_f = m y \cdot m = m$,
- wysokość stopy zęba $h_f = y \cdot m + c = m + 0,2m = 1,2 m$,
- wysokość całkowita zęba $h = h_a + h_f = m + 1,2 m = 2,2 m$,
- średnicę wierzchołków i średnicę stóp:

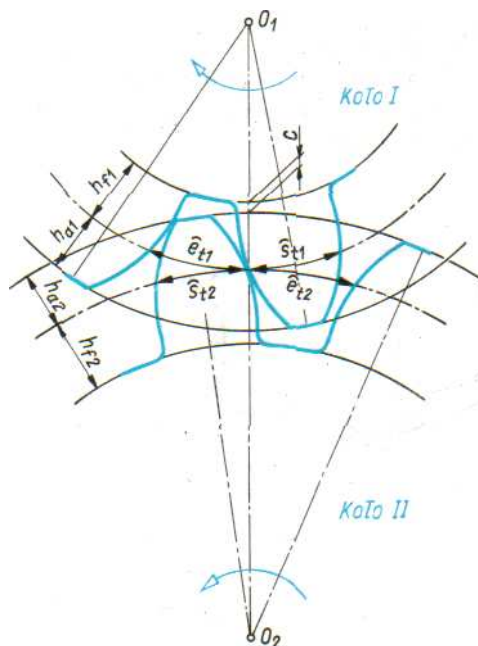
$$d_a = d + 2h_a = m(z + 2),$$

$$d_f = d - 2h_f = m(z - 2,4).$$

Odległość osi dwóch współpracujących kół zębatych oblicza się wg wzoru:

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{z_1 + z_2}{2} \cdot m,$$

w którym koło napędzające (czynne) jest oznaczone indeksem 1, a napędzane (bierne) indeksem 2.



Rys. 87. Zazębienie kół zębatach [2].

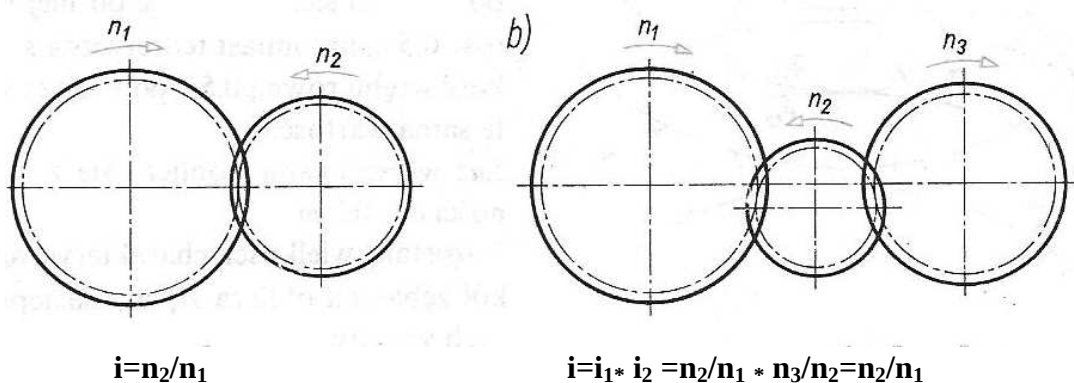
Przełożenie przekładni zębataj wyznacza się z zależności:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2}.$$

Dla przekładni wielostopniowej przełożenie całkowite jest iloczynem przełożeń poszczególnych stopni:

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_n$$

Można wyrazić je także stosunkiem prędkości obrotowej ostatniego koła napędzanego do prędkości pierwszego koła napędzającego. Zależności te zapisano dla przekładni jednostopniowej i przekładni dwustopniowej na rysunku 88.



Rys. 88. Schematy przekładni: a) jednostopniowej, b) dwustopniowej; n_1, n_2, n_3 – prędkości obrotowe kół zębatach [2].

Mechanizmy funkcjonalne

Mechanizmem nazywa się zespół części maszynowych, połączonych ze sobą ruchowo tak, aby ruch jednej z nich powodował ściśle określone ruchy użyteczne pozostałych części danego zespołu. Poszczególne części mechanizmu nazywa się członami (ogniwami). W każdym mechanizmie można wyodrębnić: człon czynny (napędzający), człon bierny (napędzany) oraz podstawę, którą stanowi człon nieruchomy lub człon, względem którego określa się ruchy innych członów. Człon bierny jest napędzany przez człon czynny

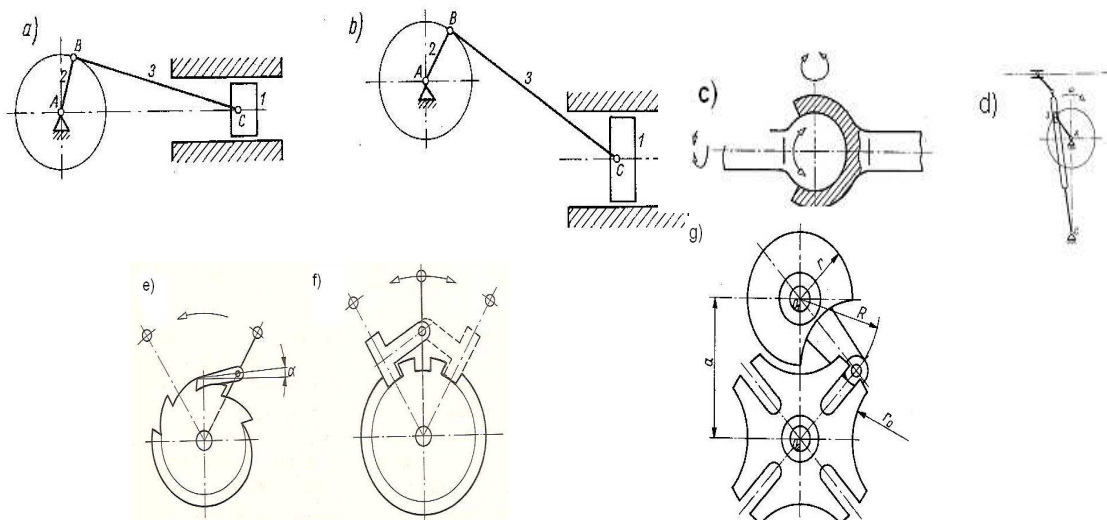
bezpośrednio lub za pomocą członów pomocniczych, zwanych łącznikami. Członami mechanizmu mogą być elementy sztywne (np. dźwignie, tłoki, wały, korby itd.) lub odkształcalne (sprężyny, cięgna: pasy, łańcuchy, itd.). W niektórych mechanizmach rolę członu odgrywają również ciała ciekłe lub gazowe, zamknięte w cylindrze lub przewodach.

Człony łączą się ze sobą w węzłach, tzn. w miejscach, w których odbywa się zmiana rodzaju (kierunku) ruchu. Połączenie ruchowe dwóch członów tworzy tzw. parę kinematyczną. Przykładami najprostszych par kinematycznych są: łożysko ślizgowe i wał, śruba z nakrętką i inne.

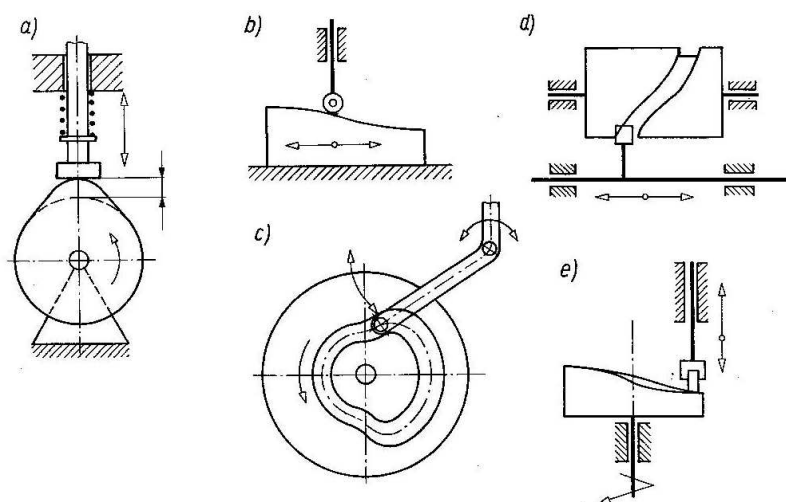
W budowie maszyn są stosowane różnorodne mechanizmy, które w zależności od ich konstrukcji i zasad działania można podzielić na mechanizmy:

- ruchu obrotowego (zębate, cierne, cięgnowe),
- śrubowe,
- dźwigniowe (wraz z korbowymi i jarzmowymi rys. 89 a, b, d),
- krzywkowe (rys. 90),
- przerywanym ruchu członu biernego (m. in. zapadkowe, tzw. krzyż maltański rys. 89 e, f, g),
- z elementami sprężystymi i inne.

Mechanizm, korbowy (rys. 89 a, b) składa się w zasadzie z dwóch członów: korby i korbowału oraz trzech węzłów: A, B, C. Ruch obrotowy korby wywołuje ruch prostoliniowy (postępowo-zwrotny) wodzika 1, który jest umieszczony w węźle C i przesuwa się w prowadnicach. Mechanizm korbowy może być symetryczny (gdy oś prowadnicy wodzika przechodzi przez oś obrotu korby – rys. 89 a) lub niesymetryczny – gdy osie te nie pokrywają się (rys. 89 b).



Rys. 89. Przykłady mechanizmów: a, b) mechanizmy korbowe c) przegub kulisty, d) mechanizm jarzmowy, e, f) mechanizmy zapadkowe, g) krzyż maltański. [8].



Rys. 90. Rodzaje mechanizmów krzywkowych: a, b) z krzywką płaską, c) z krzywką tarczową, d, e) z krzywką walcową [8].

W mechanizmie jarzmowym (rys. 89 d) ramieniem jest jarzmo z prowadnicą, w której przesuwają się kamień (węzeł B) połączony przegubowo z korbą. Ruch obrotowy korby powoduje ruch wahadłowy jarzma, który za pośrednictwem dalszych członów jest zamieniany na ruch postępowo-zwrotny napędzanego elementu.

Prosty mechanizm zapadkowy składa się z koła zapadkowego uzębionego, zapadki oraz dźwigni. Jeżeli zapadka jest poruszana przez dźwignię, koło otrzymuje ruch przerywany jednokierunkowy – rysunek 90 e lub (przy zapadce symetrycznej, którą można przerzucać w obie strony) ruch przerywany w wybranym kierunku – rysunek 89 f. Kształt zapadki i zębów koła zapadkowego musi być tak dobrany, aby zapadka była wciągana w głąb wrębu. Jeżeli dźwignia jest unieruchomiona, wówczas przy jednym kierunku ruchu obrotowego koła zapadkowego zapadka ślizga się po jego zębach (rys. 89 f – przy obrocie koła przeciwnym do ruchu wskazówek zegara), zaś przy przeciwnym kierunku zapadka działa jak hamulec samoczynny.

Istniejące rozwiązania konstrukcyjne napędów mechanizmów zapadkowych zależą od ich przeznaczenia. Mechanizm nazywany krzyżem maltańskim służy przeważnie jako przekładnia przenosząca ruch obrotowy w sposób przerywany (skokowo). Krzyż maltański (rys 89 g) składa się z tarczy z promieniowymi rowkami (krzyża), korby, w której na promieniu R jest umieszczony czop wchodzący w rowki krzyża, oraz z tarczy o promieniu r_g zamocowanej w osi obrotu korby. W zależności od liczby rowków z , na każdy obrót korby przypada $1/z$ obrotu krzyża. Liczba rowków s zależy od zadań, jakie spełnia krzyż maltański; najczęściej $z = 3-6$.

Krzyż maltański jest stosowany przeważnie w mechanizmach podziałowych, na przykład do obrotu zespołów wrzecionowych w automatach tokarskich, do obrotu głowic rewolwerowych itp.

Mechanizm krzywkowy umożliwia otrzymanie dowolnego ruchu elementu napędzanego. Ruch ten zależy głównie od rodzaju ruchu krzywki i jej kształtu. Elementem napędzającym mechanizmu (członem czynnym) jest zwykle krzywka, zaś członem napędzanym (biernym) – popychacz. Warunkiem koniecznym dla uzyskania prawidłowej pracy mechanizmu jest nieprzerwany (ciągły) styk powierzchni roboczej krzywki z popychaczem. Podstawowe rodzaje mechanizmów krzywkowych przedstawiono na rysunku 90.

Mechanizmy krzywkowe są powszechnie stosowane w półautomatach i automatach tokarskich, do sterowania ruchem zaworów (np. w silnikach spalinowych) oraz w wielu innych maszynach i urządzeniach.

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co nazywamy napędem?
2. Co nazywamy przekładnią mechaniczną?
3. Jak dzielimy przekładnie mechaniczne?
4. Jaki jest podział kół zębatach walcowych?
5. Jakie wyróżniamy podstawowe parametry koła zębatego?
6. Jaki jest podział przekładni cięgnowych?
7. Jakie są zalety przekładni cięgnowych?
8. Jakie rozróżniamy przekładnie łańcuchowe?
9. Jakie są wady i zalety przekładni ciernych?
10. Jak można zdefiniować pojęcie poślizgu?
11. Kiedy stosujemy mechanizmy funkcjonalne?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz wartość przełożenia przekładni, w której prędkość obrotowa elementu czynnego wynosi $n_1 = 400$ obr/min, a elementu biernego $n_2 = 200$ obr/min.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) dokonać analizy zadania,
- 2) odszukać odpowiednie wzory,
- 3) zapisać zależności,
- 4) obliczyć przełożenie,
- 5) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 6) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- normy PN, ISO,
- poradnik mechanika,
- poradnik dla ucznia

Ćwiczenie 2

Oblicz prędkość obrotową n_2 wału biernego oraz średnicę koła D_2 w przekładni cierniej o stałym przełożeniu $i = 1:4$ i średnicy koła $D_1 = 40$ mm. jeżeli prędkość obrotowa wału czynnego n_1 wynosi 1600 obr/min

Sposób wykonania ćwiczenia:

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) dokonać analizy zadania,
- 2) odszukać odpowiednie wzory,
- 3) zapisać zależności,

- 4) obliczyć prędkość obrotową n_2 ,
- 5) obliczyć średnicę koła D_2 ,
- 6) porównać obliczone wielkości,
- 7) zapisać wyniki:
 $n_2 = \dots\dots\dots\text{obr/min,}$
 $D_2 = \dots\dots\dots\text{mm.}$

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- Polski Normy,
- poradnik dla ucznia.

***Ćwiczenie 3**

Prędkość obrotowa wału napędzającego wynosi $n_1 = 1500 \text{ obr/min}$, żądana prędkość obrotowa wału napędzanego $n_2 = 500 \text{ obr/min}$. Oblicz przełożenie oraz ustal liczby zębów poszczególnych kół przekładni, zakładając minimalną liczbę zębów $z = 14$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinien:

- 1) dokonać analizy zadania,
- 2) odszukać odpowiednie wzory,
- 3) zapisać zależności,
- 4) obliczyć przełożenie dla wybranego rozwiązania,
- 5) porównać otrzymaną wartość przełożenia z wartością graniczną przełożenia (w razie trudności skorzystać z pomocy nauczyciela),
- 6) dobrać przekładnię,
- 7) obliczyć liczbę zębów,
- 8) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 9) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt przedmiotowy,
- Polski Normy,
- poradnik dla ucznia.

Ćwiczenie 4

Oblicz wymiary koła zębatego walcowego o zębach prostych normalnych, mając dane: liczbę zębów $z = 26$ moduł $m = 5 \text{ mm}$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinien:

- 1) dokonać analizy zadania,
- 2) odszukać odpowiednie wzory,
- 3) zapisać zależności,
- 4) obliczyć:
 - średnicę podziałową,
 - średnicę wierzchołków,

- średnicę podstaw,
 - wysokość głowy zęba,
 - wysokość stopy zęba,
 - wysokość zęba,
 - podziałkę,
 - grubość zęba,
 - szerokość wrębu,
 - luz wierzchołkowy,
 - luz obwodowy,
- 5) dokonać oceny poprawności wykonanych obliczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- Polski Normy,
- poradnik dla ucznia.

***Ćwiczenie 5**

Wymiary koła zębatego walcowego o zębach prostych normalnych wynoszą: średnica podstaw $d_f = 340$ mm, liczba zębów $z = 45$. Oblicz pozostałe wymiary koła.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) dokonać analizy zadania,
- 2) odszukać odpowiednie wzory,
- 3) zapisać zależności,
- 4) obliczyć moduł (w razie trudności skorzystać z pomocy nauczyciela),
- 5) obliczyć:
 - średnicę podziałową,
 - średnicę wierzchołków,
 - średnicę podstaw,
 - wysokość głowy zęba,
 - wysokość stopy zęba,
 - wysokość zęba,
 - podziałkę,
 - grubość zęba,
 - szerokość wrębu,
 - luz wierzchołkowy,
 - luz obwodowy,
- 6) dokonać oceny poprawności wykonanych obliczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- Polski Normy,
- poradnik dla ucznia.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

Tak Nie

- 1) zdefiniować pojęcie przełożenia?
- 2) rozróżnić rodzaje przekładni mechanicznych?
- 3) scharakteryzować przekładnie pasowe?
- 4) scharakteryzować przekładnie zębate?
- 5) scharakteryzować przekładnie cierne?
- 6) obliczyć przełożenie przekładni?
- 7) wyznaczyć podstawowe wymiary koła zębatego?
- 8) rozróżnić mechanizmy funkcjonalne?

4.5 . Maszyny i urządzenia transportu wewnątrzzakładowego

4.5.1. Materiał nauczania

Transport odgrywa bardzo ważną rolę w każdym zakładzie przemysłowym. W sposób znaczący wpływa na wyniki produkcyjne. Szczególnie objawia się to w bardzo dużych przedsiębiorstwach o szerokim asortymencie produkcji.

W procesie produkcyjnym transport jest bardzo drogi ze względu na wysokie nakłady finansowe związane z zakupami urządzeń, ich instalacją i eksploatacją oraz zaangażowaniem ludzi do obsługi tych urządzeń. Stąd też większość działań techniczno-organizacyjnych zmierza do tego, aby w maksymalnym stopniu ograniczyć transport lub go zmechanizować i zautomatyzować. Dzięki temu możliwe jest ograniczenie zatrudnienia w transporcie i zaangażowanie ludzi do prac bezpośrednio produkcyjnych.

Transport można też ograniczyć przez odpowiednią organizację procesu produkcyjnego. Ma to szczególnie wpływ na długość dróg transportu międzywydziałowego i między stanowiskowego. Ustawienie obrabiarek i stanowisk pracy zgodnie z przebiegiem kolejnych etapów procesu produkcyjnego sprzyja zmniejszeniu długości dróg transportowych do niezbędnego minimum. W produkcji seryjnej i masowej należy stosować montaż taśmowy wyrobów, manipulatory do obsługi poszczególnych stanowisk, automaty montażowe i transport podwieszony międzystanowiskowy i międzywydziałowy.

Przemieszczanie ładunków wewnątrz jednego zakładu pracy nazywamy transportem wewnętrznym. Maszyny i urządzenia do transportu wewnętrznego można podzielić na maszyny transportu wewnętrznego ciał stałych, cieczy (pompy) i gazów (wentylatory).

Ponadto maszyny do transportu ciał stałych można podzielić na maszyny do transportu bliskiego i dalekiego. Do transportu dalekiego służą samochody, pociągi i statki.

Maszyny do transportu ciał stałych na bliskie odległości można podzielić na dźwignice, przenośniki i wózki transportowe.

Dźwignice są to środki transportu wewnętrznego o zasięgu ograniczonym lub nieograniczonym, o ruchu przerywanym, służące do prac przeładunkowych i montażowych.

Wózki transportowe są to środki transportu jezdnego lub szynowego o ruchu przerywanym i ograniczonym zasięgu, służące do przemieszczania poziomego albo pionowego ładunków pojedynczych lub łączonych (palety).

Przenośniki są to środki transportu bliskiego o ograniczonym zasięgu i ruchu ciągłym służące do przemieszczania materiałów sypkich luzem lub małych jednostek wzdłuż określonej trasy.

Dźwignice i przenośniki to urządzenia do transportu różnych materiałów w obrębie placu składowego, magazynu, całego zakładu, hali produkcyjnej lub między stanowiskami pracy.

Dźwignice służą do podawania ładunków na bliskie odległości w sposób przerywany (podnoszenie, przesuwanie, opuszczanie), przy czym ruch powrotny jest zwykle jałowy. Ze względu na konstrukcję i przeznaczenie dzieli się je na: dźwigniki, ciągniki, wyciągi, wózki, suwnice i żurawie. Rozróżniamy dźwignice proste, gdy mają jeden mechanizm do podnoszenia i przesuwania ładunku, oraz złożone, gdy składają się z kilku mechanizmów.

Przenośniki są przeznaczone do transportu ładunków w sposób ciągły w określonym z góry kierunku, bez jałowego ruchu powrotnego. Dzieli się je na ciągnowe, bezciągnowe i z czynnikiem pośredniczącym.

W zależności od przeznaczenia dźwignice są wyposażone w następujące elementy:

- zespoły chwytające (haki, pętle, zawieszia, uchwyty, chwytaki),

- ciąga (liny i łańcuchy),
- krążki linowe i łańcuchowe,
- bębny linowe,
- zespoły unieruchamiająco-zabezpieczające (hamulce i zapadki),
- zespoły przenoszące napęd (sprzęgła),
- koła jezdne.

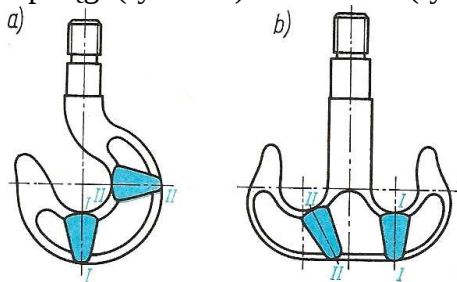
Zespoły chwytające

Budowa zespołów chwytających zależy od rodzaju transportowanego ładunku.

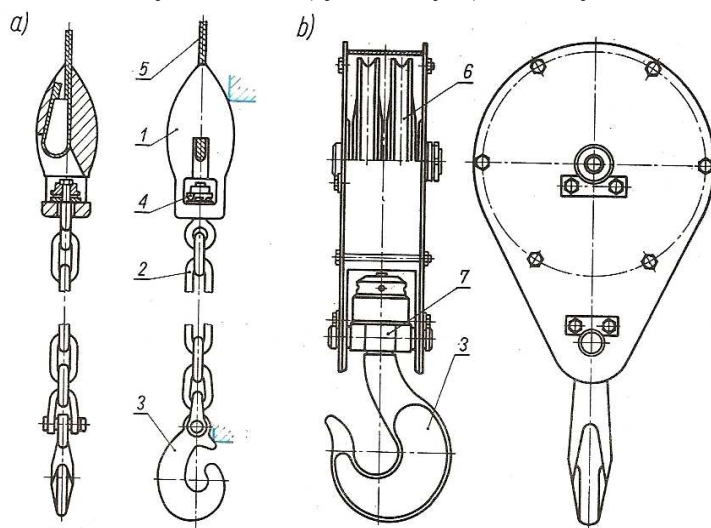
Haki mogą chwycić ładunki bezpośrednio, gdy towary mają odpowiednio ukształtowane ucha, lub pośrednio – za pomocą dodatkowych pętli linowych i łańcuchowych.

Stanowią one odkuwkę ze stali o wysokiej wytrzymałości, którą poddaje się wyżarzaniu w celu wyeliminowania wad materiałowych i wykonawczych.

Ze względu na kształt i przenoszone obciążenie rozróżnia się haki jednorożne (do 75 Mg rys. 91 a) i dwurożne (pow. 75 Mg – rys. 91 b). W celu zwiększenia wytrzymałości nadaje się im odpowiedni przekrój poprzeczny. Ponadto haki muszą być mocowane tak, aby pomimo obciążenia, można je było swobodnie obracać względem napiętego ciąga. W tym celu stosuje się elementy pośrednie – sprzęgi (rys. 92 a) lub zblocza (rys. 92 b).



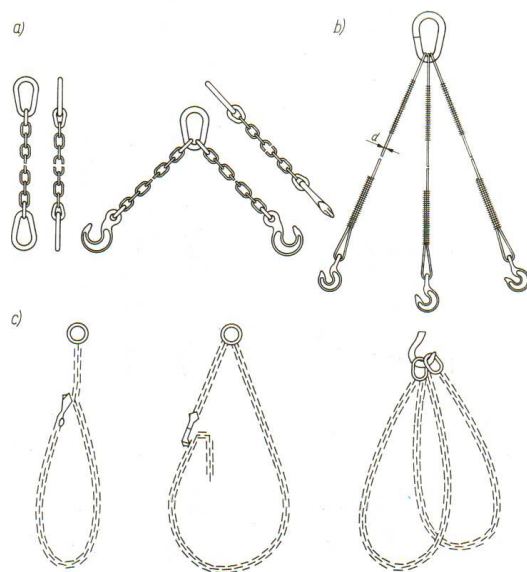
Rys. 91. Haki: a) jednorożny, b) dwurożny [2].



Rys. 92. Sposoby mocowania haków: a) w sprzęgu, b) w zbloczu: 1) obciążnik, 2) łańcuch, 3) hak, 4) łożysko oporowe, 5) ciągnio, 6) krążki linowe, 7) poprzeczka [2].

W celu łatwego i szybkiego zaczepiania ładunków na haku dźwignicy stosuje się zawiesia łańcuchowe (rys. 93 a) i linowe (rys. 93 b) lub pętli (rys. 93 c).

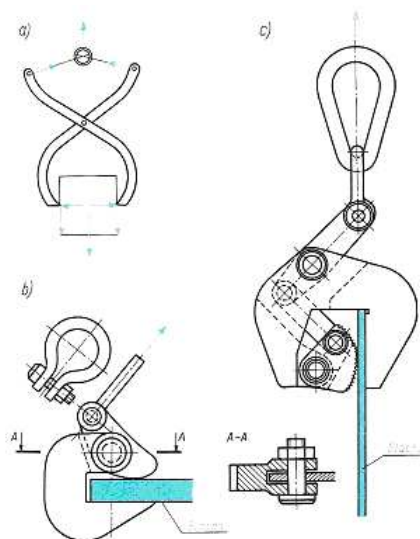
Odrębną grupę zespołów chwytających stanowią uchwyty i chwytaki.



Rys. 93. Zawiesia i pętle: a) zawiesia łańcuchowe, b) zawiesia linowe, c) pętle [2].

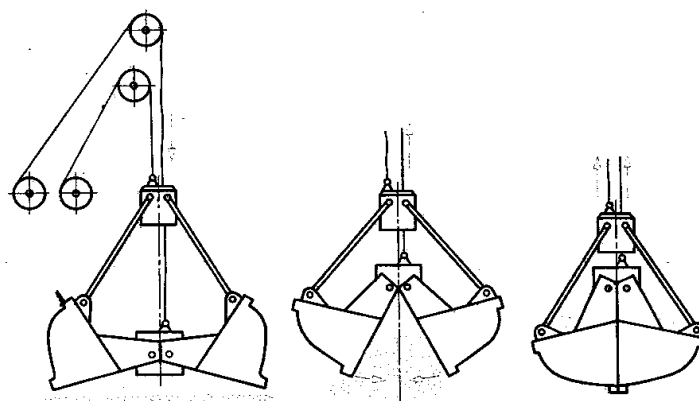
Uchwyty (rys. 94) działają na zasadzie tarcia. Stosuje się je do transportu materiałów stałych. W wyniku napięcia cięgna następuje samoczynne zakleszczenie się uchwyty na powierzchniach podnoszonego ładunku. W celu zwiększenia pewności działania powierzchnie ich są odpowiednio ukształtowane, np. radełkowane.

Chwytaکی są przeznaczone do transportu materiałów sypkich (na przykład rudy, ziemi, węgla).



Rys. 94. Uchwyty: a) kleszczowy, b, c) mimośrodowe do poziomego i pionowego transportu blach [2].

Chwytaکی elektromagnetyczne oprócz rud żelaza mogą przenosić także inne materiały ferromagnetyczne na przykład wióry stalowe, złom. Zasadę działania chwytaka do ładunków sypkich wyjaśniono na rys. 95.



Rys. 95. Zasada działania chwytaka do ładunków sypkich [2].

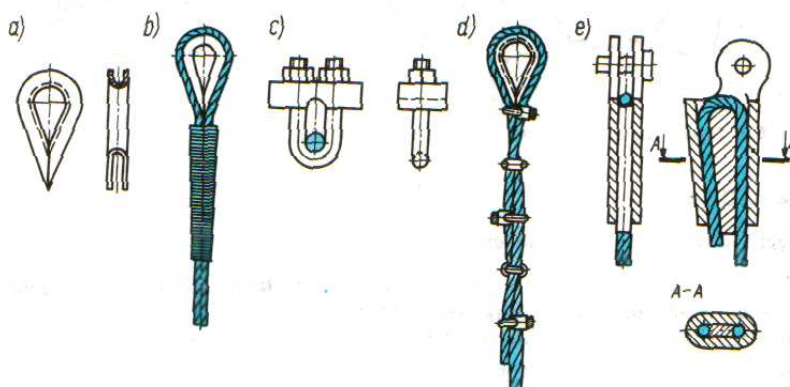
Cięgna mogą stanowić liny lub łańcuchy.

Liny mogą być konopne (stosowane coraz rzadziej) oraz stalowe z drutu o średnicy 0,5–2 mm. Wiązki drutów o jednakowej średnicy są skręcane w żyły, które następnie nawija się wokół rdzenia stalowego lub konopnego nasyczonego smarem. Tworzą one linę współzwitą, gdy druty w żyły są skręcane w tym samym kierunku co żyły wokół rdzenia. O linie przeciwwzitej mówimy wtedy, gdy druty są skręcane w przeciwnym kierunku niż żyły wokół rdzenia. Te ostatnie są lepsze, gdyż nie wykazują tendencji do rozwijania się.

Liny mają określoną trwałość, uzależnioną od intensywności pracy urządzenia dźwigowego. Należy je często sprawdzać, a po stwierdzeniu pewnej liczby pęknięć drutów na odpowiednim odcinku pomiarowym konieczne wymienić. Liczbę dopuszczalnych pęknięć drutów dla poszczególnych rodzajów lin określają szczegółowo odpowiednie normy i przepisy. Ponadto okresowo ocenia się stopień skorodowania, rozluźnienie drutów i żył, deformację oraz stopień starcia drutów.

Liny muszą być odpowiednio zakończone, co zabezpiecza je przed rozluźnieniem drutów i żył oraz umożliwia uniknięcie bezpośredniego ich styku z mocowanymi chwytami i hakami. Ochroną przed rozluźnieniem jest splecenie ich drutem na długości minimum 20 d (rys. 96 b) lub za pomocą specjalnych zacisków (rys. 96 c i d).

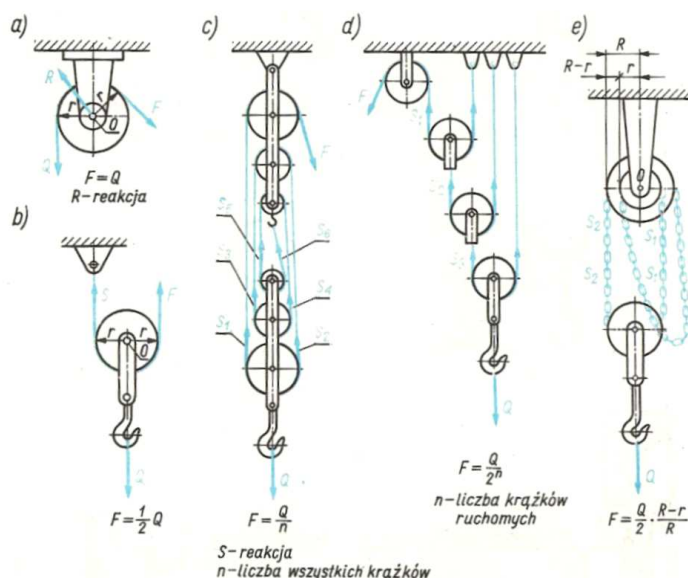
Koniec liny może być owinięty na sercówce (rys. 96 a, b i d) lub umocowany w klinie (rys. 96 e). Zaciskanie liny w klinie następuje samoczynnie — na skutek obciążenia (sposób ten ułatwia szybką jej wymianę).



Rys. 96. Sposoby mocowania i zabezpieczanie końców lin: a) sercówka, b) na sercówce z końcem splecionym, c) zacisk linowy, d) na sercówce z zaciskami, e) za pomocą klina [2].

Krażki linowe i łańcuchowe mogą być stałe, obracające się wokół własnej osi oraz ruchome, wykonujące dodatkowy ruch prostoliniowy. Krażki stałe zmieniają tylko kierunek ruchu, ruchome zaś redukują siłę podnoszenia.

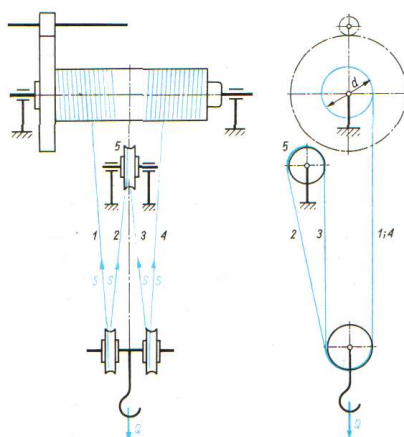
Układy składające się z krażków stałych i ruchomych noszą nazwę wielokrażków (rys. 97). Wielokrażki potęgowe (rys. 97 d) i różnicowe (rys. 97 c) wymagają użycie najmniejszej siły podnoszenia F , dlatego są stosowane najczęściej.



Rys. 97. Krażki i wielokrażki: a) krażek stały, b) krażek ruchomy, c) wielokrażek zwykły, d) wielokrażek potęgowy, e) wielokrażek różnicowy [2].

Bębny linowe są przeznaczone do nawijania długich odcinków cięgien. Powierzchnie bębnow są gładkie lub rowkowane. Bębny z powierzchnią gładką są stosowane do lin konopnych, a rowkowane – do lin stalowych. Na rysunku 98 przedstawiono schemat bębna linowego do jednoczesnego nawijania dwóch cięgien. Na swej zewnętrznej powierzchni ma on podwójny rowek śrubowy (prawy i lewy), odpowiadający średnicy liny stalowej.

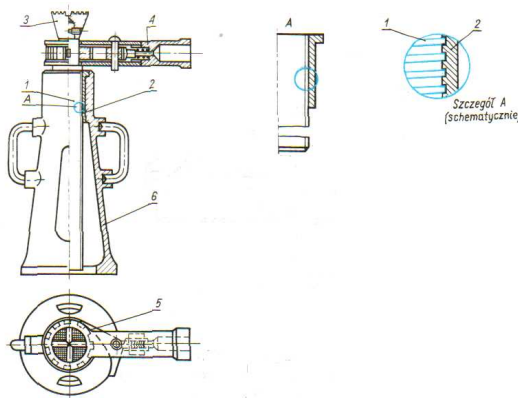
Liny są nawijane tylko jedną warstwą, dokładnie układając się w rowkach. Stąd też, w zależności od długości cięgien i przenoszenia obciążenia, bęben musi mieć odpowiednią średnicę oraz liczbę rowków.



Rys. 98. Schemat bębna i nawijania liny stalowej: 1, 2, 3, 4) odcinki liny, 5) krażek wyrównawczy [2].

Dźwigniki stanowią najprostsze dźwignice przeznaczone do podnoszenia ładunków na niewielkie wysokości za pomocą takich elementów, jak śruby, zębaki, tłoki hydrauliczne lub pneumatyczne. Są napędzane ręcznie lub za pomocą silnika. Rozróżnia się dźwigniki: śrubowe, zębatkowe i tłokowe.

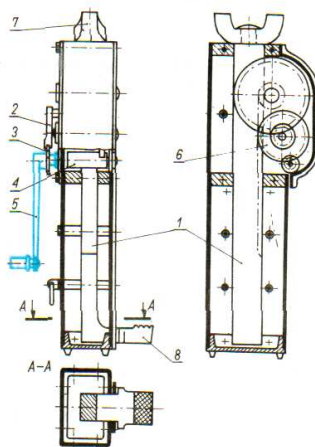
Dźwigniki śrubowe (rys. 99) są przeznaczone do podnoszenia ładunków o masie do 25 t na wysokość 100–400 mm. Najważniejszymi ich elementami są stalowa śruba 1 z gwintem o zarysie prostokątnym lub trapezowym, oraz nakrętka 2 z brązu lub żeliwa. Zależnie od sposobu umieszczania ładunku śruba jest zakończona głowicą 3 (u góry) lub pazurem (u dołu). Do napędu urządzenia służy dźwignia 4 wraz z mechanizmem zapadkowym 5, pozwalającym na ruch tylko w jednym kierunku.



Rys. 99. Dźwignik śrubowy: 1) śruba, 2) nakrętka, 3) głowica, 4) dźwignia, 5) mechanizm zapadkowy, 5) korpus z żeliwa lub blachy [2].

W prostszych dźwignikach jako zabezpieczenie przed opadaniem ładunku stosuje się śrubę samohamowną z gwintem o pochyleniu linii śrubowej $\gamma = 4 \div 6^\circ$, co jednakże obniża sprawność urządzenia.

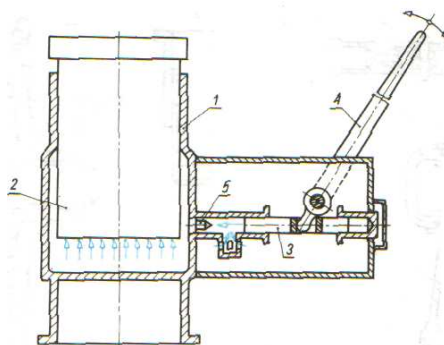
Dźwigniki zębatkowe (rys. 100) służą do podnoszenia ładunków do 25 t na wysokość do 400 mm. Zamiast śruby użyta jest zębata 1 współpracująca z przekładnią zębatą 6, redukującą siłę podnoszenia. Przekładnia ta wraz z mechanizmem zapadkowym jest sprzężona z dźwignią napędzającą. Podobnie jak w dźwigniku śrubowym, zębata jest zakończona głowicą 7 lub pazurem S.



Rys. 100. Dźwignik zębatkowy: 1) zębata, 2) zapadka, 3) koło zapadkowe, 4) wałek napędzający, 5) korba, 6) przekładnia zębata, 7) głowica, 8) pazur [2].

Dźwigniki tłokowe (rys. 101) – w zależności od stosowanego czynnika – mogą być hydrauliczne (olej) lub pneumatyczne (powietrze). Podnoszą one ładunki o masie do 500 t na wysokość 200–1600 mm. Ciśnienie czynnika jest wywierane za pomocą tłoka 3 o małej średnicy, który jest uruchamiany za pomocą dźwigni 4 lub silnika elektrycznego. Drugi tłok 2 o średnicy większej, bezpośrednio podpierający podnoszony ładunek, dzięki wysokiemu ciśnieniu czynnika sprężonego przez tłok 3, przemieszcza się do góry. Siła podnoszenia jest wielokrotnie większa od siły działającej na dźwignię. Krotność ta wynika ze stosunku średnic dużego i małego tłoka. Zawór zwrotny 5 umożliwia przepływ czynnika tylko w jednym kierunku.

Warunkiem prawidłowej pracy dźwigników hydraulicznych i pneumatycznych jest zachowanie szczelności, co stanowi ich wadę. Ze względu jednak na dużą sprawność i udźwig są one powszechnie stosowane w stacjach obsługi samochodów



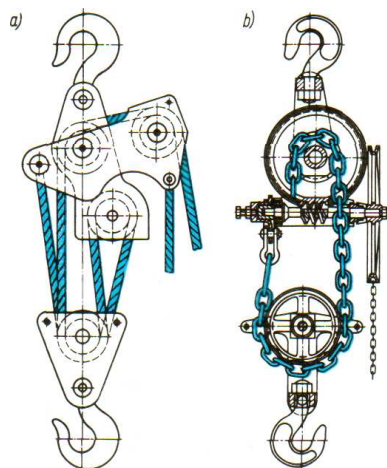
Rys. 101. Dźwignik tłokowy hydrauliczny: 1) cylinder, 2) tłok o dużej średnicy, 3) tłok o małej średnicy, 4) dźwignia, 5) zawór zwrotny [2].

Cięgniki tworzą grupę prostych dźwignic przeznaczonych do przeciągania lub podnoszenia ładunków za pomocą cięgien i odpowiednich zespołów chwytających. Mogą być napędzane ręcznie lub silnikiem elektrycznym. Ze względu na sposób przenoszenia dzieli się je na:

- wciągniki, podnoszące ładunki na różne wysokości,
- wciągarki, przenoszące ładunki podobnie jak wciągniki – z tym, że opuszczanie ładunku może się odbywać samoczynnie pod wpływem jego siły ciężkości,
- przyciągarki, przybliżające i oddalające ładunek,
- wyciągi (windy), przenoszące ładunki w kierunku zwykle pionowym i poruszające się po specjalnych prowadnicach.

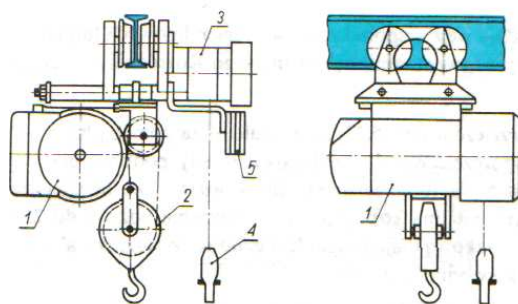
Wciągniki składają się z zespołu krążków, cięgien linowych lub łańcuchowych, urządzeń chwytających i ewentualnie bębna linowego. Rozróżnia się wciągniki nieprzejezdne i przejezdne.

Wciągniki nieprzejezdne (rys. 102) są na stałe – za pomocą haka – umocowane na konstrukcji wsporczej. W celu zredukowania siły podnoszenia mają wbudowany wielokrążek (rys. 104 a) lub przekładnię ślimakową (rys. 104 b). Cięgnem we wciągniku wielokrążkowym jest lina konopna, która zapewnia udźwig do 250 kg. Wciągniki z przekładnią ślimakową mają ciągną łańcuchowe. Wciągniki takie umożliwiają podnoszenie ładunków o masie do 10 Mg.



Rys. 102. Wciągniki: a) linowy , b) łańcuchowy [2].

Wciągniki przejezdne (rys. 103) poruszają się po szynach jezdnych w kształcie teownika. Najczęściej są napędzane silnikiem elektrycznym 1 sprzężonym z bębniem linowym, na którym jest nawinięta lina stalowa zakończona zbloczem 2. Wciągniki te stanowią wyposażenie suwnic lub mogą pracować jako urządzenia samodzielne.

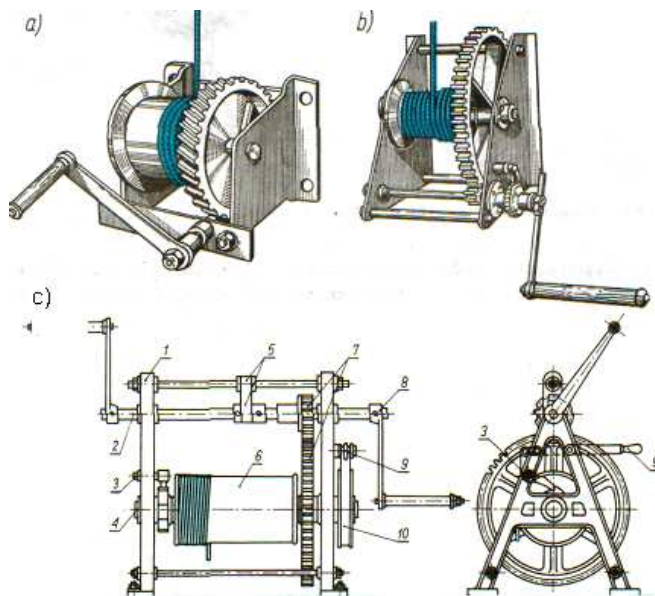


Rys. 103. Wciągnik przejezdny elektryczny: 1) silnik elektryczny, 2) zblocze, 3) silnik elektryczny jazdy, 4) przycisk sterujący, 5) przeciwcieżar [2].

Ruch wciągnika po szynach jest wywołany za pomocą mechanizmu ręcznego lub dodatkowego silnika elektrycznego 3. Można je także przesuwac przez ciągnięcie za dolny hak, ciągnie lub zawieszony ładunek. Udźwig wciągników przejezdnych wynosi do 25 Mg, prędkość podnoszenia do 15 m/min, a wysokość podnoszenia – do 15 m.

Wciągarki mogą pracować jako przyścienne – zamocowane w płaszczyźnie pionowej – lub stojakowe – zamocowane w płaszczyźnie poziomej.

Wciągarki przyścienne (rys. 104 a, b) mają najczęściej napęd ręczny. Składają się z bębna linowego sprzężonego z przekładnią zębatą ślimakową lub walcową, redukującą siłę podnoszenia. Cały mechanizm jest osadzony między dwoma wspornikami przytwierdzonymi do ściany za pomocą śrub. Udźwig tych wciągarek nie przekracza 2 Mg.



Rys. 104. Wciągarki przyściennie: a) z przekładnią ślimakową, b) z przekładnią zębatą walcową, c) wciągarka stojakowa; 1) rama, 2) wał napędowy, 3) oś zapadki, 4) wał bębna, 5) zapadka ustalająca położenie wału, 6) bęben, 7) przekładnia zębata, 8) korba, 9) dźwignia hamulcowa, 10) hamulec ciągnowy [2].

Szersze zastosowanie znajdują wciągarki stojakowe z napędem ręcznym lub elektrycznym. Wciągarka stojakowa z napędem ręcznym (rys. 106 c) jest zbudowana podobnie jak przyścienna. Różni się jedynie sposobem zamocowania, wielkością i udźwigniem.

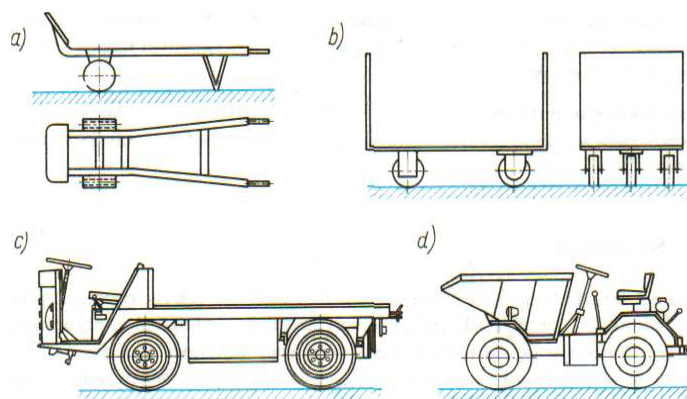
Dodatkowo ma wbudowany hamulec ciągnowy. Wciągarki te mogą podnosić ładunek o masie do 20 Mg. Częściej są stosowane wciągarki stojakowe z napędem elektrycznym, zwłaszcza na statkach – do wciągania kotwicy i sieci, czyli tzw. włoków, oraz w budownictwie – do poruszania wciągów.

Wózki są podstawowym środkiem transportu wewnątrzzakładowego lub wydziałowego. Służą do przewożenia ładunków (ułożonych w nich lub zawieszonych) w płaszczyźnie poziomej.

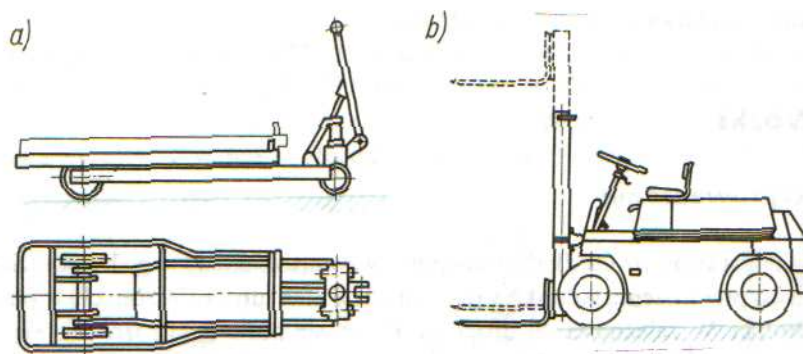
W zależności od drogi, po której się poruszają, rozróżnia się wózki jezdniowe (rys. 105) i torowe, a ze względu na napęd – z napędem ręcznym i silnikowym (elektrycznym lub spalinowym).

Wózki jezdniowe poruszają się po nawierzchni utwardzonej. Kierunek ich jazdy jest dowolny. Rozróżniamy wózki jezdniowe naładowne i podnośnikowe.

Wózki podnośnikowe (rys. 106) są wyposażone w urządzenia do podnoszenia ładunku na pewną wysokość oraz do jego transportu. Wózki takie podejżdżają pod ładunek umieszczony najczęściej na palecie lub w pojemniku na takiej wysokości od podłoża, aby umożliwić swobodny dostęp urządzenia podnośnikowego wózka (musi się ono zmieścić pod paletą lub pojemnikiem).. Palety transportowe mogą mieć różne wymiary. Na przykład paleta typu EURO posiada wymiary 800 x 1200 mm.



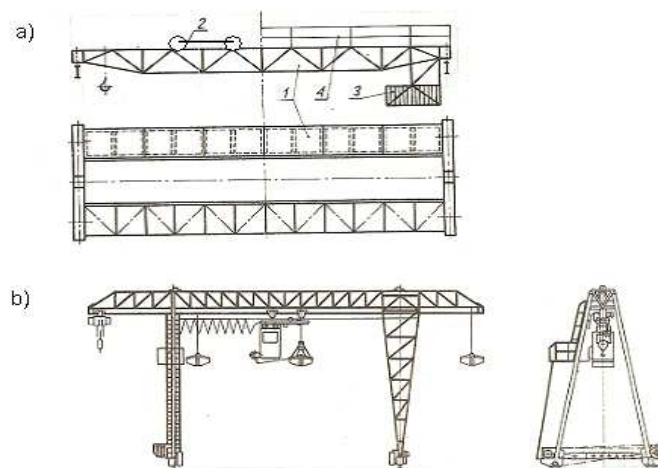
Rys. 105. Wózki naładowne: a) taczka dwukołowa, b) platformowy ręczny, c) platformowy elektryczny, d) skrzyniowy spalinowy [2].



Rys. 106. Wózki podnośnikowe: a) ręczny, b) widłowy [2].

Suwnice należą do rozpowszechnionej grupy dźwignic, których zadaniem jest przenoszenie ładunków w obrębie całej hali produkcyjnej lub pewnej ograniczonej przestrzeni otwartej. Poruszają się po torach dzięki własnemu układowi napędowemu jazdy. Główny ich zespół, zwany mostem, stanowi konstrukcję wsporcza suwnicy. Na moście porusza się napędzany wózek wraz z wciągnikiem wyposażonym w różne zespoły chwytające. Sterowanie suwnic może odbywać się z kabiny stanowiącej integralną część suwnicy lub pulpitu. W pierwszym przypadku operator znajduje się w kabinie i porusza się wraz z suwnicą, w drugim zaś steruje pracą suwnicy zdalnie. Każda suwnica zawiera trzy mechanizmy: jazdy suwnicy, jazdy wózka z wciągnikiem oraz napęd wciągnika do podnoszenia ładunków. W zależności od położenia torów jezdnych rozróżnia się suwnice: pomostowe, bramowe i półbramowe. Suwnice pomostowe (rys. 107) poruszają się po torach podwieszonych znajdujących się powyżej ładunku, natomiast suwnice bramowe (rys. 108) po torach ułożonych na ziemi, czyli na poziomie przenoszonego ładunku. Suwnice półbramowe stanowią kombinację dwu poprzednich.

Żurawie to dźwignice obracające się wokół własnej osi pionowej, których przestrzeń robocza jest w kształcie walca o wysokości równej wysokości podnoszenia i promieniu podstawy odpowiadającym wysięgowi ramienia. W przypadku żurawi nie wykonujących pełnego obrotu przestrzeń ta stanowi połowę walca. Żurawie dzieli się na stałe i przesuwne. Żurawie stałe są budowane jako przyścienne i wolno stojące, żurawie przesuwne zaś mogą być przejezdne po szynach (torowe), jezdniowe i pływające. Żurawie stałe, stosowane w transporcie międzystanowiskowym, stanowią najprostszą grupę żurawi.



Rys. 107. Suwnica: a) pomostowa, b) bramowa: 1) most, 2) wciągnik, 3) kabina sterownicza, 4) poręcz [2].

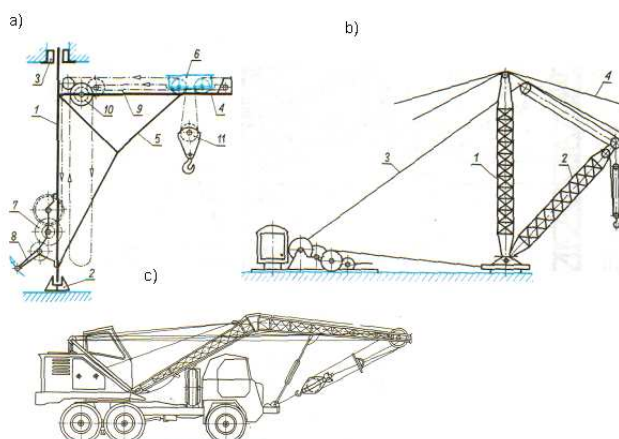
Wysięg ich może być stały lub zmienny. Zmiana wysięgu jest dokonywana w dwojaki sposób:

- przez zastosowanie wciągnika przejeźdnego na poziomym ramieniu żurawia, tak zwanym wysięgniku (rys. 18 a),
- za pomocą wychylnego wysięgnika, zmieniającego kąt nachylenia za pomocą mechanizmu podnoszenia i ciągnienia (rys. 18 b).

Odmianę żurawi stałych stanowią manipulatory, które odznaczają się dużą sprawnością i wydajnością. Służą zwykle do zakładania ciężkich przyrządów i elementów na obrabiarki.

Żurawie stałe przyściennie mają węższy zakres stosowania, ponieważ kąt ich obrotu wynosi do 180° .

Żurawie przesuwne w odróżnieniu od stałych pracują przede wszystkim na otwartych przestrzeniach. Są stosowane w budownictwie, przemyśle stoczniowym, portach. Do wznoszenia wysokich budynków są stosowane żurawie torowe wieżowe, których udźwig jest zmienny w zależności od wysięgu. Żurawie jezdniowe (rys. 108 c) są montowane na podwoziach samochodowych.



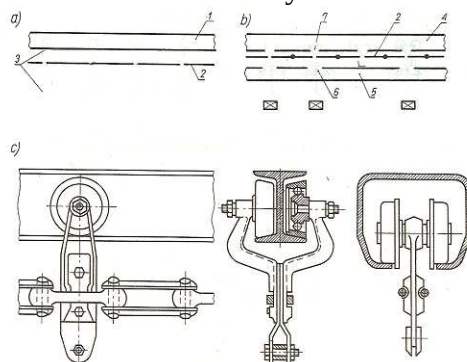
Rys. 108. Żuraw: a) przyścienny (1 – słup, 2 – łożyska wzdłużne, 3 – łożysko poprzeczne, 4 – wysięgnik, 5 – skośny łącznik, 6 – wózek, 7 – mechanizm podnoszenia, 8 – korba do napędzania mechanizmu podnoszenia, 9 – łańcuch do poruszania wózka, 10 – mechanizm jazdy wózka, 11 – ruchome zblocze żurawia), b) wolno stojący masztowy (1 – maszt, 2 – wysięgnik, 3 – lina mechanizmu podnoszenia wysięgnika, 4 – kotwy linowe), c) samochodowy [2].

Przenośniki są przeznaczone do transportu materiałów sypkich (kruszyw, węgla) i ładunków jednostkowych w procesach obróbkowych i montażowych.

Przenośniki podwieszone są bardzo rozpowszechnione w dużych zakładach przemysłowych o jednorodnej i masowej produkcji, np. w procesach montażowych samochodów, rowerów, w liniach lakierniczych. Ładunki są umieszczane na specjalnych zawieszkach o konstrukcji dostosowanej do rodzaju i kształtu ładunku. W pewnych odległościach od siebie zawieszki te są doczepione do wózków poruszających się po szynach, usytuowanych powyżej stanowisk pracy. Całość jest sprzęgnięta napędzanym ciągnem, najczęściej łańcuchem

Rysunek 109 ilustruje zasady działania i budowy przenośników podwieszonych.

Zaletami przenośników podwieszonych są: wszechstronność zastosowania, zajmowanie małej powierzchni, możliwość kształtowania dowolnych tras.

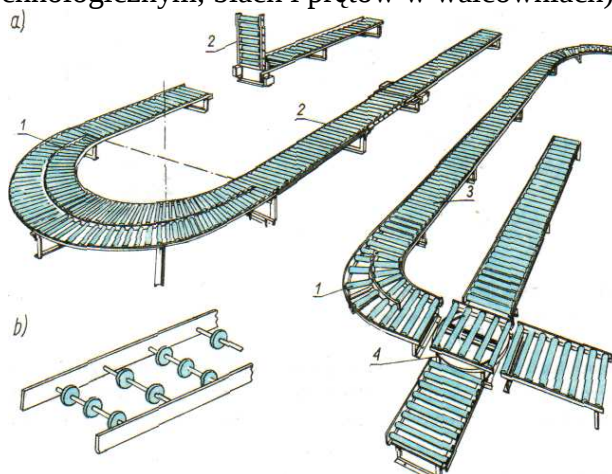


Rys. 109. Schematy przenośników podwieszonych: a) jednotorowego, b) dwutorowego, c) przykłady konstrukcji przenośników jednotorowych; 1) tor jezdny, 2) ciągnie, 3) wózek, 4) tor jezdny wózków napędowych, 5) tor jezdny wózków nośnych, 6) wózek nośny, 7) wózek napędowy [2].

Przenośniki bezciągnowe

Materiał jest przenoszony bez użycia ciągnia. Transport odbywa się za pomocą takich elementów, jak śruby, wałki, krążki – stąd też podział tych przenośników na śrubowe, wałkowe i krążkowe.

Przenośniki wałkowe (rys. 110 a) i krążkowe (rys. 110 b) służą do transportu jednostkowych ładunków w postaci brył (na przykład skrzyń w magazynach, korpusów urządzeń w procesie technologicznym, blach i prętów w walcowniach).



Rys. 110. Przenośniki bezciągnowe: a) wałkowy, b) krążkowy: 1) segmenty łukowe, 2) segment odchylający, 3) segment prosty, 4) obrotnica [2].

Budowa przenośników wałkowych i krążkowych jest bardzo zbliżona, a różnica między nimi polega tylko na zastosowaniu innych elementów przenoszących.

Wałki są wykonywane z rur o średnicy 50–160 mm. Rozmieszcza się je w odległości 80–250 mm i łożyskuje w celu zmniejszenia tarcia.

Wałki i krążki z reguły nie są napędzane; transport ładunków odbywa się ręcznie lub przez pchanie albo ciągnięcie za pomocą dodatkowego mechanizmu napędzającego. W przypadku ciągnięcia ładunki muszą być ze sobą połączone za pomocą zaczepów.

4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakich wyróżniamy rodzaje maszyn i urządzeń do transportu wewnętrznego ciał stałych?
2. Kiedy stosujemy dźwignice?
3. Co to są przenośniki?
4. Jakiego zastosowania mają wózki transportowe?
5. Do czego służą dźwigniki?
6. Do czego służą ciągniki?
8. Do czego służą żurawie?
9. Do czego służą suwnice?
10. Jaki jest przeznaczenie przenośników taśmowych?
11. Kiedy stosujemy przenośniki ślimakowe?
12. Jakiego mają przeznaczenie ręczne wózki transportowe platformowe?
13. Do czego służą napędzane wózki widłowe?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dobierz dźwignik do podniesienia o 115 cm, ciężaru 2 Mg, stojącego na nóżkach o wysokości 150 mm.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinien:

- 1) dobrać właściwy dźwignik posługując się katalogami (lub korzystając z Internetu),
- 2) podać typ dźwignika i jego parametry,
- 3) dokonać oceny ćwiczenia,
- 4) zapisać wyniki przeprowadzonego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- normy PN, ISO,
- Poradnik mechanika,
- zbiór zadań z części maszyn,

Ćwiczenie 2

Opracuj plan transportu tokarki z samochodu do hali produkcyjnej na miejsce jej instalacji. W hali produkcyjnej jest suwnica o odpowiednim udźwigu.

Sposób wykonania ćwiczenia

- 1) zapoznać się ze sposobem transportu obrabiarek,
- 2) zaplanować dobór odpowiednich zawiesi,

- 3) zaplanować sposób podłączenia tokarki do suwnicy,
- 4) zanotować dane techniczne dobranych maszyn i urządzeń,
- 5) dokonać oceny ćwiczenia,
- 6) zapisać wyniki przeprowadzonego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Dokumentacja Techniczno-Ruchowa obrabiarek,
- katalogi maszyn i urządzeń transportu wewnętrznego.

4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

Tak Nie

- 1) sklasyfikować przenośniki?
- 2) omówić zastosowanie wybranego przenośnika?
- 3) sklasyfikować wózki transportowe?
- 4) określić zastosowanie wybranego wózka transportowego?
- 5) sklasyfikować dźwigniki?
- 6) sklasyfikować przenośniki?
- 7) dobrać maszynę, urządzenie do transportu wewnętrznego?
- 8) określić wymagania dotyczące eksploatacji wózków widłowych „napędzanych”?

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

Instrukcja dla ucznia

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
4. Test zawiera 20 zadań. Do każdego zadania podane są cztery możliwe odpowiedzi, z których tylko jedna jest prawidłowa.
5. Udzielaj odpowiedzi na załączonej karcie odpowiedzi, stawiając w odpowiedniej rubryce znak X. W przypadku pomyłki należy błędną odpowiedź zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić odpowiedź prawidłową.
6. Zadania wymagające prostych obliczeń, powinieneś wykonać przed wskazaniem poprawnego wyniku. Wskazanie odpowiedzi nawet poprawnej bez uzasadnienia, nie będzie uznane.
7. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
8. Jeśli udzielenie odpowiedzi będzie Ci sprawiało trudność, wtedy odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci wolny czas.
9. Na rozwiązanie testu masz 45 minut.

Powodzenia

ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Wytrzymałość materiału zalicza się do właściwości
 - a) chemicznych.
 - b) mechanicznych.
 - c) fizycznych.
 - d) technologicznych.
2. Zdolność materiałów do przenoszenia obciążeń, to
 - a) wytrzymałość.
 - b) sprężystość.
 - c) twardość.
 - d) kruchość.
3. Naprężenia chwilowe powstałe w materiale zależą od
 - a) naprężeń dopuszczalnych.
 - b) wytrzymałości materiału.
 - c) temperatury otoczenia.
 - d) działającego obciążenia.
4. Próbę wytrzymałościową rozciągania przeprowadza się
 - a) na zrywarce.
 - b) na twardościomierzu.
 - c) na prasie.
 - d) młotkiem Poldi.

5. Granica sprężystości, to wielkość, poniżej której materiał
 - a) posiada zdolność do odkształceń trwałych.
 - b) powraca do stanu początkowego po odjęciu siły.
 - c) zaczyna nadmiernie wydłużać się.
 - d) pęka pod wpływem obciążeń.
6. Plastyczność to cecha materiału, pozwalająca na
 - a) krótkotrwałe obciążanie materiału.
 - b) przenoszenie małych obciążeń.
 - c) dużą kruchość przy podwyższonych temperaturach.
 - d) nadawanie kształtów podczas obróbki plastycznej.
7. Wytrzymałość na rozciąganie, to naprężenie wywołane
 - a) minimalną siłą przyłożoną do próbki ($F_{\min}$).
 - b) siłą która powoduje zerwanie próbki plastycznej (F_u).
 - c) największą siłą przyłożoną do próbki (F_m).
 - d) siłą, powodującą „płynięcie” próbki (F_e).
8. Przydatność materiału do spawania charakteryzuje
 - a) wytrzymałość.
 - b) kruchość.
 - c) lejność.
 - d) zawartość węgla.
9. W podnośnikach śrubowych stosujemy najczęściej gwint
 - a) trapezowy zwykły.
 - b) drobnozwojny.
 - c) trójkątny.
 - d) prostokątny.
10. Właściwości każdej sprężyny charakteryzuje
 - a) skok.
 - b) sztywność sprężyny.
 - c) wyboczenie.
 - d) strzałka ugięcia.
11. Tokarki wewnątrz zakładu można przemieszczać
 - a) suwnicą, do której zawieszona jest maszyna.
 - b) przetaczać na rolkach.
 - c) specjalną platformą.
 - d) wózkiem, na których maszyna spoczywa na rolkach.
12. Reduktory zaliczamy do przekładni
 - a) przyspieszających.
 - b) nie przenoszących napędu.
 - c) zwalniających.
 - d) ślimakowych.

13. Dźwignicę złożoną z konstrukcji nośnej, zwanej mostem, po której porusza się wózek z umieszczoną na nim wciągarką nazywamy
- a) przenośnikiem.
 - b) żurawiem.
 - c) suwnicą.
 - d) podnośnikiem.
14. Połączeniem rozłącznym nie jest
- a) połączenie gwintowe.
 - b) połączenie wciskowe.
 - c) połączenie wpustowe.
 - d) połączenie kołkowe.
15. Wał to element maszyny, który jest
- a) skręcany.
 - b) skręcany i zginany.
 - c) ściskany.
 - d) zginany.
16. Średnica podziałowa koła zębatego walcowego o zębach prostych dla liczby zębów $z = 20$ i modułu $m = 3$ mm wynosi
- a) 100 mm.
 - b) 80 mm.
 - c) 120 mm.
 - d) 60 mm.
17. Przekładnia z krzyżem maltańskim ma zastosowanie do
- a) przekazywania ruchu przerywanego.
 - b) napędu wiertarek ręcznych.
 - c) przekazywania napędu w windach domowych.
 - d) napędów w pojazdach samochodowych.
18. Sprzęgło Cardana służy do
- a) samoczynnego włączenia i wyłączenia wału biernego.
 - b) łączenia wałów ustawionych pod kątem.
 - c) sztywnego połączenia wałów.
 - d) zabezpieczeniem wałów przed przeciążeniem.
19. Najgłośniej pracuje przekładnia
- a) z pasem płaskim.
 - b) z pasem zębatym.
 - c) łańcuchowa.
 - d) z pasem klinowym.
20. Koła zębate walcowe w zależności od rodzaju uzębienia dzielimy na koła
- a) o zębach prostych, stożkowych, skośnych.
 - b) o zębach krzywoliniowych, stożkowych, daszkowych.
 - c) ślimakowe, daszkowe, skośne.
 - d) o zębach prostych, skośnych, daszkowych, z uzębieniem wewnętrznym, zębatka.

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko

Rozpoznawanie części maszyn, mechanizmów i urządzeń transportu wewnątrz zakładowego

Zakreśl poprawną odpowiedź.

Nr zadania	Odpowiedź				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12	a	b	c	d	
13	a	b	c	d	
14	a	b	c	d	
15	a	b	c	d	
16	a	b	c	d	
17	a	b	c	d	
18	a	b	c	d	
19	a	b	c	d	
20	a	b	c	d	
Razem:					

6. LITERATURA

1. Katalog Polskich Norm
2. Bożenko L.: Maszynoznawstwo dla szkoły zasadniczej. WSiP, Warszawa 2004
3. Dretkiewicz-Więch J.: Materiałoznawstwo: materiały do ćwiczeń. Technologia ogólna. Zeszyt 1. OBR PNİSS, Warszawa 1993
4. Godlewski M., Tym Z.: Poradnik dla mechaników. WSiP, Warszawa 1991
5. Górecki A.: Technologia ogólna: podstawy technologii mechanicznych. WSiP, Warszawa 2005
6. Kijewski J. i inni: Maszynoznawstwo. WSiP, Warszawa 2005
7. Mac S.: Obróbka metali z materiałoznawstwem. WSiP, Warszawa 1992
8. Rutkowski A.: Części maszyn. WSiP, Warszawa 2004
9. Siuta W.: Mechanika techniczna. WSiP, Warszawa 2004
10. Swat K.: Bezpieczeństwo i higiena pracy dla mechaników. WSiP, Warszawa 1992