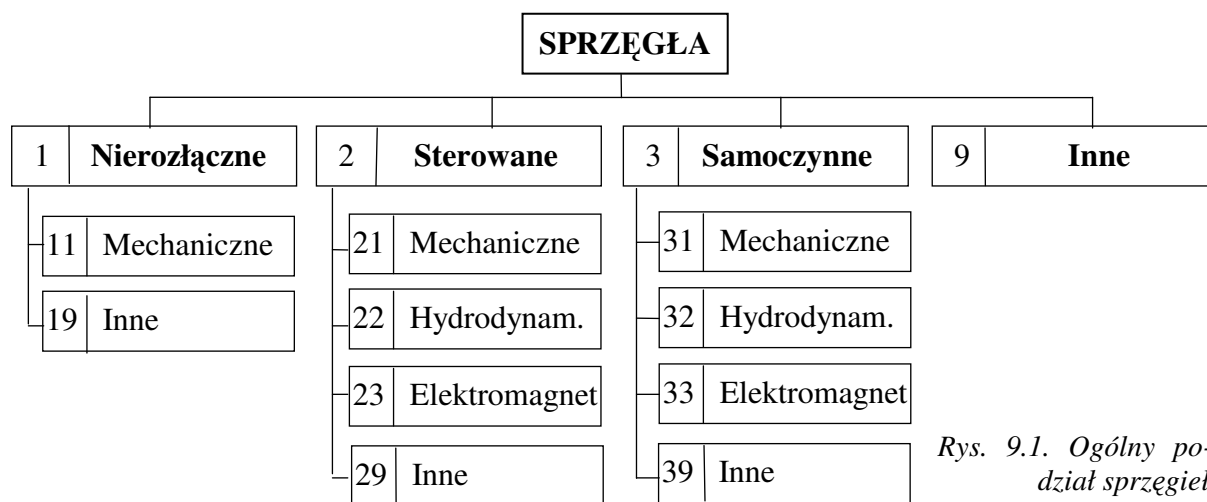


## 9.0. Sprzęgła i hamulce

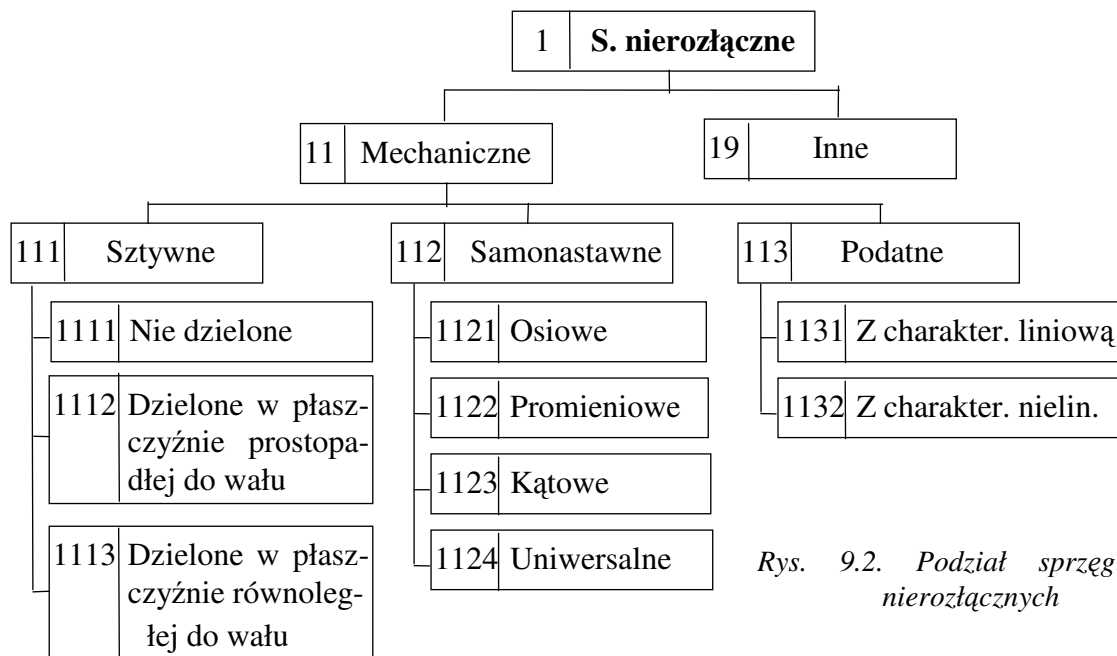
### 9.1. Sprzęgła

**Sprzęgło** - podzespół konstrukcyjny służący do przekazywania energii ruchu obrotowego między wałami bez zamierzonej zmiany jej parametrów tzn. mocy, momentu, prędkości obrotowej, kierunku i zwrotu. W skład sprzęgła wchodzi ogólnie: część napędzająca (czynna), część napędzana (bierna) i łącznik.

#### 9.1.1. Podział i cechy konstrukcyjne

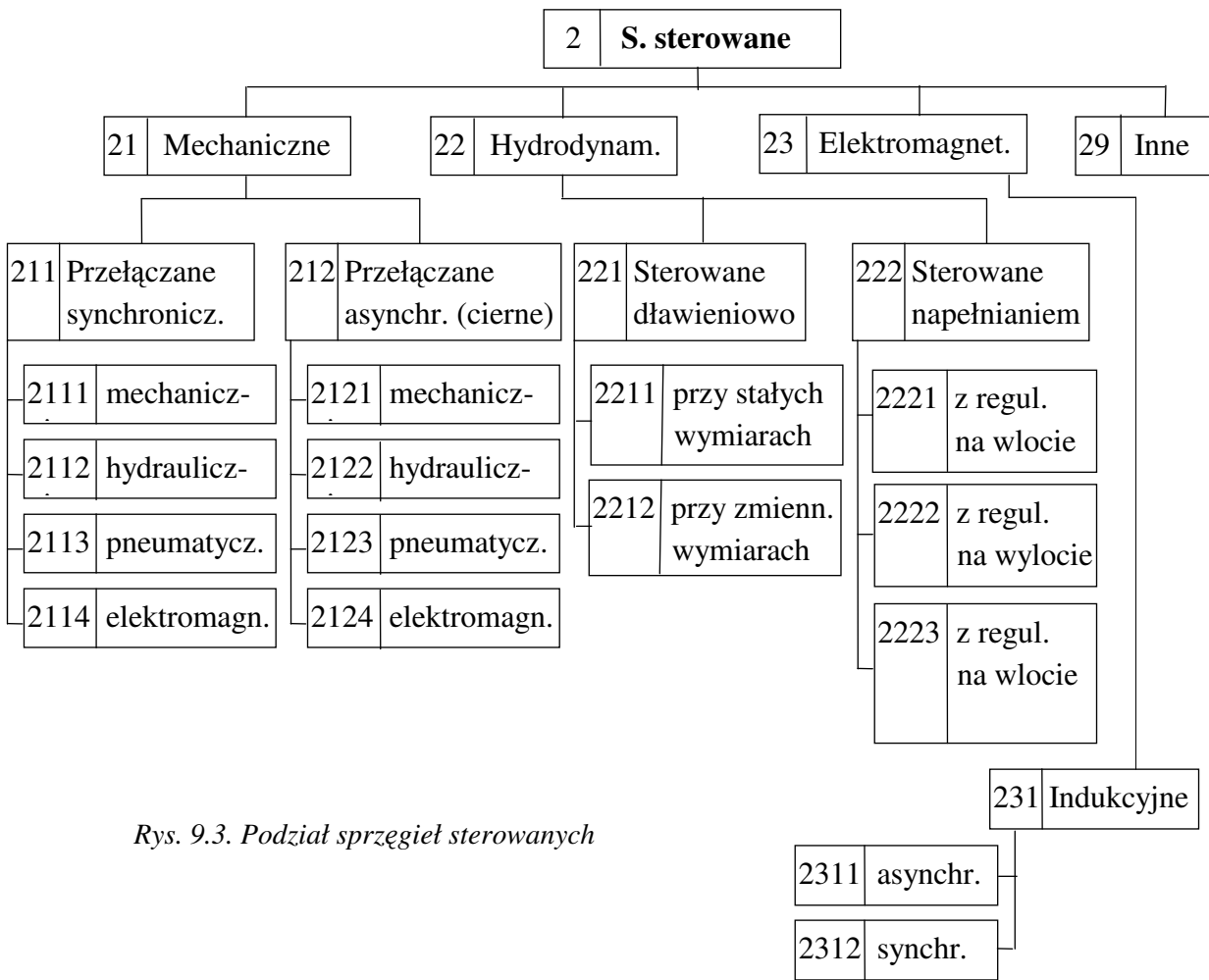


Rys. 9.1. Ogólny podział sprzęgieł

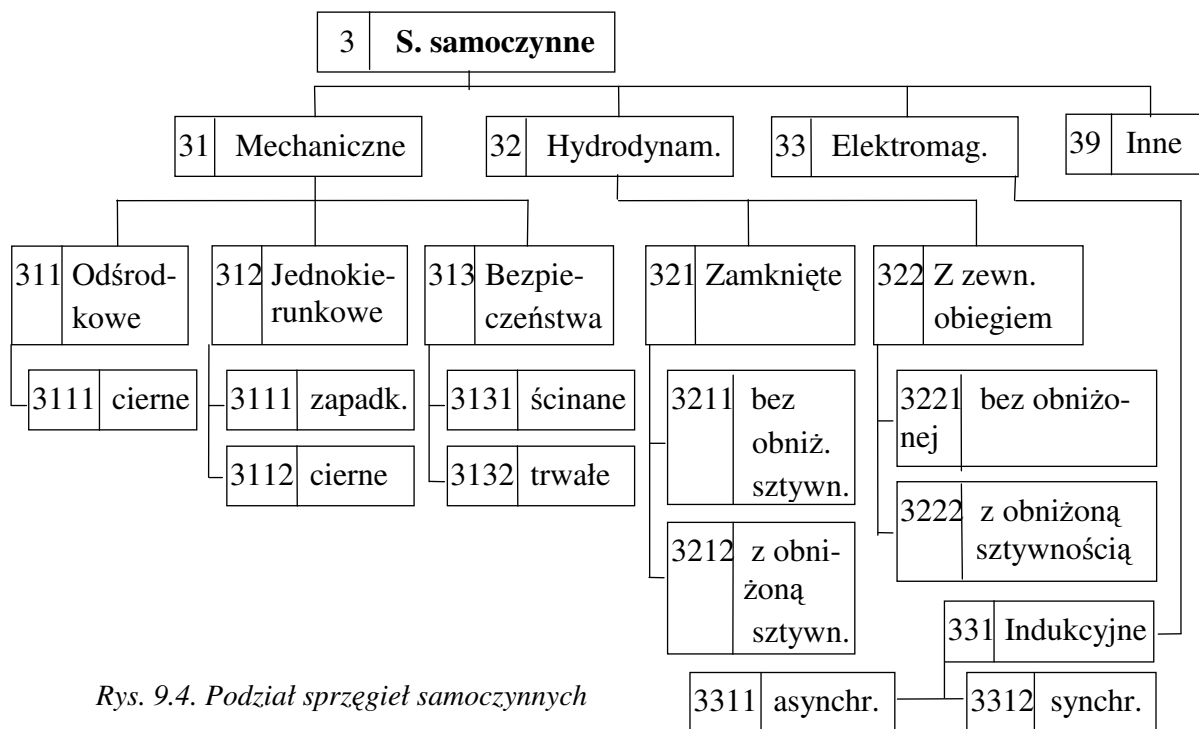


Rys. 9.2. Podział sprzęgieł nierozłącznych

Podziału sprzęgieł wg [1] dokonano ze względu na funkcję jaką w sprzęgle spełnia łącznik.



Rys. 9.3. Podział sprzęgieł sterowanych



Rys. 9.4. Podział sprzęgieł samoczynnych

### 9.1.2. Dobór sprzęgieł

Doboru sprzęgieł nierozłącznych dokonuje się względem wartości momentu obrotowego określonego ogólnym wzorem [1]:

$$M_0 = K \cdot M_n \quad (9.1)$$

gdzie:  $M_n$  - moment nominalny napędu określany z zależności:

$$M_n [\text{Nm}] = 9550 \cdot \frac{N[\text{kW}]}{n[\text{obr} / \text{min}]} \quad (9.1a)$$

$N$  - moc nominalna przenoszona przez sprzęgło,  $n$  - prędkość obrotowa ruchu sprzęgła.

$K$  – współczynnik przeciążenia:

- dla sprzęgieł sztywnych i samonastawnych:  $K = K_1 + K_2 \quad (9.1b)$

$K_1$  – współczynnik zależny od rodzaju silnika (tab. 9.1),  $K_2$  – współczynnik zależny od dynamiki maszyny (tab. 9.2),

Tab. 9.1. Wartości współczynnika  $K_1$  wg [4].

Silnik	$K_1$
Silnik elektryczny	0,25
Turbina parowa, t. gazowa	0,30
Turbina wodna	0,50
Maszyna parowa tłokowa	0,75
Silnik spalinowy o stopniu niejednostajności ruchu < 1/100:	
- 6 cylindrów	0,40
- 4 cylindry	0,50
- 3 cylindry	0,60
- 2 cylindry	0,80
- 1 cylinder	1,20

- dla sprzęgieł podatnych wartości współczynników przeciążenia zawiera tablica 9.3.
- dla sprzęgieł ciernych:

$$K = \frac{\beta}{k_m \cdot k_v} \quad (9.1c)$$

$\beta$  - współczynnik zależny od rodzaju maszyny (tab. 9.4),  $k_v$  - współczynnik prędkości poślizgu (tab. 9.5),  $k_m$  – współczynnik liczby włączeń określony zależnością:

$$k_m = 1 - 0,002 \cdot (m - m_{gr}) \leq 1 \quad (9.1d)$$

$m$  – liczba włączeń na godzinę,  $m_{gr}$  - graniczna liczba włączeń równa 50 do 100.

Doboru sprzęgieł rozłącznych dokonuje się w zależności od charakteru rozruchu maszyny:

- rozruch „ciężki” (gdy rozpędzanie maszyny odbywa się podczas działania obciążenia roboczego):

$$M_0 = M_n + M_r \quad (9.2)$$

Tab. 9.2. Wartości współczynnika  $K_2$  wg [4].

Maszyna napędzana	$K_2$
1. Przyśpieszane masy bardzo małe, ruch jednostajny. Wentylatory, pompy wirnikowe, dmuchawy rotacyjne, małe obrabiarki o ruchu obrotowym, podnośniki rzadko włączane itp.	0,9 ÷ 1,0
2. Przyśpieszane masy małe, ruch jednostajny. Sprężarki wirnikowe, duże wentylatory, pompy tłokowe o stopniu niejednostajności ruchu < 1/100, transportery taśmowe, podnośniki do 120 włączeń/h, mechanizmy obrotu żurawi, maszyny tekstylne, lekkie obrabiarki do drewna i metali o ruchu obrotowym.	1,1 ÷ 1,2
3. Przyśpieszane masy średnie, ruch jednostajny. Wstrząsarki, maszyny pralnicze, mieszarki, przenośniki łańcuchowe, nożyce, prasy, windy towarowe, szlifierki, dźwigi i wciągarki do 300 włączeń/h.	1,3 ÷ 1,4
4. Przyśpieszane masy średnie, występują silne uderzenia. Młyny odśrodkowe, betoniarki, maszyny przedziałnicze, generatory spawelnicze, strugarki do metali, wentylatory kopalniane, prasy do cegieł, piece obrotowe, młoty, dźwigi i wciągarki powyżej 300 włączeń/h.	1,5 ÷ 1,6
5. Przyśpieszane masy duże, występują silne uderzenia. Kalandry i maszyny papiernicze, prasy kuźnicze, brykietarki, pompy tłokowe z lekkim kołem zamachowym, napędy bagrów, windy osobowe, młyny do cementu, kruszarki kamieni.	2,0 ÷ 2,5
6. Przyśpieszane masy duże, uderzenia bardzo silne. Młyny kulowe i rurowe przemysłu cementowego, walcarki do gumy, sprężarki tłokowe bez koła zamachowego, ciężkie walcarki do metali, ciężkie urządzenia wiertnicze itp.	2,8 ÷ 3,5

Tab. 9.3. Wartości współczynników przeciążenia dla sprzęgieł podatnych wg [4].

Rodzaje napędu	Rodzaj sprzęgła		
	Bardzo podatne	Średnio podatne	Mało podatne
Maszyny wirowe o nieomal niezmiennych oporach ruchu (pompy wirowe, dmuchawy i sprężarki, prądnice), napędzane przez silniki o nieomal niezmiennym momencie obrotowym (silniki elektryczne, turbiny wodne i parowe).	1,5	1,5	1,5
Maszyny o niezbyt wielkich wahaniach oporów ruchu (obrabiaarki obrotowe, maszyny przedziałnicze) napędzane przez silniki elektryczne.	1,5 ÷ 2,0	1,5 ÷ 2,0	1,5 ÷ 2,0
Maszyny o znaczniejszych wahaniach oporów ruchu (obrabiaarki o ruchu zwrotnym, piły tartaczne, młyny kulowe i podobne, betoniarki, podnośniki) napędzane przez silniki elektryczne.	2,0 ÷ 2,5	2,0 ÷ 3,0	2,5 ÷ 3,0
Maszyny tłokowe (pompy, dmuchawy, sprężarki) napędzane przez silniki elektryczne.			
Silniki spalinowe niskoprężne.	2,5 ÷ 3,0	2,5 ÷ 3,5	3,0 ÷ 4,0
Silniki spalinowe wysokoprężne.	3,0 ÷ 4,0	3,0 ÷ 4,5	3,5 ÷ 5,0
Maszyny o bardzo dużych wahaniach oporu ruchu (dźwignice, łamaczki, walcarki).	3,0 ÷ 4,5	3,0 ÷ 5,0	4,0 ÷ 6,0

Tab. 9.4. Wartości wsp.  $\beta$  dla sprzęgieł ciernych wg [4].

Rodzaj maszyny	$\beta$
Obrabiarki	1,3 ÷ 1,5
Samochody	1,3 ÷ 1,5(2,0)
Ciągniki rolnicze	2,0 ÷ 3,5
Ciągniki transportowe	1,5 ÷ 2,0
Wielocylindrowe pompy tłokowe, wentylatory, prasy	1,3
Pompy tłokowe jednocylindrowe, sprężarki, duże wentylatory	1,7
Dźwignice:	
- sprzęgła włączane bez obciążenia	1,25 ÷ 1,35
- sprzęgła włączane pod obciążeniem	1,35 ÷ 1,5

Tab. 9.5. Wartości współczynnika prędkości poślizgu  $k_v$  wg [4].

$V_{\dot{s}r}$ , m/s	$k_v$	$V_{\dot{s}r}$ , m/s	$k_v$
1	1,35	5	0,80
1,5	1,19	6	0,75
2	1,08	8	0,68
2,5	1,00	10	0,63
3	0,94	13	0,59
4	0,86	15	0,55

- rozruch „lekki” (gdy najpierw odbywa się rozpędzanie maszyny, a następnie po uzyskaniu prędkości roboczej włącza się obciążenie robocze):

$$\begin{aligned} M_0 &= M_n \leftarrow M_r \leq M_n \\ M_0 &= M_r \leftarrow M_r > M_n \end{aligned} \quad (9.3)$$

gdzie:  $M_0$  - moment obliczeniowy sprzęgła,  $M_r$  - moment rozruchowy powstały na skutek rozpędzania maszyny:

$$M_r = \frac{\pi}{30} \cdot \frac{\Theta_{zr} \cdot (n_2 - n_1)}{t_r} \quad (9.4)$$

$n_1, n_2$  - prędkości obrotowe części biernej sprzęgła, przed włączeniem i po włączeniu sprzęgła,  $t_r$  - czas trwania rozruchu, mierzony od chwili włączenia sprzęgła do chwili kiedy prędkości części czynnej i biernej ulegną wyrównaniu (kiedy zaniknie poślizg),  $\Theta_{zr}$  - zredukowany masowy moment bezwładności na wałach sprzęgła:

$$\Theta_{zr} = \sum_{k=1}^n \frac{\Theta_k}{i_k^2} \quad (9.5)$$

$\Theta_k$  - masowy moment bezwładności podzespołu k-tego wału łańcucha kinematycznego maszyny, dla jednolitego walca lub tarczy o średnicy  $d_k$ , gęstości  $\rho_k$ , długości  $h_k$  i masie  $m_k$  wynosi:

$$\Theta_k = \frac{\pi}{32} \cdot \rho_k \cdot d_k^4 \cdot h_k = \frac{m_k \cdot d_k^2}{8} \quad (9.5a)$$

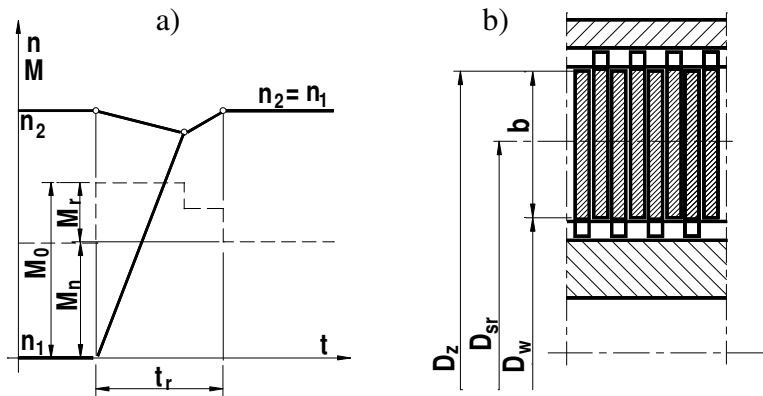
$i_k$  - przełożenie kinematyczne między prędkością obrotową wałów sprzęgła a k-tego wału:

$$i_k = \frac{n_2}{n_k} \quad (9.5b)$$

### 9.1.3. Obliczanie sprzęgieł ciernych

Obliczenia, na przykładzie sprzęgieł wielopłytkowych, obejmują wszystkie sprzęgła typu 212. Moment tarcia na sprzęgle wielopłytkowym:

$$M_T = z \cdot \mu \cdot p_0 \cdot A \cdot \frac{D_{\dot{s}r}}{2} = \pi \cdot z \cdot \mu \cdot p_0 \cdot b \cdot \eta_A \cdot D_{\dot{s}r}^2 \quad (9.6)$$



Rys. 9.5. Sprzęgło asynchroniczne; a) prędkości i momenty w podczas rozruchu „ciężkiego”, b) parametry geometryczne sprzęgła wielopłytkowego

gdzie:  $z$  - ilość par powierzchni ciernych, przyjmuje się  $z < 25 \div 30$ ,  $\mu$  - współczynnik tarcia pary cierniej (tab. 9.6),  $p_0$  - naciski eksploatacyjne (dopuszczalne) pary cierniej (tab. 9.7),  $A$  - powierzchnia tarcia:

$$A = \pi \cdot D_{\dot{s}r} \cdot b \quad (9.7)$$

$D_{\dot{s}r}$  - średnia średnica tarcia, wg rys. 9.5b: 
$$D_{\dot{s}r} = \frac{D_z + D_w}{2} \quad (9.8)$$

$b$  - szerokość czynnej powierzchni tarcia, wg rys. 9.5b:

$$b = \frac{D_z - D_w}{2} \quad (\text{zaleca się przyjmować: } \frac{b}{D_{\dot{s}r}} = 0,1 \div 0,25) \quad (9.9)$$

$\eta_A$  - współczynnik wykorzystania powierzchni cierniej.

## 9.2. Hamulce

**Hamulce** - podzespoły służące do wytracania energii mechanicznej maszyny.

**Hamulce cierne** - zamieniające energię mechaniczną na ciepło. Hamulcem ciernym

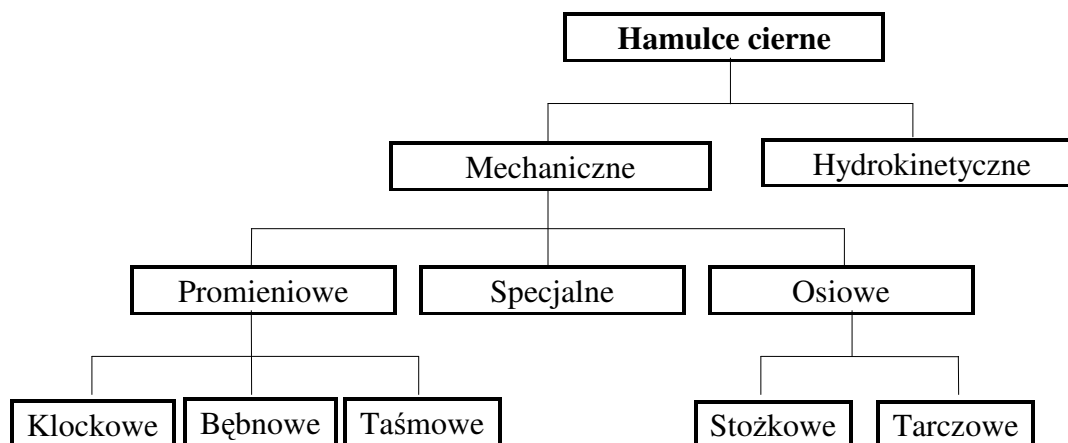
może być sprzęgło asynchroniczne z unieruchomioną częścią bierną.

Tab. 9.6. Orientacyjne wartości współczynnika tarcia [3]

Materiały	Warunki smarowania			
	Tarcie suche	Dopływ oleju przerywany	Dopływ oleju stały	Zanurzone w oleju
Stal hartowana po stali	-	0,10	0,08	0,04
Stal po żeliwie	0,15	0,12	0,10	0,05
Stal po brązie	-	0,11	0,08	0,04
Stal po ferrodoozbeście	0,3	0,25	-	-
Stal po ferrodofibrze	0,2	0,17	0,10	0,05
Stal po tekstolicie	-	0,12	0,10	0,05
Żeliwo po żeliwie	0,17	0,15	0,12	0,06
Żeliwo po brązie	0,17	0,15	0,12	0,06

Tab. 9.7. Wartości dopuszczalnych nacisków na roboczych powierzchniach sprzęgieł ciernych w MPa wg [3].

Materiał	Wielopłytkowe	Tarczowe	Stożkowe
Stal hartowana – stal	0,25 ÷ 0,40	0,40 ÷ 0,60	0,60 ÷ 0,80
Stal – żeliwo	0,15 ÷ 0,20	0,15 ÷ 0,30	0,35 ÷ 0,44
Stal – brąz	0,25 ÷ 0,35	0,40 ÷ 0,50	0,55 ÷ 0,60
Stal – tkanina azbestowa	0,13 ÷ 0,15	0,20 ÷ 0,25	0,25 ÷ 0,30
Stal – tekstolit	0,25 ÷ 0,35	0,10 ÷ 0,50	0,50 ÷ 0,60
Stal – fibra	0,15 ÷ 0,20	0,25 ÷ 0,30	0,35 ÷ 0,40
Żeliwo – żeliwo	0,15 ÷ 0,20	0,25 ÷ 0,30	0,35 ÷ 0,40



Rys. 9.6. Podział hamulców ciernych

**Hamulce z rekuperacją** - zamieniające energię mechaniczną na energię elektryczną, hydrauliczną lub potencjalną dającą się odzyskać.

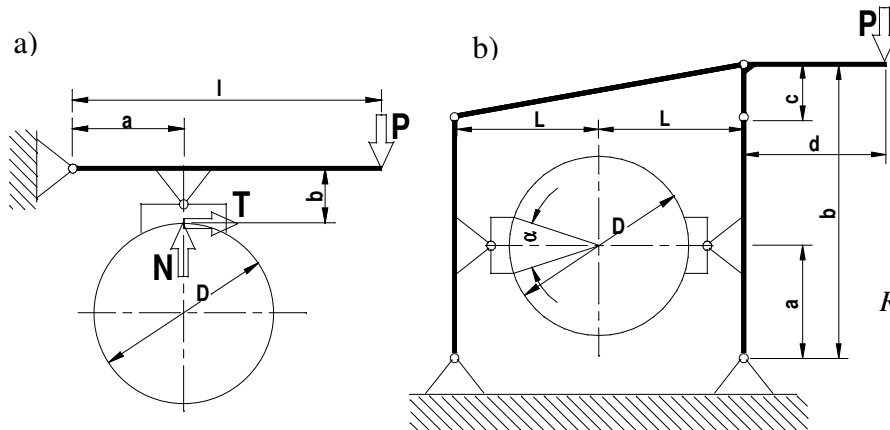
Ze względu na funkcje spełniane w maszynie rozróżnia się hamulce:

1) **Zatrzymujące** - zluźnione podczas pracy maszyny i w czasie postoju np. w pojazdach

samochodowych,

- 2) **Trzymające** - w czasie pracy maszyny są zluźnione, w czasie postoju – zahamowane, np. w dźwignicach,
- 3) **Wstrzymujące** - służące do regulacji prędkości, np. w napędach pojazdów gaśnicowych,
- 4) **Pomiarowe** - do obciążania zadaniem momentem badanych maszyn.

### 9.2.1. Hamulce klockowe



Rys. 9.7. Hamulce klockowe; a) jednoklockowy, b) dwuklockowy

Siła włączenia hamulca jednoklockowego (wg rys. 9.7a):

$$P = \frac{N}{l} \cdot (a \pm \mu \cdot b) \quad (9.10)$$

gdzie: N - siła docisku klocka do bębna hamulcowego:

$$N = \frac{2 \cdot M}{\mu \cdot D} \quad (9.11)$$

a, b, l, D - parametry geometryczne hamulca,  $\mu$  - współczynnik tarcia między klockiem a bębniem, M - moment hamowania, + - obroty bębna w lewo.

Siła włączenia hamulca dwuklockowego (wg rys. 9.7b):

$$P = \frac{a \cdot c \cdot M}{2 \cdot b \cdot d \cdot L \cdot k_T} \quad (9.12)$$

gdzie: a, b, c, d, L - parametry geometryczne hamulca, D - średnica bębna hamulcowego,  $\alpha$  - kąt opasania klockami,  $k_T$  - współczynnik:

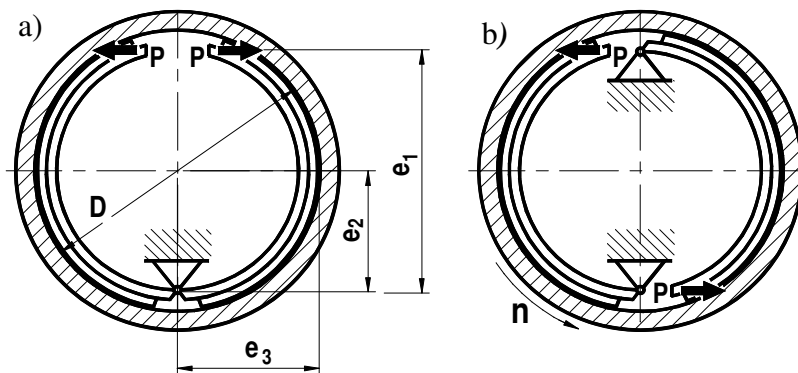
$$k_T = \frac{2 \cdot \mu \cdot \frac{D}{L} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{(1 + \mu^2) \cdot (\alpha + \sin \alpha) - 2 \cdot \mu^2 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (9.12a)$$

Do wywoływania siły służą najczęściej zwalniaki elektrohydrauliczne o parametrach: siła działania 150 ÷ 800 N, skok 30 ÷ 60 mm, dopuszczalna ilość włączeń na godzinę 10 ÷



300.

### 9.2.2. Hamulce bębnowe



Rys. 9.8. Hamulce bębnowe dwuklockowe, a) z symetrycznym układem szczęk, b) z niesymetrycznym układem szczęk

Siła włączania hamulca bębnowego z symetrycznym układem szczęk (wg rys. 9.8a):

$$P = \frac{M \cdot (e_2^2 - \mu^2 \cdot e_3^2)}{\mu \cdot D \cdot e_1 \cdot e_2} \quad (9.11)$$

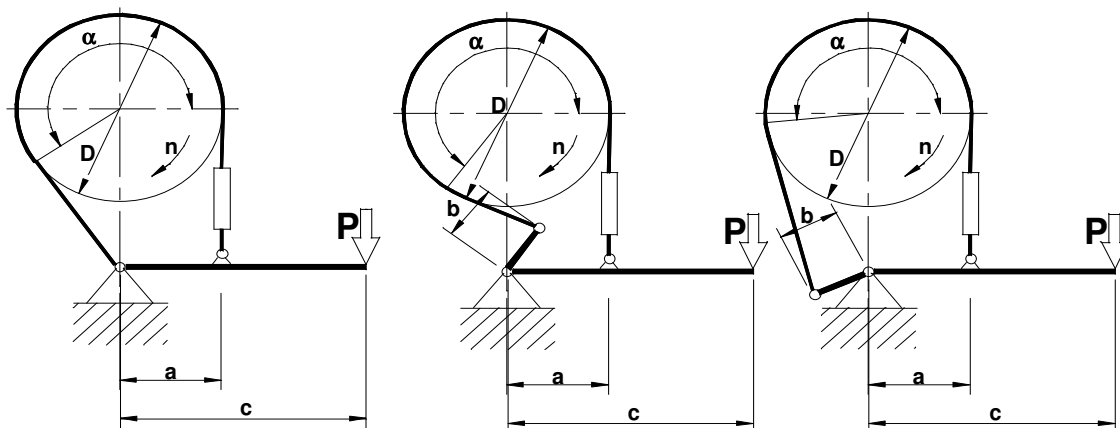
gdzie:  $e_{1...3}$ ,  $D$  - parametry geometryczne hamulca,  $M$  - moment hamowania.

Siła włączania hamulca bębnowego niesymetrycznego (wg rys. 9.8b):

$$P = \frac{2 \cdot M \cdot (e_2 \pm \mu \cdot e_3)}{\mu \cdot D \cdot e_1} \quad (9.12)$$

gdzie:  $\pm$  - dla kierunku obrotów jak na rys. 9.8b.

### 9.2.3. Hamulce taśmowe



Rys. 9.9. Hamulce taśmowe, a) zwykły, b) sumowy, c) różnicowy

Siła włączania hamulca taśmowego zwykłego (rys. 9.9a):

$$P_P = \frac{2 \cdot a \cdot M_P}{c \cdot \eta \cdot D \cdot (e^{\mu \cdot \alpha} - 1)}$$

$$P_L = \frac{2 \cdot a \cdot M_L}{c \cdot \eta \cdot D \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{\mu \cdot \alpha}}\right)}$$
(9.13)

gdzie:  $P_P, P_L$  - siła włączania hamulca przy prawym (jak na rys.) i przy lewym kierunku obrotów,  $a, c, \alpha, D$  - parametry geometryczne hamulca,  $\mu$  - współczynnik tarcia między okładzinami ciernymi taśmy a bębniem,  $\eta$  - sprawność układu dźwigniowego,  $M_P, M_L$  - moment hamowania przy prawym i lewym kierunku obrotów bębna hamulca.

Siła włączania hamulca sumowego (rys. 9.9b):

$$P = \frac{2 \cdot a \cdot M \cdot (e^{\mu \cdot \alpha} + 1)}{c \cdot \eta \cdot D \cdot (e^{\mu \cdot \alpha} - 1)}$$
(9.14)

Siła włączania hamulca różnicowego (rys. 9.9c):

$$P = \frac{2 \cdot M \cdot (a - b \cdot e^{\mu \alpha})}{c \cdot \eta \cdot D \cdot (e^{\mu \alpha} - 1)}$$
(9.15)

dla tego typu hamulca przyjmuje się na ogół:  $a/b = 2,5 \div 3$ .

## Piśmiennictwo

- [1] M. Dietrich i inni: *Podstawy konstrukcji maszyn, t. 3*, PWN, Warszawa, 1989,
- [2] PN-71/M-85250: *Sprzęgła do łączenia wałów. Podstawowe nazwy, określenia i podział*, PKNMiJ.
- [3] Lubiński Z., Kociszewski M., Szczurek K.: *Rysowanie i projektowanie części maszyn. Poradnik*, WSiP, Warszawa, 1989.
- [4] Osiński Z.: *Sprzęgła i hamulce*, WN-PWN, Warszawa 1996.