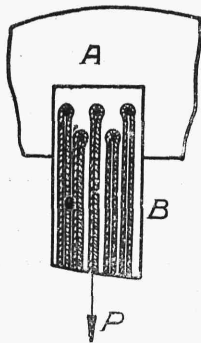
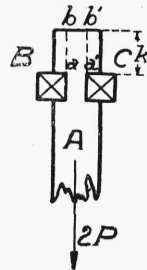


Na rys. 107 przedstawiony jest sposób, w jaki siła P , zaczepiona do blachy B , zostaje poprzez blachę przeniesiona na nity. Wyobrażamy sobie, mianowicie, że każdy nit otoczony jest podwójnym włóknem wyciętym z blachy B . Taki sposób rozumienia pracy połączenia nitowego pozwala nam i przy bardziej złożonych połączeniach stosować powyższy sposób obliczenia.



Rys. 107.

W dalszym ciągu obliczamy połączenie drewniane, przedstawione na rys. 108. Tu wieszak drewniany A obciążony siłą $2P$ wcięty jest w dwie poprzeczki poziome B i C , przyczem wystaje ponad nie na odległość k . W płaszczyznach ab i $a'b'$ ma miejsce



Rys. 108.

ściananie wieszaka. Na każdą z tych płaszczyzn przypada siła P , wobec czego

$$\tau = \frac{P}{k \cdot d} \leq R_t \quad (155)$$

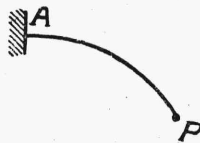
gdzie d oznacza szerokość wieszaka A .

3. Skręcanie prętów o przekroju kolistym.

Skręcanie występuje w konstrukcjach inżynierskich przeważnie tylko w dźwigarach zakrzywionych¹⁾ i załamanych w planie²⁾. Na rys. 109 i 110 przedstawione są dźwigary tego rodzaju, utwierdzone w jednym końcu i obciążone w drugim siłą P , działającą prostopadle do płaszczyzny rysunku. W konstrukcjach maszynowych mamy do czynienia ze skręcaniem przy obliczaniu wałów. Pozatem na podstawie badań doświadczalnych nad zjawiskiem skręcania, jak to wspomniano w § 1 tego rozdziału, wyznaczać możemy wielkość współczynnika G .



Rys. 109.



Rys. 110.

Skręcanie prętów o przekroju kolistym i pierścieniowym jest jedynym wypadkiem skręcania, gdy przekroje poprzeczne skręcanego pręta można uważać, po odkształceniu, za płaskie t.j. gdy niema zwichrzenia przekroju. We wszystkich innych wypadkach w prętach powstają naprężenia

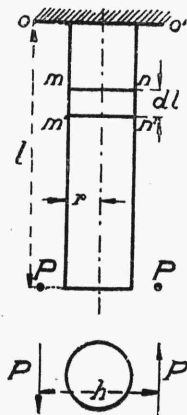
¹⁾ Vid. Love w tłum. niem. „Lehrbuch der Elastizität“, 1907, str. 516.

²⁾ Vid. pracę autora: „Sur le calcul des poutres à axe brisé“, „Memoires de la Société des Ingénieurs Civils de France“, 1927.

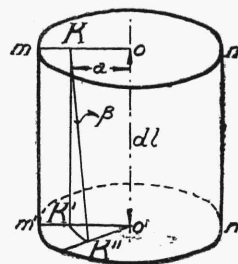
normalne do przekroju poprzecznego i wywołują zniekształcenie tego przekroju. Jednak i w kolistych walcach przekroje pozostają płaskimi tylko do pewnej wartości naprężeń stycznych.

Bierzemy walec kolisty, utwierdzony w jednym końcu, a w drugim obciążony parą sił P , działających w płaszczyźnie prostopadłej do osi walca (rys. 111). Założywszy, że rozkład naprężeń w najbliższym sąsiedztwie utwierdzenia oraz w najbliższym sąsiedztwie zaczepienia pary skracającej nie różni się od rozkładu naprężeń w innych przekrojach, obliczamy kąt skręcania pręta, t. j. kąt obrotu swobodnego końca walca względem końca utwierdzonego.

Rozpatrujemy nieskończenie mały odcinek walca dl , ograniczony płaszczyznami mn i $m'n'$ prostopadłymi do jego osi (rys. 111 i 112). W przekroju mn obieramy na promieniu OK punkt K oddalony o a od środka O .



Rys. 111.



Rys. 112.

Na skutek skręcania punkt K' , będący rzutem pionowym punktu K na płaszczyznę $m'n'$, przesunie się wzdłuż łuku koła $K'K''$. Łuk ten uważamy za równy jego cięciwie i wyznaczamy jednocześnie z trójkąta $K'KK''$ oraz z wycinka kołowego $K'O'K''$. Mamy stąd zależność:

$$\beta dl = a d\theta$$

czyli zależność:

$$\beta = a \cdot \frac{d\theta}{dl} \quad (156)$$

gdzie β jest przesunięciem jednostkowym, a $d\theta = \sphericalangle K'O'K''$ kątem obrotu promienia $O'K''$ względem jego pierwotnego położenia (przed skręcaniem).

Napężenie w punkcie K'' , styczne do płaszczyzny $m'n'$, otrzymamy z równania:

$$\tau = G \cdot \beta = G \cdot a \cdot \frac{d\theta}{dl} \quad (157)$$

z którego wynika, że napężenia styczne rozkładają się przy skręcaniu w płaskim przekroju $m'n'$ w sposób proporcjonalny do odległości od środka O' . Wynika z tego, że napężenie τ możemy wyrazić w sposób następujący:

$$\tau = \tau_0 \cdot \frac{a}{r}$$

gdzie τ_0 oznacza napężenie styczne na obwodzie przekroju poprzecznego. Napężenia, które rozpatrujemy, są skierowane prostopadle do promieni.

Dla równowagi pręta potrzeba, aby moment sił zewnętrznych $M^o = P \cdot a$ (moment skręcający) równoważył się z momentem sił wewnętrznych, działających w dowolnym przekroju $m'n'$. Ponieważ w tym przekroju na nieskończenie małą część pola dA w odległości a od środka działa siła τdA , możemy więc napisać, że:

$$M^o = \int_A \tau a dA = \frac{\tau_0}{r} \int_A a^2 dA = \frac{\tau_0 J_0}{r}$$

gdzie J_0 oznacza biegunowy moment bezwładności przekroju równy $\frac{\pi r^4}{2}$.

Dla napężeń otrzymamy wzory następujące:

$$\tau_0 = \frac{M^o r}{J_0} \quad \tau = \frac{M^o a}{J_0} \quad (158)$$

Kąt skręcania obliczamy ze wzoru:

$$\theta = \int_0^l d\theta \quad (159)$$

w którym $d\theta$ wyznaczamy z równań (156) i (158).

Ponieważ

$$d\theta = \frac{\tau dl}{a G} = \frac{M^o dl}{G J_0}$$

mamy więc ostatecznie następujący wzór dla kąta skręcania:

$$\Theta = \frac{M^0 \cdot l}{G J_0} \quad (160)$$

Wymiary poprzeczne pręta skręcanego sprawdzamy na podstawie wzoru:

$$\tau_{\max} = \tau_0 \leq R_t$$

gdzie R_t oznacza dopuszczalne naprężenie materiału przy ścinaniu.

Wzór (160) może służyć i do obliczenia kątów skręcania prętów o przekroju pierścieniowym; w tym celu należy wstawić tu

$$J_0 = \frac{\pi r_1^2}{2} - \frac{\pi r_0^2}{2}$$

gdzie r_1 i r_0 oznaczają odpowiednio zewnętrzny i wewnętrzny promień pierścienia.

4. Skręcanie prętów o przekrojach niekolistych.

Przy skręcaniu prętów o przekrojach niekolistych korzystamy przede wszystkim ze wzorów przybliżonych, sprawdzonych doświadczalnie.

Do wzorów tego rodzaju należą następujące:

Dla przekrojów prostokątnych, zbliżonych do kwadratu, mamy, według Föppl'a:

$$\tau_{\max} = 4,5 \frac{M^0}{a^2 b} \quad \Theta = 3,6 \frac{(a^2 + b^2)}{a^3 b^3} \cdot \frac{M^0 l}{G}$$

gdzie a i b oznaczają długości boków prostokąta, przyczem $b > a$.

Dla wydłużonych przekrojów prostokątnych (rys. 113) mamy, według Föppl'a:

$$\tau_{\max} = \frac{3 M^0}{a^2 b} \quad \Theta = \frac{3 M^0 l}{a^3 b G}$$

Dla przekrojów, składających się z wydłużonych prostokątów, za jakie uważamy przekroje nitowanych lub walcowanych prętów żelaznych, mamy, według Föppl'a*):

*) A. Föppl, „Über den elastischen Verdrehungswinkel“, Sitzungsberichte d. K. Bayr. Akad. d. Wiss. München, 1917.