

### R O Z D Z I A Ł   I I I

#### P O Ł A C Z E N I A   Ś R U B O W E .

##### §1. W i a d o m o ś c i   o g ó l n e .

Połączenia śrubowe należą do kategorii połączeń r e z ł ą c z n y c h .

Zależnie od zastosowania połączenia śrubowe dzielą się na

1/ s p o c z y n k o w e - służące do łączenia części maszynowych

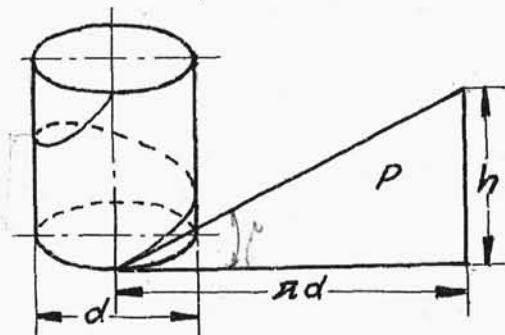
2/ r u c h o w e - służące do przenoszenia ruchu.

Powierzchnia śrubowa jest to powierzchnia opisana przez dowolną linię płaską - z a r y s   g w i n t u , wykonywującą ruch wypadkowy z ruchu obrotowego i postępowego w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych, przy czym płaszczyzna ruchu postępowego jest płaszczyzną zarysu gwintu.

Każdy punkt takiego zarysu opisuje linię zwaną  
l i n i ą   ś r u b o w ą .

Powierzchnię śrubową charakteryzuje: 1/ s k o k ,  
2/ k s z t a ł t   z a r y s u   tworzącego daną powierzchnię śrubową.

Wyobraźmy sobie linię śrubową, jako linię powstałą przez nawijanie skrawka papieru  $\rho$  na walec o średnicy  $d$  /rys.108/.



Rys.108.

Kąt pochylenia linii śrubowej określi wzór:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{h}{\pi d}$$

Jeżeli przez  $h$  oznaczamy s k o k śruby - odległość między dwoma

sąsiednimi punktami linii śrubowej mierzona na jednej tworzącej walca.

Drugim czynnikiem charakteryzującym powierzchnię śrubową jest zarys gwintu. Zgodnie z tym co powiedziano, zarysem gwintu jest linia, jaką otrzymamy przez przecięcie powierzchni śrubowej płaszczyzną przechodzącą przez oś śruby.

/rys.109 przedstawia postaci zarysów gwintów spo-

tykane w praktyce.

W zależności od położenia powierzchni śrubowej względem osi gwintu rozróżniamy:

1/ gwinty z e w-  
n ę t r z n e - gdy po-  
powierzchnia śrubowa  
w stosunku do osi śruby  
ogranicza materiał z z e-  
wn ą t r z .

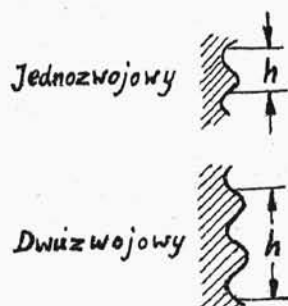


rys.109.

2/ Gwinty w e w n ę t r z n e - gdy powierzchnia śrubowa w stosunku do osi śruby ogranicza materiał od w e w n ą t r z .

Gwinty można jeszcze podzielić na: 1/ p r a w e ,  
2/ l e w e oraz w zależności od ilości zarysów na przestrzeni jednego skoku na 1/ j e d n o z w o j o w e  
2/ w i e l o z w o j o w e /rys.110/.

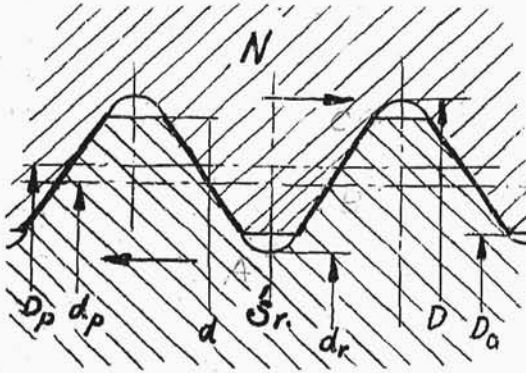
Stańmy na gruncie połączenia śrubowego, , złożonego ze śruby  $S$  i nakrętki  $N$  /rys.111/. Niech będzie to gwint jednozwojowy, t.zn. że na 1 skok składa się 1 wrób i 1 grzbiet.



rys.110.

Wielkościami charakterystycznymi dla danego połączenia

będą:



$D$  - średnica gwintu  
nakrętki

$D_o$  - średnica otworu  
nakrętki

$d$  - średnica śruby

$d_r$  - średnica rdzenia

śruby

rys.111.

$D_p, d_p$  - średnice podziałowe śruby i nakrętki

$d_s$  - średnica średnia /robocza/

$$d_s = 0,5(D_o + d)$$

Średnica podziałowa gwintu jest to średnica, na której odcinki między sąsiednimi punktami zarysu są równe

$$AB=BC=CI$$

W praktyce śruba i nakrętka posiadają luz  $L$  między powierzchniami roboczymi oraz  $L_w$  między wierzchem grzbietów a podstawami wrębów. Luzy te określają związki

$$L = D_p - d_p$$

$$L_w = D - d$$

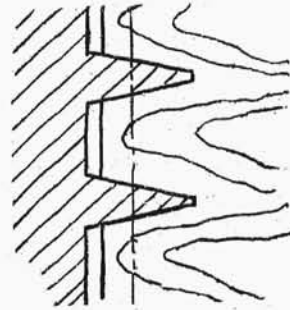
W praktyce zwykle spotykamy się ze śrubami o zarysie symetrycznym.

Jeżeli gwint zbudowany jest symetrycznie, wówczas średnica średnia pokrywa się z średnicą podziałową.

Przykładem gwintu, w którym  $d_s \neq d_o$ , jest gwint śrub do drewna /rys.112/. Śruby o gwincie prostokątnym średnicy podziałowej nie posiadają.

## §2. O b l i c z e n i e ś r u b .

Wszelkie siły, jakie przenosi śruba stanowiąca, bądź połączenie dwu części maszyn, bądź element



rys.112.

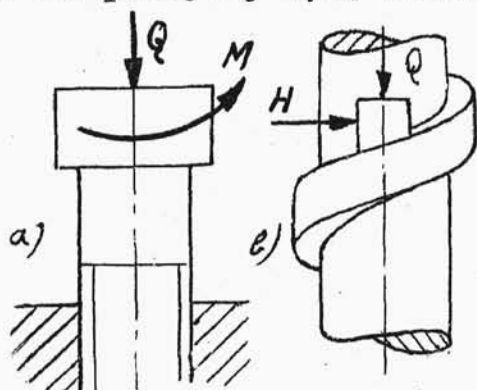
służący do przenoszenia ruchu, uzyskuje się przez przyłączenie do jej rdzenia lub do nakrętki momentu skręcającego /rys.113/.

Przyjmujemy dla uproszczenia rozważań, że powierzchni robocze gwintu nakrętki i śruby stykają się tylko w jednym punkcie na średnicy średniej gwintu.

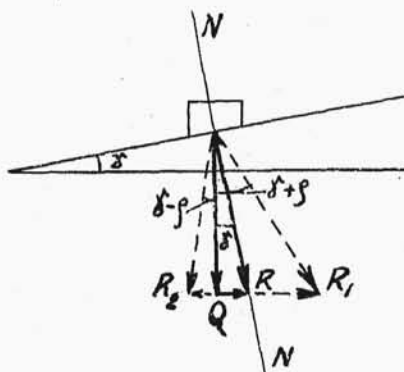
Przyjąwszy to założenie, możemy sobie wyobrazić, że ciężar  $Q$  spoczywa bezpośrednio na gwincie śruby. /rys.114 szkic-b/. Siła  $H$  jest tu składową obwodową

siły  $Q$ , dającą omówiony już moment  $M$ .

Jeżeli w sposób omówiony wyobrazimy sobie mechanizm przenoszenia sił przez śrubę, to zauważamy analogię do równi pochyłej. Prawa zatem wyprowadzone dla równi pochyłej będą słuszne również dla śrub.



rys.113.



rys.114.

Na rys.114 przedstawiona jest równia pochyła, o kącie pochylenia równym kątowi pochylenia linii śrubowej, będącą rozwinięciem linii śrubowej z walca o średnicy średniej danego gwintu.

Gdyby ruch po równi /po gwincie śruby/ odbywał się bez tarcia, wówczas rozkład sił będzie jak na rys. 114 /oznaczenia bez wskaźników/ i siła obwodowa, jaką należałoby przyłożyć na promieniu średnim śruby, aby przyłączyć ciężar  $Q$  spoczywający na powierzchni roboczej wyraziłby się wzorem:

$$H = Q \cdot \operatorname{tg} \delta$$

Między gwintem śruby i nakrętki istnieje jednak tarcie, które powoduje odchylenie reakcji  $R$  od normalnej  $N$  o kąt tarcia  $\varphi$  w prawo przy ruchu w górę /ozn.1./ w lewo przy ruchu w dół /oznac.2/.

Skutkiem tego przy ruchu w górę składowa

$$H = Q \cdot \operatorname{tg}(\delta + \varphi) \quad /120-a/$$

zaś przy ruchu w dół

$$H = Q \cdot \operatorname{tg}(\delta - \varphi) \quad /120-b/$$

W wypadku śrub złącznych ważnym jest, aby pod wpływem obciążenia śruby nie rozkręcały się, zatem aby były *s a m o h a m o w n e*.

Warunkiem *s a m o h a m o w n o ś c i* będzie oczywiście

$$\operatorname{tg}(\delta - \varphi) < 0$$

$$\delta < \varphi \quad /121/$$

W wypadku śrub służących do przenoszenia ruchu ważną cechą charakteryzującą śrubę jest jej *s p r a w n o ś ć*.

Sprawnością śruby nazywamy:

$$\eta = \frac{\text{praca użyteczna}}{\text{praca całkowita}} \quad /122/$$

Zakładamy, że przenosząca siłę  $Q$  śruba obróciła się o jeden obrót, czyli wykonała 1 skok, wtedy praca

użyteczna będzie miała wartość  $Q \cdot h$ , praca zaś włożona na  $\frac{H \cdot h}{\operatorname{tg} \gamma}$ . Sprawność zatem

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \varphi)} < 1 \quad /123/$$

Sprawność będzie największa, gdy

$$\frac{d\eta}{d\gamma} = 0 \quad /124/$$

co odpowiada kątowi

$$\gamma = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi'}{2} \quad /125/$$

i równać się będzie

$$\eta_{\max} = \frac{\operatorname{tg}(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi'}{2})}{\operatorname{tg}(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2})} = \frac{1 - \operatorname{tg} \frac{\varphi'}{2}}{1 + \operatorname{tg} \frac{\varphi'}{2}} = \operatorname{tg}^2(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi'}{2}) \approx (\frac{2 - \mu'}{2 + \mu'})^2 \quad /126/$$

Zauważyć należy, że w wypadku tym  $\gamma > \varphi'$  zatem śruba nie jest samohamowna

W wypadku śruby samohamownej  $\gamma \leq \varphi'$  /rozpatrujemy  $\gamma = \varphi'$  /

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} 2\varphi'} = 0,5(1 - \operatorname{tg}^2 \varphi') = 0,5(1 - \mu'^2) \quad /126-a/$$

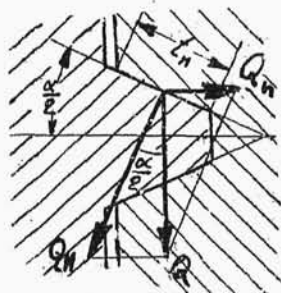
W wypadku więc śruby samohamownej sprawność musi być mniejsza od 50%.

Normalnie używane śruby mają zwykle zarys trójkątny lub trapezowy. Jeżeli dany gwint jest obciążony siłą  $Q$ , to rzeczywisty nacisk na gwint będzie  $Q_w$  /rys. 115/.

$$Q_w = \frac{Q}{\cos \frac{\alpha}{2}} \quad /127/$$



W obliczeniach uwzględniamy jednak siłę  $Q$ , a nie  $Q_w$ . Wobec tego redukujemy współczynnik tarcia w stosunku  $\cos \frac{\alpha}{2}$  wprowadzając p o z o r n y współczynnik tarcia  $\mu'$ .



$$\mu' = \frac{\mu}{\cos \frac{\alpha}{2}} \quad /128/$$

Zatem

rys.115.

$$\tan \phi' = \frac{\mu}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

W rozumowaniu tym pominięto wpływ kąta  $\delta$ , ale jest to dopuszczalne ze względu na niedokładne określenie współczynnika tarcia. Wartości tych współczynników w odniesieniu do tarcia śrub podaje tablica XVI.

Tablica XVI

Materiał	Smarowanie dostateczne	Smarowanie skąpe	Na sucho
Stal/stal	0,08 ÷ 0,1	0,12 ÷ 0,16	0,2 ÷ 0,3 ÷ 0,35 / 0,4 /
Stal/żeliwo	0,07 ÷ 0,08	0,1 ÷ 0,15	0,2 ÷ 0,3 ÷ 0,35
Stal/brąz	"	0,1 ÷ 0,12	0,2 ÷ 0,25
	dla tłoczni	podnośników	

### §3. Obliczenie wytrzymałościowe gwintu.

Sruby przenoszą zazwyczaj siły wzdłużne, rozcią-

gające lub ściskające.

Gwint poddany będzie z g i n a n i u , ś c i -  
n a n i u i n a c i s k o w i p o w i e r z c h n i o -  
w e m u w śrubach złącznych przy przeliczeniu wytrzyma-  
łościowym uwzględniamy tylko przekrój rdzenia.

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot d_r^2 \cdot k_r$$

atąd

$$d_r = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot k_r}} \quad /129/$$

ponieważ inne wymiary przyjęto tak, że wytrzymałość na  
nacisk, zginanie i ścinanie gwintu jest większa niż  
rdzenia.

W wypadku śrub n i e n o r m a l n y c h nale-  
ży należy przeprowadzić te obliczenia.

Podamy sposób obliczenia gwintu na przykładzie  
śrub normalnych, co pozwoli nam zorientować się w po-  
stawionym przez normy stopniu bezpieczeństwa.

1/ Wytrzymałość na z g i n a n i e gwintu i roz-  
rywanie rdzenia jednakowe /rys.116/.

Moment gnący gwint

$$M_g = Q \cdot y \quad /130/$$

ale

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot d_r^2 \cdot k_r \quad /131/$$

więc

$$M_g = \frac{\pi}{4} \cdot d_r^2 \cdot k_{rj} \cdot y \quad /132/$$

ale z drugiej strony

$$M_g = W \cdot k_{gj} = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h_g^2 \cdot k_{gj} \quad /133/$$

Przyjmując

$$y = 0,375 \cdot h \quad h_g = 0,933 \cdot h$$

z norm oraz  $k_{rj} = k_{gj}$ , otrzymamy wysokość nakrętki

$$w = n \cdot h \approx 0,52 \cdot d$$

Normy przyjmują  $w = 0,8 \cdot d$

2/ Wytrzymałość na nacisk musi być równa albo większa wytrzymałości rdzenia na rozciąganie.

Nacisk jednostkowy wyniesie:

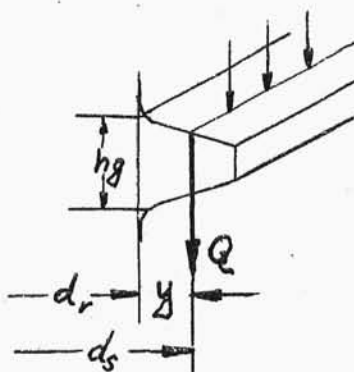
$$P_j = \frac{Q_n}{\pi \cdot t_n \cdot d_s \cdot h} \quad /134/$$

uwzględniając, że

$$Q_n = \frac{Q}{\cos \frac{\alpha}{2}} \quad /135/$$

a

$$t_n = \frac{t_h}{\cos \frac{\alpha}{2}} \quad /136/$$



otrzymamy:

rys.116.

$$P_j = \frac{Q}{t_n \cdot \pi \cdot d_s \cdot h} \quad /137/$$

a uwzględniając wymiary z norm oraz

$$k_{rj} : P_j = 2$$

otrzymamy

$$w = h \cdot n = 0,6 \cdot d \quad /138/$$

Zatem normy przewidują i pod tym względem większy zapas bezpieczeństwa.

#### §4. O b l i c z e n i e   w y t r z y m a - k o ś c i o w e   ś r u b y .

W związku z rozmaitymi warunkami pracy śruby różniamy cztery wypadki obciążenia, wpływające na obliczenie.

- 1/ siła podłużna  $Q$  zjawia się w śrubie po skręceniu
- 2/ siła podłużna  $Q$  istnieje już podczas skręcania
- 3/ Podczas skręcania istnieje siła podłużna  $Q_0$ , a po skręcaniu zjawia się nowa siła podłużna  $Q$
- 4/ Śruba przenosi siły poprzeczne.

Obliczenie we wszystkich czterech wypadkach oprzemy na śrubach normalnych.

- 1/ Siła podłużna  $Q$  zjawia się w śrubie po skręceniu.

Ilustracja tego wypadku obciążenia może być podstawka śrubowa, przedstawiona na rys.117. W takich warunkach śruba będzie pracowała wyłącznie na ściskanie lub rozciąganie. Wobec tego:

$$Q \leq \frac{\pi}{4} \cdot d_r^2 \cdot k_r$$

/139/