

T' przez rozłupanie wymaga od kowala wiele pracy. Ażeby taki czop można włożyć w wał drewniany, należy poprzecznie wyciąć pasek drzewa (przez całą średnicę lub przynajmniej przez pół średnicy) o długości  $= 6d$ , a o grubości równej szerokości czopa (t. j.  $= d + 2e$ ); a oprócz tego należy wyrobić otwór na kotwę czopa. Po włożeniu czopa naciąga się obręcz, a dodatkowo klinuje się boki włożonej części czopa klinami z twardego drzewa lub z żelaza.

Wykuwanie i wyrabianie czopów kutych i stalowych jest tak proste, że opisanie tej czynności jest zbytecznym.

## II. O S I.

(n. Achse f. axe a. axis r. oś).

### §. 27. Obliczanie osi.

Osi służą do dzwigania, obracających się części maszyn. Różnica między osią a wałem polega na tém, że osi dźwigają tylko części obracające się, wały zaś przenoszą ruch obrotowy w kierunku swój osi. Osi powinny być zatem obliczone na złamanie; wały zaś na skręcenie. Prawie wszystkie osi są przynajmniej częściowo wystawione na skręcenie, które jednak może być tak małym, że wystarcza obliczanie osi ze względu na złamanie.

Najodpowiedniejszym materiałem do wyrabiania osi jest żelazo kute i stal. Żelaza lanego używamy tylko wyjątkowo, a gdy okaże się potrzeba wyrobienia osi z powyższego materiału, powinniśmy ją zawsze pusto odlewać, aby zapobiedz złemu odlaniu i aby łatwiej można poznać, czy odlew nie posiada miejsc próżnych, spowodowanych przez bańki powietrza lub miejsca wadliwe.

Osi z drzewa używamy tylko do kół wodnych z powodu ich taniości i lekkości. Przekrój tychże jest zwykle czworokątny lub ośmiokątny, a takie osi wyrabia się naj-

część z drzewa dębowego. Możemy tu nadmienić, że oś dębowa otrzymuje dwa razy tak wielką średnicę jak oś kuta lub 1,55 razy średnicy osi lanéj o pełnym przekroju. Oprócz poprzednio użytych znaków oznaczmy przez :

$Q_1$   $Q_2$   $Q_3$  i t. d. obciążenia osi,  $P_1$   $P_2$   $P_3$  oddziaływania czyli ciśnienia na czopy,  $d$  średnicę;  $l$  długość czopów,  $D$  średnicę osi;  $L$  długość osi.

Zadanie I. Oś w jedném miejscu obciążona.

1) Gdy oś jest obciążona w środku, natenczas czopy doznają jednakowego ciśnienia,  $P = 0,5 Q$ . (fig. 153).

Wytrzymałość osi obliczymy według wzoru ogólnego (XI)

$$M = k \cdot \frac{J}{e} \quad \text{skąd} \quad \frac{Q}{2} \cdot \frac{L}{2} = k \cdot \frac{\pi}{32} D^3.$$

Jeżeli także obliczymy czop osi, to otrzymamy po wstawieniu odpowiednich wartości ze wzoru (XI).

$$\frac{Q}{2} \cdot \frac{l}{2} = k \cdot \frac{\pi}{32} d^3;$$

podzieliwszy ostatnie dwa równania, otrzymamy:

$$D = d \sqrt[3]{\frac{L}{l}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (64)$$

Ten wzór daje wymiar średnicy osi, a zarazem kształt, osi, który przedstawia się jako parabola kubiczna, co w fig. 153 linią kropkowaną oznaczono. Aby można nałożyć na oś te części, które ciśnienie  $Q$  wywierają, musi kształt osi być walcowy a jéj długość powinna być większą od piasty, dlatego przyjmujemy wymiar:

$$l = 1,5 D \text{ do } 2 D \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (65)$$

2) Gdy ciśnienie na oś nie działa w środku lecz w odległości  $L_1$  od jednego końca, natenczas uwzględniając tylko jedno ramię osi n. p.  $L_1$  albo tylko  $L_2$ , możemy ten przypadek przywieść do przypadku pierwszego; a z fig. 154 będzie:

$$P_1 = Q \frac{L_2}{L} \quad P_2 = Q \frac{L_1}{L}$$

Z tych ciśnień otrzymamy średnice czopów  $d_1$  i  $d_2$ , a grubość osi będzie:

$$D = d_1 \sqrt[3]{\frac{2L_1}{l_1}} = d_2 \sqrt[3]{\frac{2L_2}{l_2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (66)$$

3) Gdy ciśnienie na oś działa zewnątrz podparcia osi, jak w fig. 155, wtedy będzie:

$$P_1 = Q \frac{L_2}{L_1} \quad P_2 = Q \frac{L}{L_1}$$

skąd otrzymamy dla ciśnienia  $P_1$  średnicę czopa  $d_1$  i odpowiednią długość jego  $l_1$ ; następnie obliczymy czop idealny  $D_1$  (o długości  $l_1$ ) odpowiadający ciśnieniu  $Q$ . Grubość czopa  $d_2$  będzie więc według (64)

$$d_2 = d_1 \sqrt[3]{\frac{2L_1}{l_1}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (67)$$

$$\text{a średnica osi:} \quad D = D_1 \sqrt[3]{\frac{b}{l_3}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (68)$$

Zadanie II. Oś jest w dwu punktach obciążona. Gdy ciśnienia  $Q_1$   $Q_2$  działają między punktami podparcia, obliczenie będzie następujące: Z fig. 156 otrzymamy ciśnienia na czopy:

$$P_1 = \frac{Q_1 b_1 + Q_2 b_2}{L} \quad ; \quad P_2 = \frac{Q_1 a_1 + Q_2 a_2}{L}$$

Z tych ciśnień obliczymy średnice i długości czopów  $d_1$   $l_1$   $d_2$   $l_2$ , a średnica osi będzie w miejscach obciążonych:

$$D_1 = d_1 \sqrt[3]{\frac{2a_1}{l_1}} \quad ; \quad D_2 = d_2 \sqrt[3]{\frac{2a_2}{l_2}} \quad . \quad (69)$$

Wszystkie powyższe i następujące zadania można z łatwością rozwiązać wykreślnie.

Zadanie III. Oś w dowolnie wielu punktach jest obciążona. Według znanych prawideł statyki wykreślonej będzie rozwiązanie tego zadania następujące: Niech (fig. 154 do 160) oś  $AB$  będzie podparta w punktach  $A$ ,  $B$  i obciążona siłami  $Q_1$   $Q_2$   $Q_3$   $Q_4$   $Q_5$  w odległościach  $a_1$   $a_2$  ...  $a_5$  od punktu  $A$  lub  $b_1$  ...  $b_5$  od końca  $B$ , gdy długość całej osi  $AB = L$ ; natenęzas otrzymamy ciśnienia  $P_1$  i  $P_2$  wykreślenie, gdy znajdziemy wypadkową sił  $Q$  tj.  $R$  i rozdzielimy takową w miarę ramion jój wedle fig. 162, co wyda nam ten sam wynik, którybyśmy rachunkiem znaleźli;

$$P_1 = \frac{Q_1 b_1 + Q_2 b_2 + Q_3 b_3 + Q_4 b_4 + Q_5 b_5}{L}$$

$$P_2 = \frac{Q_1 a_1 + Q_2 a_2 + Q_3 a_3 + Q_4 a_4 + Q_5 a_5}{L}$$

Narysujmy teraz długość  $AB$  według podziałki dowolnej n. p. 1 metr = 25 mm. (t. j. 40 część nat. wielk.) zachowując tę podziałkę dla wszystkich wymiarów liniowych; następnie obierzmy podziałkę dla sił n. p. 300 kilgr = 1 mm, która to podziałka będzie zarazem miarą momentów. Teraz odcinamy ciśnienia otrzymane (graficznie lub rachunkiem) t. j.  $P_1$  i  $P_2$  na dowolnej linii  $AB$  (fig. 161) tak, żeby  $AC = P_1$ ;  $CB = P_2$ ; dalej odcinamy  $Ar = Q_1$ ;  $rs = Q_2$ ;  $st = Q_3$ ;  $tu = Q_4$ ;  $uB = Q_5$ ; wreszcie prowadzimy  $CO = 1$  m poziomo i łączymy  $O$  z punktami  $A$ ,  $r$ ,  $s$  i t. d. Tym sposobem otrzymamy wielobok sił, według którego wykreślić należy wielobok sznurowy (Seilpolygon), dający momenty sił (fig. 160). Prowadząc następnie odpowiednie proste równoległe, jako to;  $A_1 m_1 \parallel OA$ , następnie  $m_1 r \parallel Or$  i t. d. aż do zamknięcia wieloboku, otrzymamy moment wszystkich sił względem punktu  $m_2$  prostopadłą  $m_1 m_2$ . Tak samo wyraża  $r_1 r_2$  moment wszystkich sił względem punktu  $r_2$  i t. d. Momenta te mierzymy przyjął podziałką

sił, a znając tym sposobem ien wielkość, obliczymy średnicę osi z ogólnego wzoru:

$$M = k \frac{J}{e} = k \frac{\pi}{32} D^3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \frac{M}{k}}$$

zważając na to, że aby otrzymać  $D$  w  $mm$ , wstawiając  $k$  t.j. natężenie dozwolone na  $1 mm^2$ , wyraz ostatni momentu należy 1000 razy zwiększyć, albowiem ten moment był wyrażony dla ramienia w metrach; więc wzór będzie:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} 1000 M \frac{1}{k}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (70)$$

Dobrze wykonane osi okazują:

dla żelaza lanego :	$k = 2,5$ do $3$ kilgr.
" " kutego :	$= 5 - 6$ "
" stali	$= 10$ kilgr.

Wstawivszy te wartości w powyższy wzór (70), otrzymamy

$$\left. \begin{array}{l} \text{dla żelaza lanego } D = 16 \sqrt[3]{M} \\ \text{" " kutego } D = 12,6 \sqrt[3]{M} \\ \text{dla stali } D = 10 \sqrt[3]{M} \end{array} \right\} \quad (71)$$

Na fig. 159—160 wyrysowana jest jako przykład oś koła wodnego, i przyjęto:  $Q_1 = 12000$  kilgr.  $Q_2 = Q_3 = Q_4 = Q_5 = 3000$  kilgr. następnie  $a_1 = 0,7$  m  $a_2 = 1,3$  m,  $a_3 = 2,7$  m.  $a_4 = 3,9$  m,  $a_5 = 5,3$  m.  $L = 6$  m. Znajdziemy:  $P_1 = 16000$  kilgr.  $P_2 = 8000$  kilgr. dla żelaza lanego otrzymamy wymary: (z 52)  $d_1 = 1,6 \sqrt[3]{P_1} = \sim 202$  mm.  $l_1 = 1,3d_1 \sim 264$  mm.  $d_2 = 144$  mm.  $l_2 = 188$  mm. Mie-

rzona momenta z rysunku są:  $M_1 = 11400$ .  $M_2 = 13700$ .  $M_3 = 15000$   
 $M_4 = 12000$ .  $M_5 = 4800$ , więc według wzoru (71).  $D_1 = 340$  mm.  
 $D_2 = 360$  mm.  $D_3 = 380$  mm.  $D_4 = 345$  mm.  $D_5 = 280$  mm.

Dla żelaza kutego byłyby wymiary:  $d_1 = 150$  mm  $l_1 = 200$  mm.  
 $d_2 = 108$  mm  $l_2 = 140$  mm.  $D_1 = 265$  mm.  $D_2 = 280$  mm.  $D_3 =$   
 $300$  mm.  $D_4 = 270$  mm  $D_5 = 220$  mm

## §. 28. Obliczanie osi pustych i osi o przekro- jach niekołowych.

Dla żelaza lanego używamy przeważnie przekroju puste-  
go lub krzyżowego czyli żebrowego. Główniejsze konstrukcye  
są następujące:

1. Osi z przekrojem pierścieniowym czyli osi puste.

Gdy  $D_a$  jest średnicą zewnętrzną;  $D_b$  średnicą wewnę-  
trzną;  $D$  zaś średnicą osi pełnej, natenczas moduł prze-  
kroju pełnego należy przyrównać do modułu przekroju pier-  
ścieniowego, skąd wynika równanie

$$\frac{\pi}{32} D^3 = \frac{\pi}{32} \frac{D_a^4 - D_b^4}{D_a} \quad \text{stąd}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{D}{D_a} &= \sqrt[3]{1 - \left(\frac{D_b}{D_a}\right)^4} \\ \frac{D_b}{D_a} &= \sqrt[3]{1 - \left(\frac{D}{D_a}\right)^3} \end{aligned} \right\} \quad (72)$$

Podana tablica na str. 81. służy tu podobnie dla uła-  
twienia rachunku.

Przyjmując n. p. dla poprzedniego przykładu  $D_a : D \approx 1,1$   
 będzie.  $D_b : D = 0,777$ ; więc  $D_a = 374$  mm.  $D_b = 263$  mm.  $D_{a_2}$   
 $= 396$  mm.  $D_{b_2} = 260$  mm  $D_{a_3} = 418$  mm.  $D_{b_3} = 295$  mm.  $D_{a_4} =$   
 $380$  mm.  $D_{b_4} = 263$  mm.  $D_{a_5} = 308$  mm.  $D_{b_5} = 218$  mm; dla tego  
 samego stosunku otrzymamy czopy.  $d_{a_1} = 222$  mm.  $d_{b_1} = 157$  mm.  
 $l_1 = 274$  mm  $d_{b_2} = 158$  mm.  $d_{b_3} = 112$  mm.  $l_2 = 188$  mm:

2. Osi z przekrojem krzyżowym.

Sposób obliczania przekrojów niekołowych jest dwójaki : albo obliczamy bezpośrednio przekrój, przyjąwszy stosunki wysokości i grubości jego, lub obliczamy najprzód oś pełną, zamieniając następnie jej przekrój na przekrój żądany, przyjmując równe moduły przekrojów. Reuleaux podaje dla przekroju krzyżowego (fig. 157—158) wzór :

$$\frac{D}{d} = \frac{b}{h} \sqrt[3]{\frac{16}{3\pi} \left(1 - \frac{b}{h} + \frac{h^2}{b^2}\right)}$$

### III. W A Ł Y.

(n. Welle f. arbre a. shaft r. валъ)

#### §. 29. Obliczanie wałów.

Wały służą do przenoszenia ruchu obrotowego, są zatem wystawione na skręcenie. Oznaczmy przez  $D$  średnicę wału w  $mm$ .

- „  $L$  długość, w  $m$ .
- „  $\mu$  dozwolone napięcie na 1  $mm^2$ .
- „  $E$  moduł sprężystości materiału
- „  $P$  siłę skręcającą w klgr.
- „  $R$  ramię téj siły w  $mm$ .
- „  $M$  Moment skręcenia.
- „  $N$  ilość sił koni pracy.
- „  $n$  ilość obrotów na minutę.

to wiadomo z teoryi wytrzymałości, że moment skręcenia wyraża się za pomocą równania (XIV).

$$M = PR = \mu \frac{J_b}{e}$$

Znając więc moment skręcenia i napięcie dozwolone materiału, otrzymamy moduł przekroju, z którego wymiary łatwo obliczyć się dają. I tak n. p. dla przekroju kołowego moduł przekroju wynosi

$$\frac{D^3 \pi}{16} = PR \frac{1}{\mu} \text{ skąd:}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} PR \frac{1}{\mu}} \quad . \quad . \quad . \quad (73)$$

a gdy jest dane  $N$  i  $n$ :

$$D = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi} \frac{1}{\mu} 716200 \frac{N}{n}} \quad (74)$$

Te wzory okazują, że średnica wału jest proporcjonalną względem 3-go pierwiastka momentu  $PR$  lub  $\frac{N}{n}$

Dla wału pustego będzie:

$$\frac{D^3 \pi}{16} = \frac{\pi}{16} \frac{D_a^4 - D_b^4}{D_a} = \frac{PR}{\mu} \quad \text{czyli}$$

$$\frac{D^3}{D_a^3} = 1 - \left( \frac{D_b}{D_a} \right)^4$$

otrzymamy więc ten sam wzór co dla osi pustych, lecz z tą odmianą, że  $D$  jest teraz średnicą wału obliczonego na skreślenie. Możemy więc téj saméj użyć tablicy, lub liczyć:

$$D_b = \sqrt[4]{D_a^4 - D_a^3 D^3} \quad . \quad . \quad . \quad (75)$$

Na materiał wału obieramy zwykle żelazo kute, a tylko wyjątkowo żelazo lane; a gdy lekkość jest wymagana, blachy lub stali. Natężenie dozwolone przyjmujemy z uwzględnieniem następujących okoliczności:

Dla żelaza lanego:  $\mu = 1$  do 3, gdy wały nie doznają żadnych wstrząśnięć.

Dla żelaza kutego i stali, jeżeli:

- 1) wały nie doznają żadnych wstrząśnięć:  $\mu = 5$  kgr.
- 2) wały są transmisyjne t. z. przenoszą ruch obrotowy w zakładach fabrycznych, gdzie zachodzą ciągle, lecz lekkie wstrząśnienia . .  $\mu = 2,4$  kgr.



3) wały są wystawione na silne uderzenia n. p. przy walcowniach, młotach i t. p.:  $\mu = 1,2$  kgr.

Następujące wzory obliczania średnicy wałów są zastosowane do średnich wartości  $\mu$ , a zatem, jako wały transmisyjne obliczone:

$$\begin{aligned} \text{Wały lane} \quad D &= 1,7 \sqrt[3]{PR} = 150 \sqrt[3]{\frac{N}{n}} \\ \text{Wały kute i stalowe} \quad D &= 1,25 \sqrt[3]{PR} = 115 \sqrt[3]{\frac{N}{n}} \end{aligned} \quad (76)$$

Uwzględniając kąt skrzywienia  $\varphi$  t. j. kąt, o który 2 przekroje wału, o długość  $L$  od siebie oddalone, względem siebie obracają się, wiadomo z praw wytrzymałości, że

$$\varphi^0 = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{PR}{J_b} \cdot \frac{L}{Es} = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{L}{eEs} \mu \quad (77)$$

gdzie  $J_b$  oznacza moment biegunowy bezwładności przekroju;  $e$  = odległość najwięcej natężonego włókna od osi obojętnej.

Dla wałów walcowych jest:

$$J_b = \frac{\pi}{32} D^4 \quad . \quad . \quad . \quad e = \frac{D}{2}$$

Z wzoru (77) otrzymamy wartości szczególne dla wałów z różnego materiału, gdy wstawimy odpowiednie wartości za  $\mu$  i  $Es$ . Ponieważ  $L$  zostało przyjęte w metrach, musimy w rachunku dla jednolitości miar za  $L$  wstawić 1000  $L$ . W tablicy (§. 12) podaną jest wartość modułu sprężystości  $Es$ . przyjąwszy według powyższych wskazówek wartość za  $\mu$ , znajdziemy kąt skrzywienia dla wałów pełnych:

$$\begin{aligned}
 \text{z żelaza lanego } \varphi^0 &= 155 \text{ } RP \frac{L}{D^4} \\
 \text{„ „ kuteego } &= 86 \text{ } PR \frac{L}{D^4} \\
 \text{ze stali } &= 78 \text{ } PR \frac{L}{D^4}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{z żelaza lanego } \varphi^0 &= 155 \text{ } RP \frac{L}{D^4} \\ \text{„ „ kuteego } &= 86 \text{ } PR \frac{L}{D^4} \\ \text{ze stali } &= 78 \text{ } PR \frac{L}{D^4} \end{aligned}} \right\} \cdot (78)$$

gdzie  $L$  będzie wyrażone w metrach. W praktyce obliczamy rzadko kąt skręcenia, lecz przeciwnie ustanowiamy dozwoloną granicę kąta, która dla jednostki długości może być większą przy cieniłych, a mniejszą przy grubych wałach. Zwykle przyjmuje się, że wał może zostać skręconym o  $\frac{1}{4}^\circ$  na 1 metr długości, czyli że  $\varphi^0 = \frac{1}{4}$  dla  $L = 1$  m; więc dla wału o długości  $L$  metrów będzie

$$\varphi^0 = \frac{1}{4} L$$

Przyjawszy taki kąt skręcenia, otrzymamy z (78) wartość średnicy wału

$$\begin{aligned}
 \text{dla żelaza lanego } D &= 5 \sqrt[4]{PR} = 145 \sqrt[4]{\frac{N}{n}} \\
 \text{„ „ kuteego } &= 4,3 \sqrt[4]{PR} = 125 \sqrt[4]{\frac{N}{n}} \\
 \text{„ stali } &= 4,2 \sqrt[4]{PR} = 120 \sqrt[4]{\frac{N}{n}}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{dla żelaza lanego } D &= 5 \sqrt[4]{PR} = 145 \sqrt[4]{\frac{N}{n}} \\ \text{„ „ kuteego } &= 4,3 \sqrt[4]{PR} = 125 \sqrt[4]{\frac{N}{n}} \\ \text{„ stali } &= 4,2 \sqrt[4]{PR} = 120 \sqrt[4]{\frac{N}{n}} \end{aligned}} \right\} (79)$$

W danym wypadku należy zatem średnicę wału obliczać według wzoru (76) i (79), zaś większą wartość ostatecznie przyjąć.

### §. 30. Wały, wystawione jednocześnie na zgięcie i skręcenie.

Gdy wał oprócz skręcenia doznaje także zgięcia, musimy obliczyć jego przekrój odpowiednio do tych obudwu wytrzymałości. Oznaczmy przez:  $M_s$  moment skręcenia pewnego przekroju.  $M_z$  moment złamania tego przekroju.  $M$  moment wypadkowy, zastępujący oba momenta.

Najodpowiedniejszą drogą do obliczania takiego wału było by wyprowadzić wzór, w którym rzeczywisty moment  $M$  byłby wyrażony w sposób następujący:

$$M = \frac{J}{e} A \cdot S. \quad \text{gdzie } \frac{J}{e} \text{ jest modulem przekroju,}$$

$A$  oznacza współczynnik odpowiedni materiału;  $S$  = natężenie wypadkowe włókna;  $M$  = moment wypadkowy.

Ta droga prowadzi jednak do wzoru bardzo zawiłego (p. Zeitsch. des Vereins deutsch. Ingenieu. 1870 st. 417) a w dodatku podaje zawsze tylko wartości przybliżone. Z tej przyczyny możemy od razu zdążyć do wartości przybliżonych a obliczenie przeprowadzić w następujący sposób: Przypuśćmy, że przez zgięcie nie zostanie zmieniona wytrzymałość na skręcenie, tudzież, że przez skręcenie prawa i warunki zgięcia pozostają te same, jak gdyby skręcenie nie miało miejsca, a obliczymy wał najpierw ze względu na skręcenie, a następnie na wygięcie, i uwzględniamy ostatecznie wymiar większy. Tego sposobu możemy użyć tylko wtedy, gdy momenty skręcenia i zgięcia znacznie się różnią co do wielkości. Gdy zaś te momenty są prawie równe, wtedy obliczenie powyższe byłoby niewłaściwe.

Drugi sposób obliczenia wału jest taki: obliczamy rdzeń wału tak, by wytrzymał skręcenie, i dodajemy tak silne wzmocnienia (walec nałożony lub żebra), które są same przez się w stanie wytrzymać zgięcie. Sposób ten wyda bardzo wielkie wymiary zwłaszcza wtedy, gdy momenta się nieznacznie różnią. Z tego powodu będzie odpowiedniejszy sposób polegający na połączeniu momentów  $M_s$  i  $M_z$  w jeden moment  $M$ , który nazwiemy idealnym momentem, przyjmując: że ten musi być w równowadze z  $M_s$  i  $M_z$  dla każdego przekroju wału. Natenczas możemy moment ten wyrazić wzorem:

$$M = \frac{J}{e} S_1 = \frac{\pi}{32} D^3 S_1 \dots \dots (80)$$

Gdzie  $S_1$  dozwolone natężenie wału oznacza i jest =  $A S$ . Na podstawie przybliżonego rachunku znajdziemy moment wynikowy

$$M = \sqrt[3]{S_1 M_z + S_1} \sqrt{M_z^2 + M_s^2} \quad . \quad . \quad . \quad (81)$$

a z tego w przybliżeniu dla

$$\left. \begin{aligned} M_z > M_s \quad . \quad . \quad . \quad M &= 0,975 M_z + 0,25 M_s \\ M_s > M_z \quad . \quad . \quad . \quad M &= 0,625 M_z + 0,6 M_s. \end{aligned} \right\} (82)$$

Wstawivszy wartości za  $M$  otrzymamy z (80) średnicę wału:

$$D = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \frac{M}{S_1}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (83)$$

Za  $S_1$  przyjmujemy wartości, które w poprzednim §. 29 dla  $S$  zostały podane, a otrzymamy:

$$\left. \begin{aligned} \text{dla żelaza lanego} \quad D &= 16 \sqrt[3]{M} \\ \text{" " kutego} \quad &= 12,6 \sqrt[3]{M} \\ \text{dla stali} \quad &= 10 \sqrt[3]{M} \end{aligned} \right\} (84)$$

Z powyższych wzorów obliczyć możemy średnicę  $D$ , gdy w nie zamiast  $M$  wstawimy wartości z (82) obliczone.

Redtenbacher podaje następujący wzór do obliczenia tych wałów:

$$D = \sqrt[4]{D_s (D_s^3 + D_z^3)} \quad . \quad . \quad . \quad (85)$$

Graficzném wykryśleniem otrzymamy idealny moment w następujący sposób. Moment zgięcia znanym jest przez wykreszenie wieloboku sznurowego  $Am_1 r_1 \dots B$  (fig. 160). Wyznaczenie momentu skręcenia okazuje najlepiej przykład w fig. 160. Jeżeli w  $m_2$  osadzone jest koło zębate, które ruch przenosi, i jeżeli przypuścimy, że każdy system

ramion koła wodnego dostarcza jednakowej siły, natenczas moment skręcenia jednego systemu ramion (licząc  $R$  w  $m$ ) jest:

$${}^1_4 PR = {}^1_4 716,2 \frac{N}{n} = {}^1_4 716,2 \frac{80}{8} = 1790,5 \text{ mkgr.}$$

Wzdłuż tej samej podziałki, według której ciśnienia były odczytane, (tu więc  $1 \text{ mm.} = 300 \text{ kgr.}$ ) wykreślimy prostokąty o wysokości  $1790,5 : 300 = 5,97 \text{ mm.}$  od  $u_2$ , poczynając zawsze od miejsca, gdzie koło zębate jest osadzone, a otrzymamy pole  $m_2 \ m_3 \ r_3 \ s_3 \ t_3 \ u_3 \ u_2 \ m_2$  dające momenty skręcenia. Te dwa pola t. j. moment skręcenia i zgięcia możemy teraz złączyć w jeden moment wypadkowy według wzoru (81). Ponieważ pierwiastek przedstawia przeciwprostokątną trójkąta, wykreślenie zatem jest następujące: kreślimy łuk  $m_3 \ m_4$  i t. d. t. j. odcinamy momenty skręcenia poziomo i otrzymujemy przez wykreślenie trójkąta prostokątnego długości:  $m_1 \ m_4 = \sqrt{M_s^2 + M_z^2}$  i t. d. Z tej długości bierzemy  $\frac{5}{8}$  i dodawszy  $\frac{3}{8}$  podziałki  $M_z$  otrzymamy  $m_2 \ C$  jako moment wypadkowy dla punktu  $m_6$ ; następnie  $r_2 \ D = M$  dla  $r_2$  i t. d. Znając momenty wypadkowe, obliczymy średnicę wału według wzoru (184) i znajdziemy:  $M_1 = 12400$ .  $M_2 = 14200$ .  $M_3 = 15300$ .  $M_4 = 12200$ .  $M_5 = 500$ ; wreszcie  $D_1 = 348 \text{ mm.}$   $D_2 = 370 \text{ mm.}$   $D_3 = 390 \text{ mm.}$   $D_4 = 350 \text{ mm.}$   $D_5 = 285 \text{ mm.}$

### §. 31. Wyrabianie osi i wałów.

Do wyrabiania osi lub wałów z żelaza lanego używane są modele z drzewa, można się jednak obejść bez modeli a wyrabiać osi według szablonów. Drugi sposób jest tańszy, bo wykonanie modelu bywa najczęściej kosztowne.

Odlew powinien być tak wykonany, żeby forma była ustawiona pionowo, przyczem urządza się odpowiednio wielką głowę straconą, celem uniknięcia leizny dziurkowatej, która się tworzy zawsze w najwyższych warstwach odlewu. Z tego powodu odlewanie długich wałów jest utrudnione,

bo odlewnia nie posiada zawsze odpowiednio głębokich jamy, w której formy mogłyby być ustawione. Gdy więc ustawienie pionowe nie da się skutecznie, staramy się wykonać odlew w położeniu pochylm.

Przy odlewaniu wałów pustych koniecznym jest użycie jądra t. j. wypełnienia miejsca próżnego wewnątrz wału. Jądro takie robi się najlepiej na rurze żelaznej dziurkowanej (dla łatwiejszego wysuszenia jądra i łatwego odpływu gazów, przy odlewaniu powstających), obwijając rurę najprzód powrośłami słomianymi, następnie nakładając na to glinę, zmieszaną z plewą, nawozem lub sierścią krów, i wytaczając to jądro wzorcem przyłożonym, dopóki zbytek gliny we wszystkich miejscach zebrany i kształt wykończony nie zostanie. Ta praca wykonywa się na tokarce jądrowej (Drehlade), do tego celu umyślnie przeznaczonj. Jądra suszą się w suszarniach (n. Trockenkammer) i wkładają się do formy, w której wyrobione są gniazda, (Kernmarken) dla zapewnienia prawidłowego ułożenia jądra. Następnie składa się forma a odlewanie odbywa się tak, jak odlewanie wałów pełnych.

Wały z żelaza kutego i stali mogą być tylko wykute lub walcowane, a nawet wały, odlewane ze stali muszą być dla zgęszczenia materiału przekuwane. Walcownie dostarczają wałów i osi przeciętnie do 6 metrów długości o różnych grubościach, lecz jakoś ich jest tylko wtedy dobrą, gdy wał ma średnicę mniejszą niż 200 mm; walcownie bowiem zazwyczaj nie zgęszczają żelaza pod młotami, lecz poruczają spójnienie żelaza walcom, które wywierają za słabe ciśnienie aby żelazo dostatecznie zgęścić. W takich razach, gdy wał jest grubszy niż 200 mm, lub gdy kształt jego jest fasonowy t. j. nieokrągły (karbowy i t. p.), wtedy wykucie wału jest jedynym i najlepszym sposobem.

Znamy kilka sposobów odkuwania wałów grubszych. Pierwszy sposób jest następujący: Kawałki żelaza kutego,

związane drutem w pakiety, stanowią materiał do wyrobu wału. Pakietów bierze się około 50% więcej, niż wynosi ciężar wału, który wyrobić mamy. Pakiety wsuwa się w piec płomienny (blisko młota położony) i ogrzewa się do temperatury spawalności (Schweisshitze). Tę temperaturę łatwo poznać po tém, że drąg, wsunięty na próbę w piec, okaże żelazo odpowiednio miękkim, co zresztą i po barwie (białe żarzenie) poznać się daje. Natenczas wyciąga się cały pakiet z pieca za pomocą łopaty i żurawia. Równocześnie ogrzany został koniec drąga żelaznego do temperatury spawalności i kilkoma uderzeniami młotka przykuwa się go do wydobytego pakietu. Ten drąg (olawa) aż do wykończenia pracy służy za rękojeść, aby pakiet pod młotem parowym można łatwo poruszać, wykręcać i obracać. Dlatego dalsza część drąga posiada otwory, w które włożone drążki ułatwiają obracanie drąga i dają zarazem możność pewniejszego przytrzymania całego materiału przy młotowaniu. Obracanie mniejszych pakietów pod młotem uskutecznia się kleszczami. Przez ciągle i szybkie kucie młotem parowym wyrabia się z graniastosłupa stopniowo wał czworokątny, następnie ośmiokątny. Jeżeliby zaś żelazo za wiele ostygło, wtedy ogrzewa się je ponownie w piecu razem z rączką spojona, która wystaje na zewnątrz pieca i bywa wodą chłodzona. Z ośmiokątnego drąga wykuwa się w wykroju półwalcowym wał okrągły, przyczém się wał od czasu do czasu wodą polewa. Ta czynność ma cel podwójny: 1) aby zendra odskoczyła, więc nie została wgnieciona w żelazo, i 2) żeby łatwo poznać można miejsca źle spojone lub wadliwe, które są wynikiem układania pakietów i mają zwykle kierunek ukośny. Po zlaniu wodą ostygła najpierw cała powierzchnia, lecz część *cb* (fig. 6 str. 100) prędzej zaczyna się żarzyć, niżeli część *ab*, która przez odosobnienie nie tak rychło ciepło otrzymuje. Miejsce *b* jest więc wadliwe



Fig 6.

i powinno się je zaraz dłutem wyciąć i na gorąco zbić. Ostateczne wykuwanie osi rozpoczyna się od miejsca, w którym rączka żelazna jest spojona; a postępuje się w przeciwnym kierunku, co wyda zupełnie prostą oś, jeżeli tylko rączkę zawsze poziomo w kierunku osi wykroju za pomocą żurawia posuwać będziemy.

Drugiego sposobu używamy do wyrabiania bardzo wielkich osi t. j. takich, których z jednego pakietu wyrobić nie można. Wtedy bierzemy pakiet żelaza, który łatwo można obrobić i wyrabiamy poprzednim sposobem drąg ośmiokątny z końcem nieco zgrubionym. Do tego niewykończonego końca przykłada się drugi pakiet, spawa się go z poprzednim i wyciąga się z niego wał dalej, i tą drogą postępuje się dopóty, dopóki pożądana długość wału osiągniętą nie zostanie. Ten sposób bardzo często używany, jest jednak niepraktyczny, z powodu gęstych miejsc spojenia, które nie dają dostatecznej pewności, że wał się udał, pomimo że wady zewnątrz nie są dostrzegalne.

Według Reichego jest lepszy lecz najmoźolniejszy 3-ci



fig. 7.

sposób następujący: Wyrabia się sposobem drugim okrągły rdzeń wału *a* (fig. 7), nadając mu około połowy grubości średnicy wału. Następnie wyrabia się z innych pakietów części *b*, które muszą otrzymać jak najdokładniejszy kształt na rysunku podany, przez wykucie ich w wykrojach odpowiednich. Rdzeń i części *b*, których ilość zależy od grubości wału, układa się należyście, (fig. 7), wiąże się je drutem i ogrzewa się najprzód koniec całego wału t. j. przeciwny koniec rękojeści, celem spawania. Następnie ogrzewa się środek i spawa się go i postępuje się z spawaniem od tego środka do jednego końca; następnie znowu od środka do drugiego końca wału, wykonywując ogrzewanie w kuźnicy przenośnej. (transportabler Schweissofen).



Wyrobienie wałów powyżej opisanym sposobem uskutecznia się w hutach lub w walcowniach, a dalsze ich obrabianie odbywa się w warsztatach fabrycznych.

Do wykonania wału lub osi o średnicy  $D_{mm}$  a długości  $L\ m.$  obiera się powyżej otrzymane żelazo walcowane lub wykute, które o 3 do 10  $mm$  musi być grubsze, aniżeli wymagamy wał. Wały wykute są dość proste, lecz rzadko tak, aby je na tokarce bezpośrednio otoczyć można; zwłaszcza, że przy otoczeniu zbieramy często warstwę zaledwie 1 do 2  $mm$  grubą, co wymaga bardzo prostego walca. Najczęściej trzeba pierw wyprostować wał na tokarce, a to robi się w następujący sposób: Oznacza się najpierw jak najdokładniej środek obu końców wału punktykiem (Kernem), wkłada się następnie wał między siodło i tarczę (Reitstock und Spindelstock) i obraca się wał tokarki, trzymając na suporcie kredę i prowadząc ją równolegle do osi wału czyli do osi tokarki. Tym sposobem oznaczy kreda miejsca wypukłe, z których najwięcej wystające oznacza się znakiem. Teraz obrabia się młotem stronę wklęsłą, przez co włókna jej rozciągają się i wał się prostuje.\*)

Sprostowanie nie powinno się odbywać na tokarce. Najprędzej i najdokładniej osiąga się ten cel na prasie śrubowej w którą się wał wkłada, a miejsca wypukłe prostuje się śrubą, wyjaśnionym wyżej sposobem. Ta praca powtarza się tak często, dopóki nie przekona nas tokarka

---

\*) Zdania H. Reichego wypowiedzianego w dziele „Maschinenbau“ 1876 str. 200 jako i poparcia tego w rozprawie Broichmana w PMC 1873 st. 61 wcale nie podzielam. W pismach tych jest wyrażone twierdzenie, że główną przyczyną wygięcia się wału po otoczeniu go jest sposób jego prostowania, gdyż włókna, które młotkiem zostały zgniecione, przez otoczenie zostają zebrane, a zatem całe napięcie, które utrzymuje oś w prostym kierunku, znikło, pozwalając tem samem wrócić osi do stanu pierwotnego. Właściwą przyczyną jest (jak poniżej podaje) to, że wał się ogrzewa przez toczenie i wygina się, nie mogąc się wydlużyć.

lub płyta zupełnie równa (Richtplatte), że oś jest całkiem prosta. Taka dopiero oś przechodzi na tokarkę celem wytoczenia ją na żądany wymiar.

Przy toczeniu bardzo długich osi, podpira się je w kilku miejscach, aby oś nie wyginała się pod nożem. Ważnem jest także i to, aby oś, która się przez otoczenie rozgrzewa, mogła się odpowiednio wydłużyć. W tym celu powinno być po stronie siodła wywiercone długie zagłębienie, któreby dozwalało takiego przedłużania się osi. W przeciwnym razie musi się wał wygiąć a po zdjęciu z tokarki okazuje się wygiętym.

Do osiągnięcia dobrego wyrobu potrzeba zawsze oś najmniej 2 razy wytoczyć; a mianowicie tocząc pierwszy raz zgrubszego, drugi raz dokładnie na żadaną miarę. Ostatnią robotą przy wałach bywa wygładzanie ich celem zebrania wszystkich śladów, które nóż przy toczeniu zostawił. Gdy przy toczeniu osi okażą się rysy pęknięcia, to powinno się je sumiennie zbadać; w razie zaś, gdy głębokość rys jest znaczna, lub gdy pęknięcia są poprzeczne t. j. prostopadłe do osi wału, nie powinno się takiego wału używać. Mniej szkodzą rysy podłużne, idące w kierunku osi, jeżeli ich długość i głębokość nie jest bardzo znaczna.

#### **IV. PIERŚCIEŃNIE OSIOWE I KLINOWANIE.**

##### **§. 32. Pierścienie osiowe.**

n. Stellingring f. l'anneau a. ring r. Кольцо.

Zabezpieczenie osi lub wałów w łożach przeciw posuwaniu się w kierunku długości uskutecznia się bardzo często za pomocą pierścieni nasuwanych, które zastępują zupełnie zgrubienia pierścieniowe w tym samym celu wykonywane. Kształt pierścienia w widoku i w przekroju okazuje

fig. 163 164. Wymiary wpisane są przyjęte dla żelaza kutego. W nowszych czasach używa się bardzo często pierścieni lanych, które należy robić znacznie grubsze; biorąc:

$$\left. \begin{array}{l} b = 15+0,4 d \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad a = 0,7 b \\ \text{dla pierścieni kutych wystarcza:} \\ b = 10+0,3 d \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad a = 0,6 b \end{array} \right\} \quad . \quad . \quad (86)$$

Pierścienie przymocowują się do wału śrubami, które powinny być stalowe, a końce ich zahartowane. Kształt śrub okazuje fig. 164. Końce ich lepiej wytoczyć kulisto i wkleśle zamiast stożkowo i pełno, aby śruba nie tak łatwo wysliznąć się mogła. Grubość śrub przyjmujemy:

$$s = 0,15 d \text{ do } 5+0,12 d \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (87)$$

Ilość tych śrub jest zależną od grubości wału i od ciśnienia w kierunku długości osi; najmniej używa się jednej śruby; najczęściej 3ch śrub, symetrycznie rozłożonych. Głowa śruby bywa albo wystająca (jak górna w fig. 163) albo wpuszczona (jak dolna śruba w tej fig.). Śruby wystające mają tę wadę, że łatwo chwycić mogą pas spadający, a robotnik, który właśnie smarowaniem łoża jest zatrudniony, może ponieść szkodę; dlatego śruby z głową wpuszczoną, pomimo że więcej pracy wymagają, są lepsze i w nowszych czasach wyłącznie są używane. Dobrze lecz kosztowne umocowanie pierścieni otrzymuje się za pomocą klina Kernaula, którego budowę przy sprzęgłach poznamy.

Pierścienie kute wyrabia się w kuźni, następnie toczy się je tak, aby pierścień łatwo na wał wchodził, a nakoniec dorabia się śruby do umocowania.\*)

### §. 33. Klinowanie na osi.

Części, maszyn osadzone na osi lub wale i obracające się razem z nimi, przytwierdza się zwykle za pomocą klinów. Kliny do tego służące są bardzo nieznacznie klinowo

\*) Normal-Stellringe Pr. MC. 1888. st. 18.

ścięte t. j. mają tak zwaną zbieżność (n. Anzug) wynoszącą  $\frac{1}{100}$  a najwyżej  $\frac{1}{60}$ , i powinny być dokładnie dopasowane. Szerokość klina stosuje się do grubości wału  $D$  i bierzemy (fig. 165—166).

$$\left. \begin{aligned} b &= 5 + 0,25 D \\ a &= 9,6 b \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (88)$$

Te kliny powinny być ze stali wykonane, gdyż zrobione z innego materiału mogą się przy wbijaniu łatwo wygiąć i zgrubić.

Różne konstrukcje klinów okazuje fig. 165. I tak: klin  $K_2$  nie jest wpuszczony w wał i może być użytym tylko przy bardzo małych siłach. Więcej używanym jest klin  $K_1$ , gdzie oś jest płasko ścięta, a najpewniejszą konstrukcją daje klin  $K$  który wchodzi w oś i w część, do umocowania przeznaczoną. Wyjątkowo przy osadzaniu jakiejś części na samym końcu wału można użyć klina walcowego  $K_3$ , który z powodu najłatwiejszego wyboru jest bardzo praktycznym. Długość klina stosuje się do piasty czyli do części bezpośrednio na wale osadzonej. Klin otrzymuje z grubszej strony nosek (fig. 166) służący do łatwiejszego wbijania i wybijania klina, jeżeli okoliczności zezwalają na taką część wystającą.

Rozróżniamy kliny wkładane i wbijane. Pierwsze są graniastosłupowe (nie są więc zbieżne) i pośredniczą tylko w obracaniu części osadzonych na wale, nie wykluczają, a toli posuwania się ich w kierunku osi. Drugie są klinowo czyli zbieżnie wykonane i służą do stałego przytwierdzenia części na wale. Ich wymiary są jednakie w obu razach.

Kliny wykuwa się zwykle z płaskiej stali i opiłowuje się je ręcznie lub wygładza maszynowo na strugarce.

Stosunkowo więcej pracy wymaga wyrobienie rowka w wale, który się rozmaicie wyrabia. Ręcznie wycina się go dłutem wązkim (Kreuzmeissel), następnie dłutem szerokim (gerader Meissel), a ostateczne wygładzenie uskutecznia się pilnikiem. Prędej się odbywa powyższa robota na ma-

szynach do frezowania, które wyrzynają rowek na wiertarkach, wierzących podłużnie, (Langlochbohrmaschinen), przy użyciu których rowek otrzymuje na końcach kształt półokrągły. W ostatnim wypadku kliny mają końce półokrągłe, co zachodzi szczególnie dla klinów wkładanych, na których posuwają się części umocowane w kierunku osi, jak n. p. przy sprzęgaczach ruchomych i rozsuwalnych.

Inny sposób wyrobienia rowka osobnym przyrządem, poznamy w §. 62 przy wyrabianiu kół zębatych.

Przy klinach zbieżnych uważać należy na to, aby im nadać zbieżność tylko w kierunku promienia osi, nigdy zaś w kierunku prostym do tego promienia, gdyż klinowatość w ostatnim kierunku zrobiona nie przyczynia się wcale do przytwierdzenia, lecz może mieć łatwo ten skutek, że wbijanie klina rozsądzi przytwierdzoną część. Również uważać należy, aby zbieżność klina dokładnie równała się zbieżności jego otworu, gdyż tylko w takim razie pewne przytwierdzenie jest możebnem.

## **V. SPRZĘGACZE.**

n. Kupplungen. f. manchons. a. couplings.

### **§. 34. Rodzaje sprzęgaczy.**

Sprzęgacze służą do łączenia osi lub wałów gdy nie możemy osiągnąć z jednej sztuki odpowiednio długiego wału. Ze względu na budowę rozróżniamy:

1. Sprzęgacze stałe, które łączą osi lub wały tak, że ich położenie względne nie może być zmienione.

2. Sprzęgacze ruchome, które pozwalają na zmianę względnego położenia części ruchomych.

3. Sprzęgacze rozsuwalne, przy których połączenie osi podczas ruchu zniesione lub uskutecznione być może.

4. Sprzęgacze silnic, które służą do łączenia dwu różnych silnic mających działać na jednym wale, czyli mających ruch swój wspólnie przenosić.