

56,53 wiorst, maksymalna ilość zużytej wody na jedną pociąg-wiorstę 30 l.

Ze względu na projektowaną szybkość pociągów osobowych, 40 w. na godzinę, parowozy zaprojektowano silne, wagi 20 t w stanie bezczynnym. Silniejsze też, jak zazwyczaj, są z mocowania szyn. Specjalnie skonstruowane łubki i podkładki, dane na wszystkich podkładach, korzystnie wpływają na stałość osadzenia toru. Hamulce Westinghousa znajdują się będą co drugi wagon w pociągach osobowych. Hamulce zwykłe w każdym piątym wozie towarowym.

Natychmiast, po wykupieniu niezbędnych gruntów, rozpocznie się budowa linii zarówno głównej, t. j. Piaseczno—Czersk, jako też i bocznic, łączącej obie stacje Warszawa—Mokotów drogi podjazdowej Grójeckiej, z torami drogi żel. Warszawsko-Wiedeńskiej, która to bocznicą bardzo poważnie wpłynie na rozwój ruchu towarowego rzeczonych kolejek. Projektowane zlanie się zarządów i udziałów tych arterii w jedno towarzystwo, pobudowanie również w roku bieżącym linii Wawer—Otwock przez projektowane wspólne konsorcjum, posunie sprawę naszych podjazdówek bardzo silnie naprzód.

Karol Troczewski.

## ŁOŻYSKA KULKOWE.

Opracował H. Mierzejewski, inż. mech.

Technika nowoczesna korzysta z łożysk kulkowych i wałkowych od lat kilkunastu zaledwie. Przed r. 1898 zasady budowy tych łożysk były najzupełniej nieznane. W doborze pierścieni, kulek, materiału, panował zupełny chaos; kwestya dopuszczalnego obciążenia łożysk, w zależności od prędkości obrotowej, smarowania, kształtu rowków, w których toczą się kulki, wreszcie od precyzji, niezbędnej w wykonaniu, pozostawała niewyświetlona.

Punktem zwrotnym w rozwoju łożysk kulkowych stały się doświadczenia prof. Stribecka, dokonane w r. 1900, w myśl propozycji „Niemieckiej fabryki broni“<sup>1)</sup>. W związku z temi doświadczeniami i opierając się na nich, wzmiankowana fabryka wprowadziła normalizację łożysk, stopniując wymiary pierścieni i kulek i ujednolajniając typy łożysk zwykłych i oporowych. Wyniki tych doświadczeń i reform wyraziły się w zaprowadzeniu przez fabryki łożysk kulkowych specjalnych urządzeń i maszyn, zapewniających produkcji dokładność laboratoryjną. Od tej chwili stosowanie łożysk kulkowych zaczyna wchodzić na szersze tory, obejmując kolejno przemysł samojazdowy, rowerowy, maszyny narzędziowe, silniki, a ostatnio i pędnie.

Przy określaniu zjawisk, zachodzących w punktach zetknięcia się kulek z pierścieniami, a stanowiących podstawę teoretycznego ujęcia kwestyi, prof. Stribeck oparł się na pracach i doświadczeniach Henryka Hertza<sup>2)</sup>, oraz Auerbacha<sup>3)</sup>. Wobec tego, że doświadczenia wymienionych uczonych dotyczyły jako materiału szkła i kryształu górskiego, a nie stali, Stribeck zmuszony był dokonać szeregu własnych doświadczeń nad ściskaniem kulek stalowych hartowanych, które potwierdziły zresztą, ogólnie biorąc, teorię i wzory Hertza.

Według tego ostatniego, dwie kule o promieniach  $r_1$  i  $r_2$ , poddane działaniu siły  $P$ , dociskającej je wzajemnie wzdłuż linii środków, podlegają odkształceniom, ujętym w następujące wzory przy pozostawianiu poniżej granicy sprężystości:

$$\frac{\delta}{2} = 1,23 \sqrt[3]{\frac{P^2 \alpha^2 r_1 + r_2}{r_1 r_2}} \dots (1).$$

$$a = 1,11 \sqrt[3]{\frac{P \alpha}{r_1 + r_2} \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}} \dots (2).$$

$$p_0 = 0,388 \sqrt[3]{\frac{P}{\alpha^2} \left( \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2} \right)^2} \dots (3).$$

gdzie  $\delta$  oznacza zbliżenie się środków kul pod działaniem siły  $P$ ;  $a$  — średnicę powierzchni stykania;  $p_0$  — natężenie normalne elementów środkowych. Przy stali  $a$  równa się przeciętnie  $\frac{1}{2120000}$ .

Według Hertza, środkowe elementy powierzchni dotykania podlegają natężeniom nie tylko normalnym, lecz i w dwóch innych kierunkach; natężenia w płaszczyźnie stycznej stanowią 0,8 natężenia normalnego, redukując odkształcenie lokalne elementów środkowych do  $(1 - 2 \cdot 0,8 \cdot 0,3) =$

$= 0,52$  odkształcenia, jakie zachodziłoby przy wyłącznym działaniu natężenia normalnego<sup>4)</sup>.

W tych warunkach granica sprężystości podnosi się, stanowiąc  $\frac{1}{0,52} = 1,92$  granicy, określonej przy ściskaniu.

Poddając zwykłemu ściskaniu dwa stalowe hartowane cylindry, Stribeck otrzymał wartość  $9000 \text{ kg/cm}^2$ , jako granicę sprężystości, co odpowiada  $9000 \cdot 1,92 = 17280 \text{ kg/cm}^2$  przy ściskaniu kul stalowych.

Posiłkując się wzorem (3), który, przy  $\frac{1}{r_2} = 0$  i  $2r_1 = d$ , posiada kształt:

$$p_0 = 0,388 \sqrt[3]{\frac{4}{\alpha^2} \frac{P}{d^2}} \dots (3a),$$

otrzymujemy następujący szereg wartości  $p_0$ :

$$P = d^2 \quad 2d^2 \quad 3d^2 \quad 4d^2 \quad 5d^2 \quad 10d^2 \quad 50d^2 \quad 100d^2$$

$$p_0 = 10160 \quad 12810 \quad 14660 \quad 16140 \quad 17380 \quad 21900 \quad 37450 \quad 47180 \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

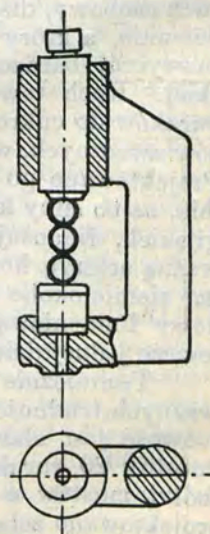
Otrzymana przez nas poprzednio wartość  $17280 \text{ kg/cm}^2$ , odpowiada, według zależności (3a), —  $P = 5d^2$ . ( $P$  w  $\text{kg}$ ,  $d$  w  $\text{cm}$ ). Jak słusznie zwraca przytem uwagę prof. Stribeck, przyjęcie tak niskiej wartości obciążenia kulki pociągnęłoby za sobą zrezygnowanie z łożysk kulkowych wogóle. Natężenia, stosowane w praktyce, przekraczają normalnie granicę sprężystości, jak to wyjaśnimy następnie.

*Doświadczenia nad ściskaniem kul i płytek stalowych hartowanych.* Metoda Hertza polegała na mierzeniu średnicy powierzchni dotykania soczewek szklanych. Stal, jako materiał nieprzezroczysty, uniemożliwiała stosowanie tej metody, wobec czego prof. Stribeck ograniczył się wyłącznie do określania  $\delta$  według wzoru (1) Hertza. Badania te obejmowały przyciskanie kulki do kulki, kulki do płaszczyzny i kulki do powierzchni wklęsłej.

Przyrząd zaciskowy (rys. 1) składał się z mocnego ramienia stalowego z dwiema piastami o wspólnej osi; kulki umieszczone były pomiędzy dwoma cylindrami, nieruchomym dolnym i ruchomym górnym. Górny cylinder przyciskany był na dół zapomocą prasy hydraulicznej Armstronga, pozwalającej określić ciśnienie ze znaczną dokładnością. Kulki stosowano normalne od  $\frac{3}{8}$ " do  $\frac{9}{8}$ ", ze stopniowaniem co  $\frac{1}{8}$ " miary angielskiej.

Przez umieszczenie trzech kulek jedna nad drugą i mierzenie odległości środków dwóch kulek skrajnych, osiągnięto możliwość zaobserwowania dwa razy większych wartości odkształcenia, niżby miało miejsce przy dwóch kulkach.

<sup>4)</sup> Ciekawe wyjaśnienia, dotyczące natężeń, działających w płaszczyźnie stycznej i związanych z tem zjawisk pęknięcia kulek, czytelnik zainteresowany znajdzie w pracy inż. Schwinninga „Doświadczenia nad obciążeniem łożysk kulkowych“. Z. V. D. I., r. 1901, str. 332.



Rys. 1.  
Przyrząd zaciskowy.

<sup>1)</sup> Z. V. D. I., r. 1901, str. 73 i nast.

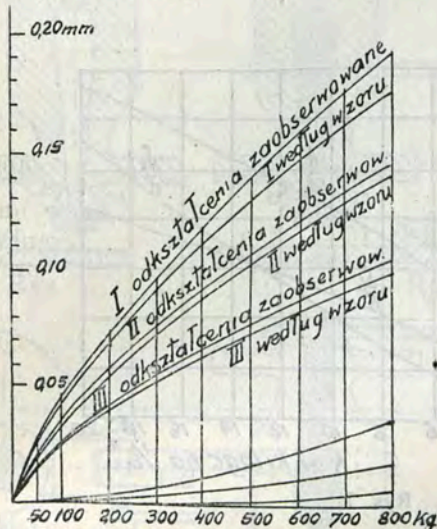
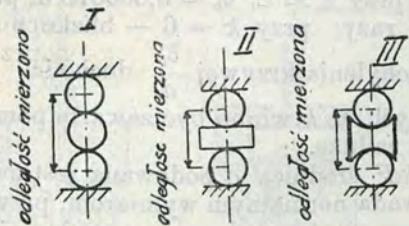
<sup>2)</sup> Dzieła zbiorowe H. Hertza, t. I, str. 155 i nast.

<sup>3)</sup> Wiedemanns Annalen, r. 1891, str. 61.



Każdorazowe doświadczenie dawało przytem jakgdyby przeciętną z dwóch oddzielnych pomiarów.

Kulki skrajne spoczywały w odpowiednich wydrążeniach cylindrów zaciskowych. Środkową kulkę ustawiano i podtrzymywano następnie zlekka zapomocą linijek stalowych z półkolistymi wydrążeniami. Przyrząd mierniczy Martensa ze zwierciadłem pozwalał odczytywać odkształcenia z właściwą mu dokładnością, w skali 1000:1.



Rys. 2. Schemat doświadczenia wraz z wykresem dotyczącym kulek 5/8''.

(III, rys. 2) cylindrycznej o promieniu krzywizny = 2/3 d.

Dla przykładu podajemy (tabl. I) wartości, otrzymane przy kulkach 5/8''. Prócz wartości, zaobserwowanych i obliczonych na zasadzie wzorów Hertza, podane są w niej wartości wyrównane, stanowiące rzędne odpowiednich wykresów.

Tablica I.

1) 3 kulki 5/8'' ang. jedna nad drugą.

$$\frac{\delta}{2} = 0,0001014 \sqrt[3]{P^2} \quad (\delta \text{ w setnych częściach mm}).$$

$P \text{ kg}$		50	100	200	300	400	500	600	700	800
$\delta$	według wzoru . .	2,75	4,37	6,94	9,09	11,01	12,78	14,43	15,99	17,48
	zaobserwowane . .	2,78	4,44	7,14	9,45	11,65	13,62	15,49	17,42	—
	wyrównane . . .	2,78	4,43	7,13	9,51	11,65	13,63	15,53	17,35	19,08
$\delta_b$	zaobserwowane . .	0,05	0,11	0,39	0,66	1,01	1,51	2,17	2,81	—
	wyrównane . . .	0,05	0,11	0,35	0,68	1,14	1,63	2,19	2,81	3,45

2) Płytką pomiędzy kulkami 5/8'' ang.

$$\frac{\delta}{2} = 0,0000805 \sqrt[3]{P^2} \quad (\delta \text{ w setnych częściach mm}).$$

δ	według wzoru . . .	2,19	3,47	5,51	7,22	8,74	10,14	11,45	12,69	13,84
	zaobserwowane . . .	2,27	3,68	5,70	7,47	9,03	10,43	11,78	13,01	14,31
	wyrównane . . .	2,19	3,50	5,64	7,40	9,04	10,54	11,93	13,23	14,46
δ <sub>b</sub>	zaobserwowane . . .	—	—	0,18	0,39	0,62	0,78	1,08	1,16	1,44
	wyrównane . . .	—	—	0,23	0,44	0,64	0,85	1,13	1,39	1,63

3) Płytką z pow. wklęsłą pomiędzy kulkami 5/8''.

$$\frac{\delta}{2} = 0,000057 \sqrt[3]{P^2} \quad (\delta \text{ w setnych częściach mm}).$$

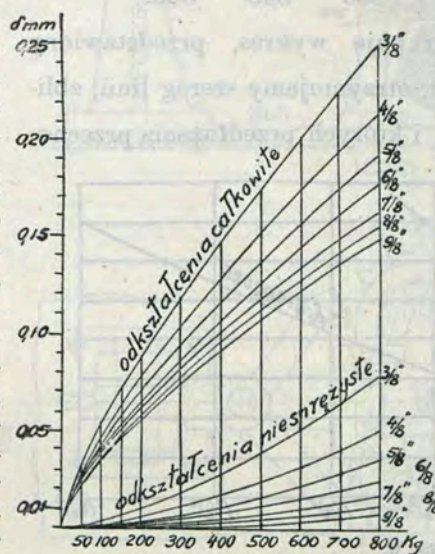
δ	według wzoru . . .	1,55	2,46	3,90	5,11	6,19	7,18	8,11	—	9,82
	zaobserwowane . . .	1,59	2,56	4,11	5,39	6,51	—	8,48	—	10,21
	zaobserwowane . . .	0,01	0,06	0,13	0,18	0,25	—	0,40	—	0,57

Z tablicy tej oraz wykresu (rys. 2) wnioskujemy, że odkształcenia kulki, zwłaszcza niesprężyste, zależą w znacz-

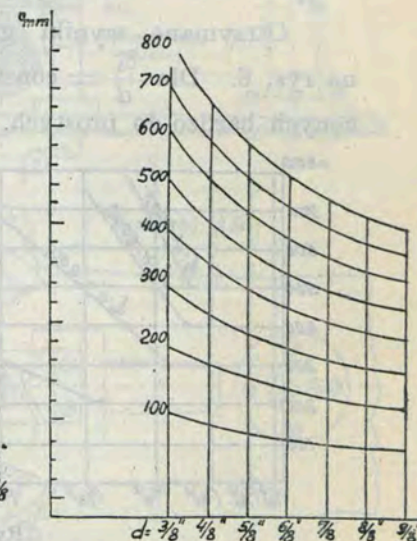
nym stopniu od krzywizny powierzchni, o którą opiera się kulka. Wartości zaobserwowane nie różnią się wiele od obliczonych na rys. 2, u dołu podane zostały wyniki odejmowania graficznego krzywych wykresowych, ilustrujące niezgodność teorii z doświadczeniem.

Wykres (rys. 3) przedstawia odkształcenie zarówno całkowite jak i niesprężyste, w zależności od wielkości kulek i obciążeń. Zależność odkształceń od wielkości kulek przy danych obciążeniach ilustruje wykres (rys. 4). Oba te wykresy odnoszą się do kulki ściskanej pomiędzy kulkami. Przy dociskaniu kulki do płaszczyzny lub rowka cylindrycznego, Stribeck otrzymał wykresy analogiczne<sup>1)</sup>.

Na zasadzie podanych wykresów niepodobna wszakże oznaczyć wartości, posiadającej pierwszorzędne znaczenie



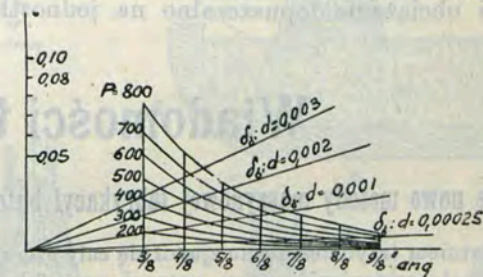
Rys. 3.



Rys. 4.

praktyczne, a mianowicie obciążeń dopuszczalnych. Doświadczenie uczy nas, że granica sprężystości, nawet przy tak prostym wypadku, jak wyciąganie pręta o stałym przekroju, nie stanowi punktu charakterystycznego. Przy ściskaniu kulek, przekroczenie tej granicy w jednym z punktów powierzchni dotykania pozostaje najzupełniej niedostrzeżone. Odkształcenie pociąga za sobą natychmiastowe powiększenie powierzchni dotykania; w grę wchodzi nowe elementy powierzchniowe i związane z tem działania uboczne, bardziej złożone niż przy prostym ściskaniu. Wobec tego, poszukiwanie granicy obciążeń dopuszczalnych należało oprzeć na zasadach odmiennych.

Przy przekroczeniu granicy sprężystości, otrzymujemy dla danej siły P dwie wartości δ i δ<sub>b</sub>. Odkształcenie nie-



Rys. 5.

sprężyste stanowi przytem część odkształcenia całkowitego  $\frac{\delta_b}{\delta} = \frac{\delta_b}{\delta} : \frac{\delta}{\delta}$ . Pozostaje zbadać, w jakich warunkach stosunek ten pozostaje stałym. Zauważmy przedewszystkiem, że

na zasadzie wzoru (1)  $\delta = \sqrt[3]{P^2 \frac{r_1 + r_2}{r_1 r_2}} \times \text{const.}$ , warunek  $P = kd^2$  wyprowadzony ze wzoru (3a), pociąga za sobą  $\frac{\delta}{d} = \text{const.}$  Dotyczy to oczywiście wartości, pozostających

<sup>1)</sup> Pewne światło rzucają pod tym względem doświadczenia Auerbacha nad odkształceniem ciał ciastowatych.

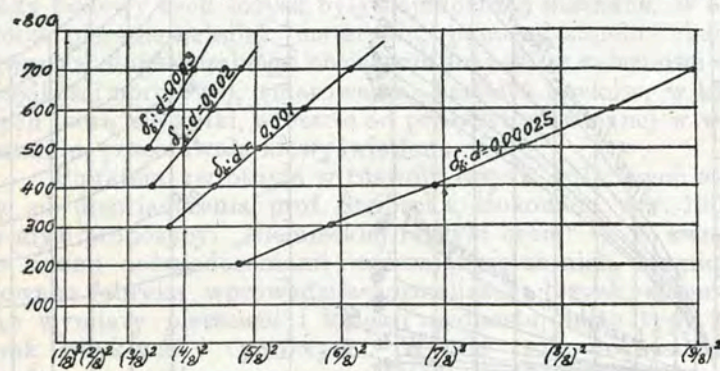


poniżej granicy sprężystości. Ale doświadczenia Stribecka potwierdziły słuszność wzorów Hertza i powyżej tej granicy. Możemy też przyjąć za dowiedzioną w przybliżeniu i wyprowadzoną przed chwilą zależność. Po resztę zwróćmy się do graficznych przekształceń wykresów, przedstawiających  $\delta_b$  w zależności od  $d$  i  $P$  (rys. 5). Przecinając mianowicie układ krzywych  $P = 200, 300, \dots, 800 \text{ kg}$  przez proste  $\frac{\delta_b}{d} = \text{const}$ , otrzymujemy szereg wartości na  $P$  przy danych  $d$ .

Tak np., przy  $\frac{\delta_b}{d} = 0,00025$ ,

$P =$	200	300	400	500	600	700 kg
$d =$	0,600	0,740	0,869	0,966	1,051	1,125 c. ang.
$\frac{P}{d^2} =$	556	547	530	536	545	553.

Otrzymane wyniki grupuje wykres, przedstawiony na rys. 6. Dla  $\frac{\delta_b}{d} = \text{const}$ , otrzymujemy szereg linii, zbliżonych bardzo do prostych, i których przedłużenia przechodzą



Rys. 6.

dą w przybliżeniu przez początek osi współrzędnych, co odpowiada warunkowi  $P = kd^2$ . Warunek ten spełnia się tem dokładniej, im  $\frac{\delta_b}{d}$  jest mniejsze.

Przy dociskaniu kulki do płytki otrzymujemy podobne wyniki. Tak przy  $\frac{\delta_b}{d} = 0,000125$  otrzymujemy następujące wartości:

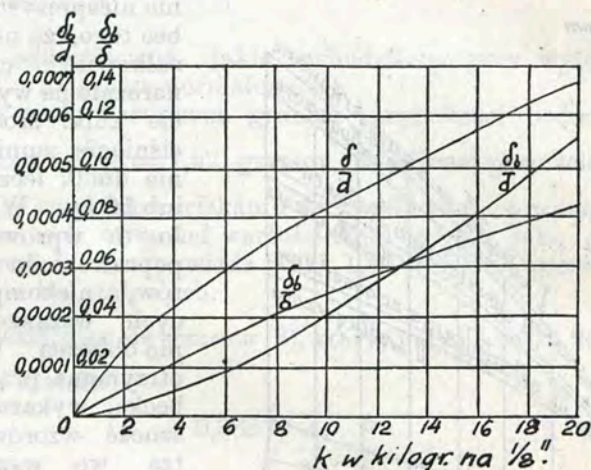
$P =$	200	300	400	500	600 kg
$d =$	0,644	0,787	0,912	1,019	1,112 c. ang.
$\frac{P}{d^2} =$	482	485	481	482	485.

Współczynnik  $k$  w równaniu  $P = kd^2$  znajduje się tym sposobem ściśle związany ze stosunkiem  $\frac{\delta_b}{d}$ . Współczynnik ten stanowi obciążenie dopuszczalne na jednostkę średnicy

kulki. Ustalając go każdorazowo, ustalamy tem samem stosunek  $\frac{\delta_b}{d}$ , jak również naprężenie jednostkowe  $p_0$ . Możemy wobec tego obciążenie dopuszczalne kulek oznaczać wyłącznie na zasadzie współczynnika  $k$ .

Wykres (rys. 7) przedstawia  $\frac{\delta}{d}$ ,  $\frac{\delta_b}{d}$  i  $\frac{\delta_b}{\delta}$  w zależności od  $k$ . Wskazuje on, że przy  $k = 2$ ,  $\delta_b = 0,000015 d$ ; przy  $k = 4$ , zwiększa się  $\delta_b$  4 razy; przy  $k = 6$  — blisko 6 razy, a przy  $k = 10$ , kąt nachylenia krzywej  $\frac{\delta_b}{d}$  dochodzi do maximum. Nasuwa to myśl, że  $k$  winno być zawarte pomiędzy 2 a 6 i że 10 już jest za duże.

W równaniu  $P = kd^2$  średnica  $d$  podawana jest zwykle w  $\frac{1}{8}$ '' ang., co odpowiada normalnym wymiarom, przyję-



Rys. 7.

tym przez wszystkie fabryki łożysk kulkowych. O ile  $d$  podane jest w  $\text{cm}$ ,  $k$  zwiększa się dziesięciokrotnie, gdyż:

$(\frac{1}{8}'')^2 = 0,3175^2 = \frac{1}{9,92} \approx \frac{1}{10} \text{ cm}^2$ . W ósemkach c. ang. podane też było  $k$  na wykresie (rys. 7).

Wykres ostatni dotyczy ściskania wzajemnego kulek. Przy przyciskaniu kulki do płaszczyzny lub rowka cylindrycznego, obciążenia dopuszczalne powiększone być mogą dość znacznie. Przy pierścieniach z rowkami, o promieniu krzywizny  $= \frac{2}{3} d$ , obciążenie dopuszczalne określa, według bezpośrednich doświadczeń Stribeck, wzór  $P = 10 d^2$  ( $d$  w  $\frac{1}{8}$ '' lub też  $P = 100 d^2$  ( $d$  w  $\text{cm}$ ). Przedstawia to wartość 20 razy większą od określonej bezpośrednio przez wzór (3a) Hertza. Wynik ten objaśnia się przez odpowiedni wybór krzywizny rowka jak i przez przekroczenie granicy sprężystości, określonej na zasadzie wzoru (3a) Hertza.

(C. d. n.)

## Wiadomości techniczne i przemysłowe.

### Dwie nowe metody maszynowej fabrykacji butelek.

W ostatnim trzydziestoleciu zjawiał się cały szereg pomysłów, mających na celu zastąpienie pracy ręcznej przy fabrykacji butelek przez maszynową. Rozwiązanie praktyczne kwestyi dają dwie metody: Hildego i Owena. Ostatnia zwłaszcza posiada dane do wywołania poważnego przewrotu w tej gałęzi hutnictwa szkła.

Ręczna fabrykacja butelek polega na nabraniu masy szklanej z pieca zapomocą dmuchawki, a następnie na sformowaniu półfabrykatu, t. zw. kolby, kształtu gruszki o grubych ściankach. Kolba ta, ogrzana w piecu, podlega ostatecznemu wydeciu w specjalnej formie rozbielanej, posiadającej wewnętrzną powierzchnię, odpowiadającą kształtowi butelki. Główną trudność przy fabrykacji stanowi zaczerpnięcie ściśle określonej masy szkła: chybień spowodowuje różnice w grubości ścianek i wadze butelek. Prócz tego, przy wydymaniu kolby w formie, płynna masa szklana spływa na dół, dzięki czemu butelka posiada ścianki i dno nierówne. Przy stosowaniu maszyn należy liczyć się poza tem z nagłem oziębianiem masy szklanej przez formę metalową.

Metoda Hildego polega na zastosowaniu formy przy wyrobie kolby i na usuwaniu nadmiaru masy szklanej zapomocą nożyce. Robotnik nabiera masę z pieca zapomocą dmuchawki, podobnie jak przy fabrykacji ręcznej i przenosi ją nad formę otwartą (rys. 1). Zapomocą nożyce masa ta zostaje oddzielona od dmuchawki i wypełnia lejką formy. Formę zakrywa wówczas ściśle pokrywa (rys. 2), przez którą dochodzi powietrze ze sprężarki; szkło wypełnia pod ciśnieniem formę, przyczem odformowaną zostaje szyjka butelki.

Zapomocą odpowiedniego mechanizmu forma zostaje odwrócona szyjką na dół (rys. 3). Aby usunąć nadmiar masy płynnej, znajdującej się w lejku, zastosowane zostały nożyce, których oprawy przesuwają się po stole maszyny (rys. 3). Sama forma otwiera się przytem mechanicznie (rys. 4).

Gotowy półfabrykat — kolba — przechodzi do drugiej części maszyny, gdzie w odpowiedniej formie otrzymuje kształt ostateczny butelki.

Metodę swą Hilde zmieniał wielokrotnie w szczegółach, jak o tem świadczy cały szereg patentów. Według jednego z ostatnich, całość fabrykacji rozbita została na trzy oddzielne operacje, doko-