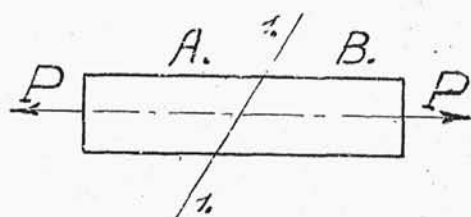


na bliższym lub dalszym terenie, co się szczególnie ujawniło pod koniec ostatniej wojny Europejskiej.

ROZDZIAŁ I.

ELEMENTARNE WIADOMOŚCI Z WYTRZYMAŁOŚCI MATERIAŁÓW

Ważny pod uwagę walec kołowy /rys.1./. Zadaćmy, że na osi jego są przyłączone dwie siły równe i odwrotnie skierowane $-P$. Gdybyśmy go traktowali z punktu widzenia statyki, to wystarczyłoby stwierdzić, że bryła ta pozostanie pod obciążeniem tych dwóch sił w równowadze, bowiem suma rzutów sił na dowolną oś i suma momentów tych sił względem dowolnego punktu /ciężar pomijamy/ są równe zeru. Interesuje nas jednak, czy będzie można używać ten walec obciążony do pewnych celów pożytecznych, czy on się nie zniekształci, nie złamie. Tu



Rys.1.



Rys.2.

już interesuje nas wewnętrzne tego pręta, mianowicie, co się dzieje wewnątrz jego pod działaniem tych sił. Aby to zbadać, zastosujemy metodę, jaką nauka wytrzymałości materiałów posługuje się na każdym kroku. Tą metodą

jest metoda przekrojów. Aby zbadać stan mechaniczny wnętrza, dzielimy pręt w wyobraźni na dwie części przekrojem - 1-1. Jeżeli cały pręt znajduje się w równowadze, to i każda z części A i B będzie w równowadze, jeżeli tylko, traktując każdą z osobna, prawidłowo zastąpimy oddziaływanie wzajemne ich, gdy były w równowadze jako całość. Z punktu widzenia mechaniki oddziaływanie to wyrazi się jako działanie sił wskazanych na rys.2 w postaci wektorów. W stosunku do całości będą to siły wewnętrzne. O kierunku ich i wartości nie mamy narazie danych. Skoro jednak np. część A ma być w równowadze, to te siły wewnętrzne muszą spowodować się zgodnie ze statyką ciał sztywnych do jednej wypadkowej R równej P i odwrotnie do niej skierowanej. Przy założeniu, że bryła jest jednorodną, nie mamy powodu przypuszczać, żeby jedne cząsteczki były obciążone więcej od innych, przyjmujemy więc, że wypadkowa R powstała jako suma sił jednostkowych, rozłożonych jednostajnie na przekroju. Gdy pole przekroju wynosi F_{cm^2} mamy

$$P = \frac{P}{F} \quad \frac{kg}{cm^2}$$

Tę siłę P , odniesioną do $1 cm^2$ pola przekroju będziemy nazywać naprężeniem, odróżniając ściśle to pojęcie od siły, która nie zależy od pola przekroju, na które

oddziaływa. Gdyby bryła nie była jednorodną i wogóle gdybyśmy nie mogli przyjmować, że siły wewnętrzne w postaci naprężeń rozmieszczają się jednostajnie na przekroju, to $p = \frac{P}{F}$ należy przyjmować tylko jako średnie naprężenie. Naprężeniem w danym, dowolnie wybranym punkcie przekroju jest $p = \frac{\Delta P}{\Delta F}$, gdzie przez ΔF rozumiemy dowolnie małe pole, otaczające dany punkt, a przez ΔP siłę przypadającą na to pole. Gdy stosunek $\frac{\Delta P}{\Delta F}$ dąży do granicy przy $\Delta F \rightarrow 0$, to naprężenie w danym punkcie jest właśnie tą granicą, więc $p = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F}$.

Każde naprężenie p może być rozłożone na normalne σ i styczne τ . Będziemy więc odróżniali naprężenie normalne, prostopadłe do przekroju i styczne, leżące w płaszczyźnie przekroju:

$$\sigma = \frac{P}{F} \cdot \sin \alpha \quad i \quad \tau = \frac{P}{F} \cdot \cos \alpha$$

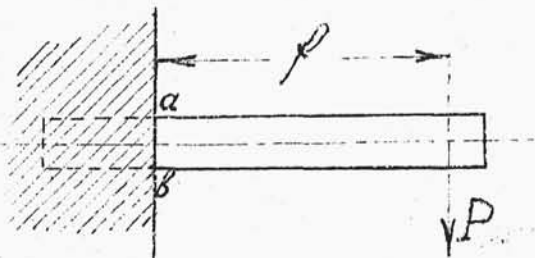
Naprężenia skierowane na zewnątrz przekroju są rozciągającymi, wewnątrz - ściskającymi. Naprężenia styczne będziemy nazywać imziej ścinającymi.

Jak widać wartość naprężenia zależy od kąta α pochylenia przekroju. Największe naprężenie p_{max} otrzymamy, gdy $\alpha = 90^\circ$, t.j. gdy kierunek przekroju jest prostopadły do kierunku siły. W tym wypadku całe naprężenie jest normalne, styczne zaś jest równe zero.

Ponieważ interesować nas będą naprężenia największe, to i przekroje wybierać będziemy normalne. W każdym razie pojęcie naprężenia jest ściśle związane z przekrojem i jego kierunkiem i dla naprężenia w danym punkcie / nie w danym punkcie przekroju / bryły możemy wyobrazić sobie cały pęk naprężeń, związanych każde z obranym kierunkiem płaszczyzny przekroju.

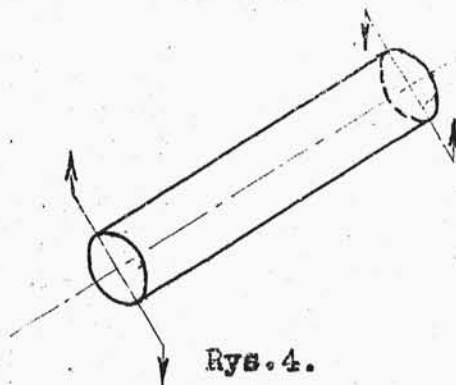
Naprężenia rozciągające i ściskające występują nie tylko przy osiowym rozciąganiu lub ściskaniu pręta, lecz również gdy na pręt działa w płaszczyźnie jego osiowej para sił, czyli moment gnący. Tak np. na rys.3.

siła P przeniesiona do przekroju $a-b$, wywołuje w nim prócz naprężeń stycznych naprężenia rozciągające powyżej osi i ściskające poniżej wskutek działania momentu $P \cdot l$.



Rys.3.

Dwa równe i odwrotnie skierowane momenty, leżące w dwóch różnych płaszczyznach prostopadłych do osi pręta /rys.4./,



Rys.4.

skręcają go, wywołując w poszczególnych jego przekrojach

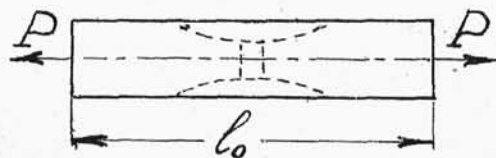
normalnych naprężenia styczne, niejednostajnie rozmieszczone.

Wracając do wypadku pręta osiowo rozciąganego, otrzymujemy największe naprężenie w przekroju normalnym:

$$\sigma = \frac{P}{F}; \text{ więc } F = \frac{P}{\sigma};$$

Dla danej siły P moglibyśmy wyznaczyć wartość pola F , przy której pręt nie ulegnie zerwaniu w danym przekroju, gdybyśmy znali tę wartość naprężenia, którą dany pręt bezpiecznie znosi. To jednak zależy od własności materiału pręta, co można poznać tylko drogą doświadczenia. Dla rozpatrzenia tych zagadnień weźmiemy pod uwagę wypadek osiowego rozciągania okrągłego pręta z miękkiej stali. Równocześnie ustalimy szereg ważnych pojęć wytrzymałościowych, które będą niezbędne dla charakterystyki materiałów konstrukcyjnych.

Jeżeli pręt z miękkiej stali obciążymy dwoma siłami równymi i odwrotnie skierowanymi /rys.5./, t.j.



Rys.5.

jeżeli poddamy go rozciąganiu, to on nie zachowuje się jak bryła sztywna, gdyż długość jego ulega zmianie. Oznaczając po-

czątkową długość pręta przez ℓ_0 , zaś po wyciągnięciu przez ℓ , otrzymany przyrost długości pręta:

$$\Delta \ell = \ell - \ell_0 ;$$

Stosunek tego przyrostu do pierwotnej długości pręta nazywamy wydłużeniem jednostkowym /przyrost 1 cm. pierwotnej długości pręta/:

$$e = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} ;$$

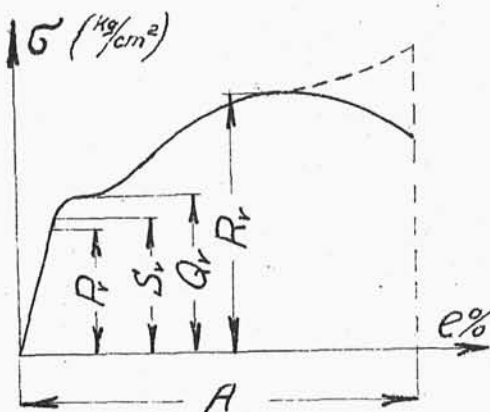
Nadając siłom rozciągającym wartości wzrastające od zera, otrzymujemy przy polu przekroju $F \text{ cm}^2$ szereg naprężeń:

$$\sigma = \frac{P}{F} ;$$

Każdej wartości siły P odpowiada naprężenie σ i wydłużenie e . Zależność między σ i e można ująć w wykres /rys.6./, który będzie charakteryzował zachowanie się materiału przy jego rozciąganiu. Takie wykresy otrzymujemy dla każdego materiału bezpośrednio przy rozciąganiu prętów na specjalnych maszynach, przeznaczonych do badań wytrzymałości materiałów. Na rys.6. jest przedstawiony taki wykres σ, e dla miękkiej stali. Do punktu P /granica proporcjonalności/ mamy linię prostą, t.zn., że do tego punktu zachodzi prosta proporcjonalność między odkształceniem /wydłużeniem/

a naprężeniem, czyli możemy napisać:

$$e = \alpha \cdot \sigma;$$



Rys.6.

Jest to analityczny wyraz tak zwanego prawa Hooke'a; współczynnik α nazywamy współczynnikiem rozciągliwości / $\frac{\text{cm}^2}{\text{kg}}$ /, zaś jego odwrotność - współczynnikiem sprężystości podłużnej /moduł Young'a/:

$$E = \frac{1}{\alpha};$$

Dla stali miękkiej moduł Younga wynosi $2,15 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$. Tak więc granicą proporcjonalności nazywamy to naprężenie, do którego zachodzi prosta proporcjonalność między naprężeniem a wydłużeniem. Drugim ważnym punktem jest punkt S , który leży czasem nieco wyżej, czasem nieco niżej punktu P . Temu punktowi odpowiada naprężenie na granicy sprężystości, t.j. takie, do którego odkształcenia znikną wraz ze zniknięciem siły odkształcającej. Powyżej tej granicy wydłużenia / odkształcenia / całkowite przy rozciąganiu składają się z wydłużeń sprężystych i trwałych / t.j. tych, które nie znikną po usunięciu siły odkształcającej/:

$$\epsilon_r = \epsilon_s + \epsilon_k ;$$

Fizyczną granicę sprężystości trudno jest dokładnie oznaczyć i dlatego przyjmujemy umówioną. Według norm polskich, jako granicę sprężystości przyjmujemy to naprężenie, przy którym wydłużenie trwałe wynosi 0,00001 pierwotnej długości / $\epsilon_k = 0,001\%$ /. Powyżej granicy sprężystości materiał zaczyna płynąć, t.j. przy małym wzroście naprężeń, wydłużenia wzrastają znacznie i w ten sposób dochodzimy do granicy plastyczności / σ_r /, to znaczy do takiego naprężenia, przy którym materiał wydłuża się bez wzrostu naprężeń / na wykresie zaznacza się to linią równoległą do osi wydłużeń /. Mając na względzie trudność wyznaczenia granicy sprężystości i jej bliskie położenie do granicy plastyczności posilkują się często w praktyce wartością granicy plastyczności, jako granicą sprężystości. Jeżeli granica plastyczności dla danego materiału niewyraźnie się zaznacza, to przyjmujemy jako taką to naprężenie, przy którym wydłużenie trwałe wynosi 0,2 %. Granicę plastyczności nazywają czasem inaczej granicą płynności, a nawet ciastowatości. Pręt, wyciągnięty poza granicę plastyczności, otrzymuje wyraźne wydłużenia trwałe i materiał staje się wtedy przeciągniętym. Po przejściu granicy plastyczności, przy dalszym wzrost-

CZĘŚCI MASZYN Nr.243.

cie naprężeń, wydłużenia wzrastają, krzywa podnosi się w górę i dochodzi do swego maximum. To największe naprężenie $\sigma = R_p$ nazywamy wytrzymałością doraźną. Kiedy zbliżamy się, przy próbie, do granicy wytrzymałości doraźnej, to powierzchnia pręta w okolicy środka matowieje / połysk ginie / i tworzy się na nim tak zwana szyjka czyli zwężenie.

Gdyby dalej naprężenia odnosić do zwężonego przekroju, to krzywa w dalszym ciągu podnosiłoby się w górę / linja kropkowana /; ponieważ jednak naprężenia obliczamy w stosunku do przekroju pierwotnego, to w chwili utworzenia się szyjki krzywa na wykresie idzie w dół i wkrótce następuje zerwanie pręta. Odcięta punktu zerwania przedstawia całkowite wydłużenie materiału, czyli przydłużenie A . Średnio dla miękkiej stali całkowite wydłużenie wynosi około 25 %. Gdy się podaje przydłużenie w %, to należy wskazać stosunek długości do średnicy tej próbki, z której przydłużenie zostało obliczone, gdyż stosunek ten ma wpływ na wartość liczbową. Zwykle stosunek ten wynosi 10 lub 5, więc A_{10} wzgl. A_5 . Jeśli przez F_0 oznaczmy pierwotny przekrój pręta, zaś przez F_1 - jego przekrój w miejscu zerwania, to stosunek, wyrażony w procentach:

$$\frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100 = C \%$$

nazywamy przewężeniem. Niektóre gatunki stali mają przewężenie bardzo małe, prawie równe zero, jak np. pewien rodzaj stali manganowej, który do chwili zerwania nie tworzy szyjki t.j. wydłuża się na całej długości. Wartość danego materiału cechuje nie tylko jego duża wytrzymałość doraźna ale i duża wydłużalność; dlatego też oblicza się z wykresu tak zwaną pracę właściwą odkształcenia do naprężenia wytrzymałości doraźnej, czyli w odpowiedniej skali zakreskowane pole wykresu

σ_e / rys.7./.

Ponieważ przyrost objętości pręta odniesiony do 1 cm³ objętości jest:

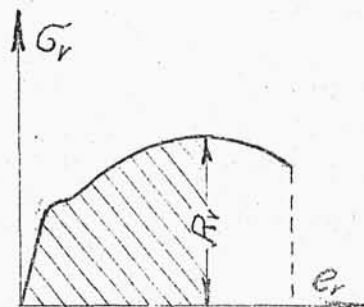
$$\frac{F_0 \cdot \Delta l}{F_0 \cdot l_0} = \frac{\Delta l}{l_0};$$

zatem praca odkształcenia 1 cm³ danego pręta będzie:

$$A_w = \frac{\sigma \cdot \Delta l}{l_0}; \quad \left(\frac{\text{kgm}}{\text{cm}^3} \right)$$

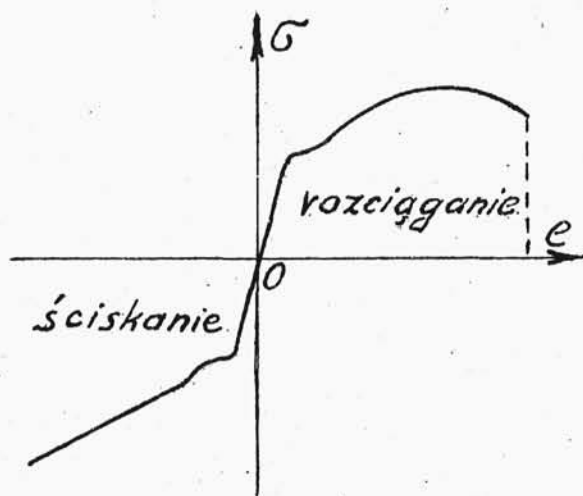
a to przedstawia w odpowiedniej skali zakreskowane pole wykresu. Wyrażamy ją w kgmetrach na cm. sześcienny.

Przy ścisłaniu miękkiej stali otrzymujemy do granicy plas-



Rys.7.

tyczności wykres symetryczny względem punktu O . Dalej następuje stopniowe spłaszczenie próbki /rys.8./. Mamy tu również granicę sprężystości i plastyczności, których



Rys.8.

wartości będą te same.

Na ściskanie badamy zwykle sześciąt, gdyż długi pręt ulegałby wyboczeniu. Po przekroczeniu granicy plastyczności kostka ulega powolnemu stopniowemu spłaszczeniu. Wobec tego nie ma wytrzymałości do-
raźnej i jako cechę wy-

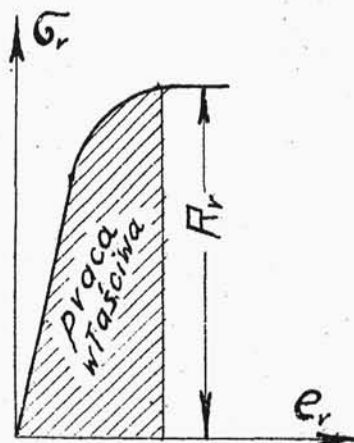
trzymałościową przyjmujemy granicę plastyczności.

Dla stali, tak zwanych węglowych / patrz niżej/, granica plastyczności wynosi:

$$Q_r = (0,55 \div 0,6) \cdot R_r ;$$

Wykres / σ, e / miękkiej stali przedstawia zachowanie się przy rozciąganiu metali tak zwanych plastycznych. Inaczej przedstawia się ten wykres dla materiałów kruchych, których przedstawicielem jest żeliwo. Wykres dla żeliwa przedstawiony jest na rys.9. Moduł Younga

nie jest tu stały i wykazuje zmniejszenie się w miarę wzrostu naprężeń. Średnio przyjmujemy jego wartość około 10^6 kg/cm^2 . Zerwanie pręta żeliwnego następuje bez uprzedniego utworzenia się szyjki; wydłużalność jego jest bardzo mała. Całkowite przydłużenie żeliwa wynosi zaledwie $0,2 \div 0,8 \% / A /$.

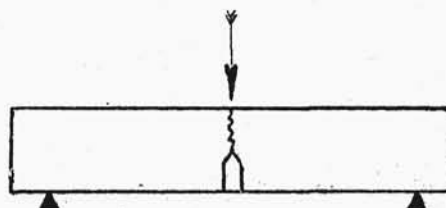


Rys.9.

Praca właściwa, która dla stali miękkiej wynosi $6 \div 8$ jednostek $/ \frac{\text{kgm}}{\text{cm}^3} /$, dla żeliwa stanowi około $0,1 \frac{\text{kgm}}{\text{cm}^3}$.

U d a r n o ś ć. Próby na rozciąganie, ściskanie i t.p. wskazują na zachowanie się materiałów przy działaniu sił statycznych. Dla poznania własności materiałów przy obciążeniu dynamicznym /uderzenia/ służy próba tak zwana kafarowa. Próba kafarowa

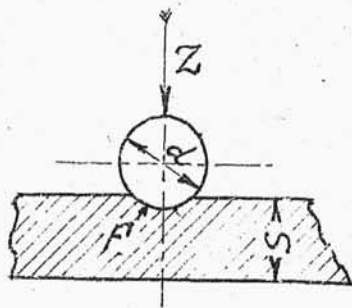
/rys.10./ polega na tem, że na belkę określonego profilu, podpartą na określonej również rozpiętości, zrzuca się ciężar w miejscu nakarbowanem. Pracą uderzenia,



Rys.10.

potrzebną do złamania próbki, odniesioną do 1 cm^2 pola nakerbowanego przekroju, wyrażamy tak zwaną udarność / $U - \text{kgmetr}/\text{cm}^2$ /. Przez zestawienie udarności dwóch materiałów porównujemy ich odporność na obciążenia dynamiczne. Udarność danego materiału jest miarą jego ciągliwości. Kruchosć jest przeciwstawieniem ciągliwości i plastyczności.

T w a r d o ś ć. W budownictwie maszynowym twardość odgrywa dużą rolę, gdyż między innymi decyduje o stopniu ścierania się elementu z danego materiału. Najwięcej rozpowszechnioną próbą twardości jest próba na aparacie Brinell'a, polegająca na wciśnięciu w badany materiał twardej kulki / rys.11./, oznaczonej średnicą z oznaczoną siłą / Z /; w materiale powstaje wgłębienie



Rys.11.

kuliste / ośrodek /, którego powierzchnię możemy zmierzyć. Jeżeli powierzchnię ośrodku w mm^2 oznaczymy przez F , zaś siłę w kg . przez Z , to twardość wyrażona w jednostkach Brinella będzie:

$$H_B = \frac{Z}{F} \quad \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Oczywiste jest, że do badania twardości różnych porównywanych materiałów musimy używać kulki o ściśle określonej średnicy i stałej sile Z . Do badań twardości żeliwa i stali zależnie od grubości próbki stosujemy trzy rodzaje średnic kulek i wielkości sił, według poniższej tablicy.

Grubość próbki w mm.	Średnica kulki d w mm.	Siła przyciskająca w kg.
do 3 mm.	2,5	187,5
od 3 do 6	5	750
ponad 6	10	3000

Tabl. I.

Dla stali węglowych między twardością Brinella a wytrzymałością doraźną istnieje prosta zależność:

$$H_B \cdot 0,36 = R_v \quad \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

która pozwala zastąpić badanie wytrzymałości doraźnej przez mniej kłopotliwą próbę twardości. Twardość danego materiału decyduje też w pewnym stopniu o jego obrabialności, gdyż wpływa na wybór narzędzia i maszyny do obróbki. Aczkolwiek ustalenie stopnia obrabialności wymaga specjalnych prób, to jednak przy $H_B = 200 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$ można się spodziewać utrudnionej obróbki, wy-

magającej bądź specjalnych noży przy skrawaniu lub szlifowania.

R O Z D Z I A Ł II.

WAŻNIEJSZE MATERIAŁY KONSTRUKCYJNE I ICH WŁASNOŚCI

Szczegółowe poznanie pochodzenia i własności materiałów, stosowanych przy budowie części maszyn, należy do innych gałęzi nauk technicznych. Tutaj poprzestaniemy na omówieniu głównych materiałów, aby je sobie uprzytomnić i podkreślić ich zalety budowlane.

§ 1. Ż e l i w o

Ż e l i w o./Ciężar gatunkowy - $7,25 \text{ gr/cm}^3$ /. Produkt wielkiego pieca, otrzymywany z rudy żelaznej i następnie przeważnie przetapiany powtórnie w żeliwaku w mniejszych ilościach w celu otrzymania materiału więcej jednolitego. Materiał tani i plastyczny w sensie dobrego wypełnienia form odlewniczych, stąd na odlewy chętnie stosowany.

Skład chemiczny żeliwa, jego klasyfikację i własności wytrzymałościowe ilustruje poniższa tablica. Węgiel w surowce żelaza może znajdować się w postaci wolnego grafitu albo też w postaci związku chemicznego.