

się w D' — nieco mniejszą średnicę współśrodkowego odkształconego przekroju kołowego, a przeto:

$$e_y = e_x = -\frac{e_x}{m} = -\frac{l' - l}{ml} = \frac{D - D'}{D}$$

stąd bezpośrednio:

$$m = \frac{l - l'}{D - D'} \cdot \frac{D}{l}$$

dla próbki o przekroju kołowym.

W obszarze proporcjonalności i sprężystości tworzywa m ma wartość stałą. Odwrotność jej nosi miano *liczby Poisson'a*. Dla ciał jednorodnych, równokierunkowo sprężystych liczba ta waha się w dość szerokich granicach:

LICZBA POISSON'A

szkło:	0,25	nikiel:	0,33	glin:	0,37
cynk:	0,27	mosiądz:	0,34	olów:	0,43
żelazo:	0,28	miedź:	0,35	kauczuk:	0,47
stal:	0,29	bronz:	0,36	parafina:	0,49

Wyżej podany wzór dla rozszerzalności e_0 wskazuje, iż przy:

$$m = 2$$

rozciąganie próbki zachodzi przy niezmienniej objętości jej części pomiarowej, środkowej.

C. Część trzecia.

1. **Maszyny probiercze.** Próby wytrzymałościowe służą do określania cech wytrzymałościowych tworzywa. Maszyna, przeznaczona do prób wytrzymałościowych, zwie się probierzczą. Jako ustrój mechaniczny, ma ona, prócz nieruchomego szkieletu:

a. części uchwytowe, ujmujące próbkę, lub stanowiące jej podłoże,

b. części odkształcające, działające na próbkę bezpośrednio, lub zapomocą uchwytów, wreszcie:

c. części pomiarowe, czyli ogniwa mechanizmu, mierzącego siłę, lub energję odkształcającą, a nadto — kreślącego wykres.

Mogą być jeszcze od maszyny probierczej niezależne części *dotatkowe*, powiększające, lub uzupełniające zakres jej pracy.

Budowa uchwytów zależy od rodzaju obciążenia odkształcającego i od kształtu samej próbki. Przy rozciąganiu — szczytki uchwytowe ujmują oba końce próbki osiowo; przy ściskaniu — płyty uchwytowe równoległe — cisną na płaskie jej ścianki czołowe. Działanie sił odkształcających przy rozciąganiu i ściskaniu winno być ściśle osiowe; ich wzrost — nader powolny i ciągły, bez przerw i nagłych skoków.

2. Stosunek $L:D$. Próby na rozciąganie dają te same wyniki przy zachowaniu stałego stosunku:

$$n = \frac{L}{D}$$

długości pomiarowej L do średnicy D próbki o stałym przekroju kołowym. W Anglii w 1912 roku stosunek n obrano odpowiednio

$$3,55 \quad 3,77 \quad 3,58$$

dla wzorcowych próbek długości pomiarowej $L = 2, 3$ i $3\frac{1}{2}$ cala.

We Francji w 1920 r. wzięto $n=7,25$ dla wzorcowych długości $L=100$ i 70 mm oraz — dowolnych L niewzorcowych. Japonja w 1922 r. ustaliła równoległe $n=4$ i 8 bez ograniczeń co do L i D . W Niemczech w 1924 r. obrano równoległe $n=5$ i 10 przy odpowiednich długościach wzorcowych: $L=100$ i 200 mm — oraz dowolnych niewzorcowych. We Włoszech w 1924 r. wzięto równoległe $n=4$ i 8 przy wzorcowych długościach $L=200$ i 150 mm dla $n=8$ oraz $L=100, 80$ i 60 mm dla $n=4$. Wreszcie w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej w 1924 r. ustalono $n=4$ dla wzorcowej próbki półcalowej średnicy.

W Polsce należałoby zachować *czasowo* dawny międzynarodowy stosunek $n=10$ dla wzorcowych średnic:

$$D = 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25 \dots \text{mm}$$

a nadto — ustalić równoległe $n=4$ dla wzorcowych średnic:

$$D = 5, 10, 15, 20, 25 \dots \text{mm}$$

w celu stopniowego przejścia do próbek krótkich, mniej kosztownych i bardziej wygodnych w użyciu.

nacięciu — pod naciskiem łapek E , ściągniętych sprężyną. Próbka P pionowo tkwi w uchwytach maszyny probierczej — pod obciążeniem, zazwyczaj niezbyt znacznym, sił osiowych O_{x0} , rozciągających. To obciążenie początkowe jest bezwzględnie konieczne: drobny ruch próbki odciążonej w uchwytach — rozstraja ustawienie przyrządu.

Przy obciążeniu początkowym, ostre krawędzie obu nożów winny leżeć w jednej płaszczyźnie poziomej (jak po lewej stronie rysunku), w odległości l od górnego nacięcia O próbki. Inaczej mówiąc, wewnętrzne ostrza nożów N i górne ostrza szczęk S winny odcinać na próbce — pierwotną pomiarową długość l — równą pionowej odległości dolnego nacięcia szczęki od jej górnego ostrza.

W tem położeniu pierwotnem — lusterka można nastawić pionowo — po obu stronach próbki. Opodał, w odległości L od środków lusterek — należy ustawić pionowo dwie skale H i poziomo — dwie lunety N tak, aby przez prawą lub lewą lunetę widać było podziałkę A prawej, lub podziałkę A' — lewej skali, odbitą odpowiednio w prawem lub lewem lusterku.

Po stopniowem powiększeniu obciążenia osiowego do O_x , pierwotna pomiarowa długość l wzrośnie do l' (jak po prawej stronie rysunku). Wewnętrzne krawędzie obu nożów obniżą się o $l' - l$ względem zewnętrznych, spoczywających w łożyskach szczęk, — inaczej mówiąc, noże obróca się w owych łożyskach o kąt α , przyczem niewątpliwie:

$$l' - l = a \sin \alpha$$

gdzie a oznacza odległość ostrych krawędzi noża.

O ten sam kąt α obróca się również i lusterka: w prawej lunecie ukaże się podziałka B — w lewej — B' na skrzyżowaniu nitek. Zatem, jak widać z rysunku:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{h}{L}$$

gdzie h oznacza średnią różnicę odczytów:

$$\frac{1}{2}(B + B' - A - A')$$

Przy odchyleniach niewielkich, w obszarze odpowiednio krótkiej skali H , wydłużenie, przynależne pierwotnej pomiarowej długości l :

$$e_l = \frac{a}{2L} \cdot \frac{h}{l}$$

Zazwyczaj:

$$\frac{a}{2L} = \frac{1}{500}$$

a przeto, przy dokładności odczytywania skali do 0,1 mm, ekstensometr Martens'a daje pomiar $l' - l$ z dokładnością do 0,0002 mm.

4. **Pomiar E.** Średnicę pomiarowej części próbki *stalowej* zmierzono w pięciu miejscach mikrometrem. Średnia z tych pięciu pomiarów:

$$D = 9,97 \text{ mm}$$

daje według zwykłych tablic, przekrój poprzeczny:

$$F = 0,781 \text{ cm}^2$$

Szczęki użytego ekstensometru mogły dać:

$$l = 50, 100, 150 \text{ i } 200 \text{ mm}$$

wybrano długość pomiarową najmniejszą; ze względu na szczupłość miejsca pomiędzy uchwytami maszyny probierczej. Wzajemnie, ustawiono obie skale w odległości

$$L = 1832 \text{ mm}$$

dwukrotnie większej od przepisowej, odpowiadającej stałej nożów:

$$a = 3,664 \text{ mm}$$

użytego ekstensometru.

Stąd — wydłużenie, przynależne różnicy odczytów h mm, średniej dla obu lunet:

$$e = \frac{h}{50000}$$

Początkowe obciążenie:

$$O_{xo} = 1000 \text{ kg} \quad N_{xo} = 1280 \text{ kg/cm}^2$$

obrano dość znaczne, ze względu na stateczność ekstensometru. Zazwyczaj N_{xo} waha się w granicach od 300 do 700 kg/cm^2 .

Na zestawieniu wyników próby oznaczono przez:

O_{x_0} kg — początkowe osiowe obciążenie próbki

O_x kg — stopniowo rosnące obciążenia osiowe, różniące się o wielokrotną 500 kg

h_0 mm — średnią odczytów obu lunet, przynależną obciążeniu O_{x_0} .

h mm — średnią odczytów obu lunet, przynależną obciążeniu O_x

h_s mm — część sprężystą różnicy $h - h_0$

h_n mm — niesprężyste przyrosty kolejnych h_0 — względem początkowego.

O_{x_0}	O_x	h_0	h	h_n	h_s
1000		35,25		0,00	
.	1500		50,30		15,05
1000		35,25		0,00	
.	2000		65,50		30,25
1000		35,25		0,00	
.	2300		80,50		44,75
1000		35,75		0,50	
.	3000		96,00		60,00
1000		36,00		0,75	
.	3500		111,25		75,00
1000		36,25		1,00	
.	4000		127,00		90,50
1000		36,50		1,25	

Dzieląc odpowiednio przez 1, 2, 3, 4, 5, 6 kolejne liczby ostatniej kolumny otrzymamy szereg przyrostów

15,05 15,125 14,917 15,0 15,0 15,083

przynależnych różnicy obciążenia 500 kg. Ich uskoki od średniej:

15,029 mm

nie przekraczają 0,74 %. Zatem różnicy obciążeń o 500 kg lub naprężeń o 640 kg/cm^2 — odpowiada wydłużenie jednostkowe sprężyste średnie:

$$e_s = \frac{15,029}{50000} \simeq 0,0003$$

Stąd współczynnik sprężystości podłużnej:

$$E = \frac{640 \times 50000}{15,029} \simeq 2130000 \text{ kg/cm}^2$$

Wydłużeniu jednostkowemu niesprężystemu 0,00001 odpowiada tutaj przyrost:

$$h_n = 0,50 \text{ mm}$$

pojawiający się po obciążeniu do 2500 kg (lub do $2500 : F \text{ kg/cm}^2$) i odciążeniu do 1000 kg. Zatem naprężenie

$$S_r = 3200 \text{ kg/cm}^2$$

stanowi *granice sprężystości* tworzywa przy rozciąganiu. Te same wyniki dałaby każda inna długość pomiarowa pierwotna l przy tej samej średnicy D próbki, a przeto cechy wytrzymałościowe tworzywa: E i S_r są niezależne od stosunku $l:D$.

5. **Sprężystość przy ściskaniu.** Próbkę, używaną do próby tworzywa na ściskanie stanowi zazwyczaj słupek o stałym kołowym przekroju średnicy D . Stosunek n jego długości L do średnicy D , przeważnie nie przekracza *sześciu*, ze względu na możliwość wygięcia, zwanego *wyboczeniem* próbki.

Równoległe płyty uchwytywne maszyny probierczej osiowo cisną na czołowe płaskie ścianki próbki. Ostrza ekstensometru Martens'a i tu odcinają pierwotną pomiarową długość próbki $l < L$, przynależną początkowemu obciążeniu osiowemu O_{x_0} , cisnącemu. Jest ono niewątpliwie konieczne: drobny ruch próbki odciążonej rozstraja ustawienie ekstensometrów.

Stopniowy wzrost sił osiowych O_x z każdorazowym odciążeniem do tego samego początkowego obciążenia O_{x_0} daje szereg odczytów h i h_0 , tak, jak dla próbki rozciąganej. Stąd — wydłużenia ujemne sprężyste i niesprężyste oraz — *spółczynnik sprężystości podłużnej* tworzywa E_c i *granica sprężystości* S_c przy ściskaniu. Obie te cechy wytrzymałościowe są niezależne od stosunku $l:D$.

Granice sprężystości S_r i S_c oraz współczynniki sprężystości podłużnej E i E_c są różne w ogólnym przypadku.

6. **Sprężystość równokierunkowa.** Ze wzorów (53), (55) wynika, że dla tworzywa równokierunkowo-sprężystego:

a. układ odkształceń (I. B. 2)

$$e_x = e_y = e_z = \frac{1}{3} e_0 \quad g_x = g_y = g_z = 0$$

przynależny równomiernej rozszerzalności, odpowiada układowi normalnych naprężeń (II. B. 1):

$$N_x = N_y = N_z = \frac{1}{3} N_0 \quad T_x = T_y = T_z = 0$$

i naodwrot, przyczem:

$$N_0 = \frac{mE}{m-2} e_0 \quad N_x = N_y = N_z = \frac{mE}{m-2} e_x$$

b. odkształcenie podłużne (II. C. 1):

$$e_y = e_z = -\frac{e_x}{m} \quad g_x = g_y = g_z = 0$$

odpowiada układowi naprężeń osiowych (II. C. 4):

$$N_y = N_z = T_x = T_y = T_z = 0$$

i naodwrot, przyczem:

$$N_x = E e_x$$

c. odkształcenie katowe (II. C. 2):

$$e_x = e_y = e_z = g_x = g_y = 0$$

odpowiada układowi naprężeń stycznych (II. C. 5):

$$N_x = N_y = N_z = T_x = T_y = 0$$

i naodwrot, przyczem:

$$T_z = G g_z$$

d. płaski układ odkształceń (I. B. 3), (II. C. 3):

$$e_x = g_x = g_y = 0$$

odpowiada układowi naprężeń:

$$N_x + N_y = m N_z \quad T_x = T_y = 0$$

i naodwrot.

e. płaski układ naprężeń (II. B. 2), (II. C. 6):

$$N_z = T_x = T_y = 0$$

odpowiada układowi odkształceń:

$$e_x + e_y + (m-1)e_z = 0 \quad g_x = g_y = 0$$

i naodwrot.

f. układ de Saint-Venant'a (II. C. 7):

$$T_x = N_y = N_z = 0$$

odpowiada układowi odkształceń:

$$e_y = e_z = -\frac{e_x}{m} \quad g_x = 0$$

i naodwrot, przyczem:

$$e_x = \frac{N_x}{E} \quad g_y = \frac{T_y}{G} \quad g_z = \frac{T_z}{G}$$

7. Rozszerzalność cieplna. Tworzywo równokierunkowo-sprężyste jest zarazem i cieplnie jednorodne, a przeto jednostajne nagrzanie do temperatury t ponad pierwotną temperaturę t_0 tworzywa da wydłużenie jednostkowe:

$$e_c = (t - t_0)[\alpha + \dots]$$

niezależne od kierunku. Zatem w bieżącym punkcie, po obciążeniu i jednostajnym ogrzaniu tworzywa, wydłużenia główne będą odpowiednio równe:

$$e_1 + e_c \quad e_2 + e_c \quad e_3 + e_c$$

W szczególnym przypadku te trzy wydłużenia główne mogą być równe zeru: w sąsiedztwie punktu bieżącego ciało zachowa swój stan pierwotny — układ sił zewnętrznych zniweczy działanie odkształcające nagrzania. W tym przypadku:

$$e_1 = e_2 = e_3 = -e_c = -\frac{1}{3}e_c$$

Tym składowym odkształcenia odpowiada układ naprężeń głównych:

$$N_1 = N_2 = N_3 = \frac{1}{3}N_0$$

przyczem zgodnie z punktem poprzednim:

$$N_0 = \frac{mE}{m-2} e_0$$

Zkolei dwa wydłużenia główne:

$$e_1 + e_c \quad e_2 + e_c$$

mogą być równe zeru przy odpowiednio dobranem obciążeniu płaskiem. Zatem składowym odkształceń:

$$e_1 = e_2 = -e_c$$

odpowiadać będzie układ naprężeń głównych:

$$N_1 = N_2 = -\frac{mE}{m-1} e_c \quad N_3 = 0$$

przyczem:

$$e_3 + e_c = \frac{m+1}{m-1} e_c$$

W ogólnym przypadku składowym odkształceń:

$$e_1 = e_2 = -e_c$$

odpowiada układ naprężeń głównych:

$$N_1 = N_2 = \frac{N_3}{m-1} - \frac{mE}{m-1} e_c$$

przyczem:

$$e_3 + e_c = \frac{m+1}{m-1} \left(\frac{m-2}{mE} N_3 + e_c \right)$$

Może być wreszcie tylko jedno wydłużenie główne:

$$e_1 + e_c = 0$$

przy odpowiednio dobranym osiowym układzie naprężeń głównych:

$$N_1 = -Ee_c \quad N_2 = N_3 = 0$$

przyczem:

$$e_2 + e_c = e_3 + e_c = \frac{m+1}{m} e_c$$

W ogólnym przypadku, składowej odkształceń:

$$e_1 = -e_c$$

odpowiada układ naprężeń głównych, czyniący zadość warunkowi:

$$N_2 + N_3 = m(N_1 + Ee_c)$$
