JERZY NOWIŃSKI

PEWNA SERIA DOŚWIADCZEŃ NAD EFEKTEM SKALI PRZY ROZRYWANIU DRUTÓW STALOWYCH

ROZPRAWY
INŻYNIERSKIE
LIX

Efekt skali, czyli wpływ bezwzględnych wymiarów elementów konstrukcyjnych na ich wytrzymałość, podobnie jak rozrzut samej wytrzymałości, posiadają, jak wiadomo, wspólne tło przypisywane naturalnej niejednorodności materiałów [1]). Niejednorodność ta — według rozpowszechnionych od dawna i coraz bardziej utwierdzających się poglądów — ma pochodzić z nieuniknionych wad materiałów technicznych (czyli rzeczywistych, w przeciwstawieniu do materiałów «idealnych»), same zaś wady — których istota nie jest jeszcze ostatecznie zbadana — stanowić mają miejsca osłabienia materiału rozsiane w całej jego objętości. Jeżeli przyjąć, że rozkład miejsc osłabienia jest ściśle ustalony dla określonego materiału, a więc nie zależy od objętości materiału, jaką poddajemy obserwacji, oraz że im wada jest bardziej niebezpieczna, tym spotyka się ją rzadziej — to wraz ze wzrostem objętości wzrasta prawdopodobieństwo napotkania wad bardziej niebezpiecznych, co z kolei pociąga za sobą spadek wytrzymałości badanych elementów (pojęcie «wytrzymałości łańcucha jako wytrzymałości najsłabszego ogniwa»).

Wyjaśnienie tych zjawisk o charakterze statystycznym — przedsięwzięte na gruncie rachunku prawdopodobieństwa przez W. Weibulla w 1939 r. i następnie przez J. I. Frenkla i T. A. Kontorową w 1941 r., [1], w pierwszym rzędzie dla materiałów tzw. kruchych, dla których odgrywają one największą rolę, [2] - [6], — posiada dość duże znaczenie pod wieloma względami [2]). Chodzi tutaj na przykład o takie zagadnienia, jak wyjaśnienie związków zachodzących pomiędzy kohezją techniczną i idealną, jak określenie naprężeń dopuszczalnych w zależności od wymiarów elementów i stopnia jednorodności materiałów, ustalenie wymiarów próbek normalnych określających wytrzymałość materiałów możliwie najmniej zależną od jego przypadkowych wad wewnętrz-

---

[1]) Notatka niniejsza — napisana przed ukazaniem się artykułu T. Nawrota i A. Jaseckiego o *Zależności wytrzymałości prętów zbrojeniowych od ich średnic* w zesz. 1 (1956) Inż. i Bud. — rzuca pewne dodatkowe światło na interesujące zagadnienie poruszone w tym artykule.

[2]) Jak wiadomo, rachunek prawdopodobieństwa w zastosowaniu do zagadnień wytrzymałościowych znalazł również zastosowanie w pionierskich pracach W. Wierzbickiego nad obiektywnym współczynnikiem bezpieczeństwa konstrukcji.

nych itp. Wszystkie te zagadnienia, w szczególności zaś ostatnie z nich, poruszone niedawno przez A. Krupkowskiego i współpracowników w pracach [7] i [8], wymagają dalszych badań, które uzupełniłyby stosunkowo niezbyt jeszcze bogaty i dość świeży materiał doświadczalny, a w konsekwencji doprowadziły do pełniejszego wyświetlenia wielu istniejących niejasności. Drobny przyczynek w tym kierunku ma stanowić również niniejsza notatka, oparta na doświadczeniach przeprowadzonych pod kierunkiem autora w Instytucie Techniki Budowlanej w 1952 r.[3]). Doświadczenia te dotyczyły drutu stalowego okrągłego o średnicy 4,50 mm (największe stwierdzone odchylenia od tej wielkości wyniosły −0,02 i +0,01 mm). Drut ten pochodził z jednego zwoju i podzielony został na próbki (kawałki, bez jakiejkolwiek obróbki) o długości odpowiednio równej 5 cm i 50 cm. Kawałki te podlegały rozerwaniu na maszynie wytrzymałościowej 20 t, przy czym za długość pomiarową uważano odległość w świetle między szczękami. Typowy wykres otrzymany podczas próby na rozciąganie próbek 5 cm przedstawia rys. 1. Przeciętne trwałe wydłużenie całej długości pomiarowej, mierzone na próbce zerwanej 5 cm, wynosiło 4,2 mm czyli 8,4% (przeciętna z 40 próbek). Wynika stąd, że badana stal należała do średnio ciągliwych. Każda z dwóch grup próbek, A i B (grupy te obejmują próbki o jednej długości odpowiednio 5 cm i 50 cm), podzielona została na cztery serie (I-IV) liczące po 27 próbek, tak że ogółem każda grupa próbek liczyła 108 sztuk, a wszystkich prób wykonano 216.

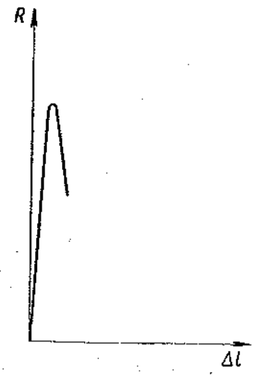
Średnice próbek mierzono w 3 miejscach, w każdym miejscu w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach. Wobec bardzo niewielkich odchyleń pól przekrojów i małego wpływu tych odchyleń na wytrzymałość doraźną do konstruowania krzywych rozrzutu brano pod uwagę siłę rozrywającą (a nie naprężenie). Tę siłę nazywamy dalej dla krótkości «wytrzymałością» próbki.

W związku z rozważaniami A. Krupkowskiego i współpracowników w [7] nad położeniem miejsc pękania próbek wypada zauważyć, że np. w próbkach grupy A (5 cm) nieco więcej niż 1/4 ich uległa zerwaniu wewnątrz szczęk (średnia z prób I i II serii, przy czym cyfra ta wynosi 26% dla serii AI i około 30% dla serii AII). Trudno zjawisko to przypisać powierzchniowym uszkodzeniom próbek przez uchwyty szczęk, gdyż uszkodzenia takie nie wywierały obserwowalnego wpływu na wytrzymałość próbek, która nie spadała w sposób widoczny poniżej wytrzymałości próbek pękających «normalnie» (np. w seriach AI i AII średnia arytmetyczna wytrzymałości wszystkich próbek wynosiła odpowiednio

[3]) Autor dziękuje Kierownictwu tego Instytutu, w szczególności prof. B. Mayzlowi, za zezwolenie na wykonanie doświadczeń, w których dużą pomoc okazał pracownik I. T. B., S. Mzyk.

909,6 kG i 910,9 kG, a średnia wytrzymałości próbek pękających «nienormalnie» 919 kG i 918,1 kG).

Należy zauważyć, że serie AII i AIV były pobrane z partii drutu mocno na powierzchni zardzewiałego; oczyszczenie z rdzy przed próbą było stosunkowo mało staranne i następowało przez wycieranie powierzchni drutu ścierką. Podobnie silnie zardzewiała była powierzchnia próbek serii BI, BII i $BIII$.



Rys. 1

Widocznego wpływu na wytrzymałość korozja powierzchni drutu nie wywoływała, jak zdaje się wynikać z tablicy 1.

Wypływa stąd wniosek, że stan powierzchni nie wywierał widocznego wpływu na wytrzymałość próbek, wobec czego zaobserwowane efekty należałoby przypisać raczej własnościom strukturalnym materiału.

Opracowanie statystyczne materiału doświadczalnego nastąpiło w ten sposób, że rozkład wytrzymałości R uznano — zgodnie z poglądem większości autorów — za rozkład normalny:

$$(1)\qquad p(R)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\,\sigma}e^{-\frac{(R-R_0)^2}{2\sigma^2}}.$$

We wzorze tym, jak wiadomo, $p(R)$ oznacza prawdopodobieństwo, że próbka posiada wytrzymałość R, zaś σ jest wielkością standartu, którą można przyjąć za równą pierwiastkowi kwadratowemu ze skorygowanego średniego kwadratu odchylenia S^2:

Tablica 1

Seria	Korozja powierzchni próbek	Średnia arytmetyczna wytrzymałości R_0 kG	Standart σ kG
AI	Niewielka	909,6	18,537
AII	Duża	910,9	17,265
$AIII$	Niewielka	905,4	19,250
AIV	Duża	896,6	19,031
BI	Duża	876,9	16,705
BII	Duża	882,0	19,924
$BIII$	Duża	872,4	17,441
BIV	Niewielka	881,6	15,879

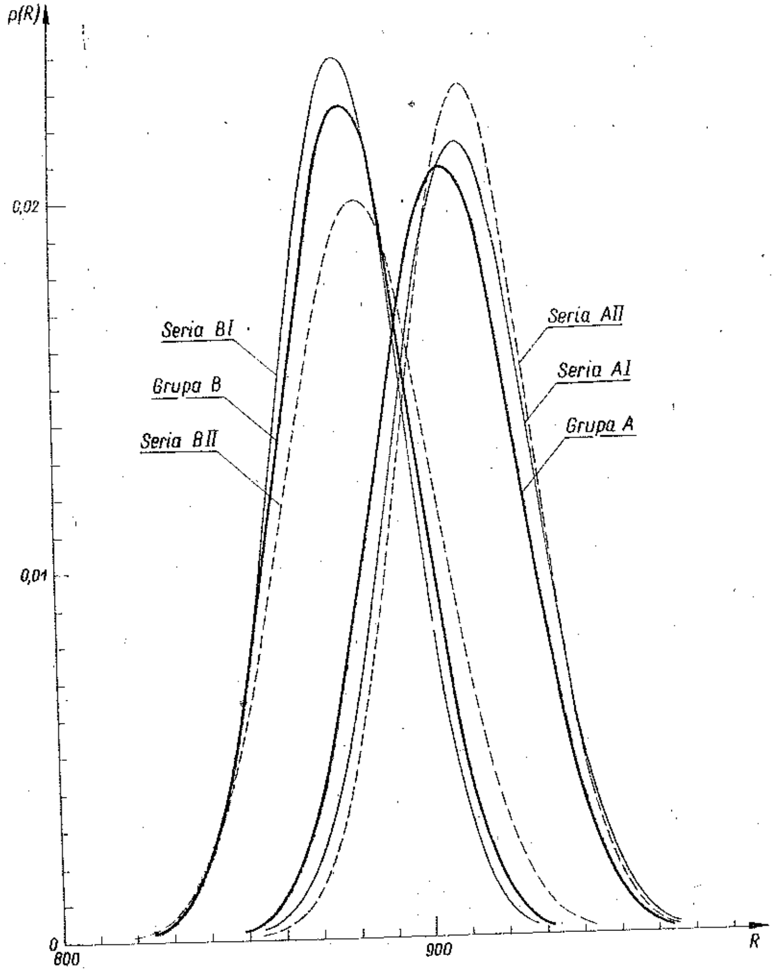
$$(2)\qquad \sigma\approx S=\sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(R_i-R_0)^2}{n-1}}.$$

Naturalnie

$$(3)\qquad R_0=\frac{\sum_{1}^{n}R_i}{n}.$$

Tablica 2		
Grupa	R_0 kG	σ kG
A	905,6	19,113
B	878,2	17,657

Dla ośmiu badanych serii otrzymano wielkości standartów podane w ostatniej kolumnie tablicy 1. Z danych tych wynikałoby, że korozja powierzchni próbek nie wywiera wpływu na wielkość standartu, natomiast serie próbek dłuższych powiązane są po części z najniższymi wartościami standartów (por. również tablicę 2).



Rys. 2

O ile chodzi o dane zbiorcze dla wszystkich próbek każdej z dwu grup (liczących po 108 prób), to uwidocznia je tablica 2.

Krzywe rozkładu obliczono oddzielnie dla całej grupy A oraz oddzielnie dla serii AI i AII i tak samo dla całej grupy B i dla serii BI i BII.

Przedstawia je rys. 2, z którego (podobnie jak z tabl. 1) wynika, że wszystkie krzywe serii A przesunięte są w prawo względem wszystkich krzywych serii B, gdyż największa wartość R_0 wszystkich czterech serii grupy B jest mniejsza od najmniejszej wartości R_0 wszystkich serii grupy A. Jak się zdaje, wynik ten świadczy o istnieniu efektu skali również w materiałach nie kruchych, jakkolwiek praktyczne znaczenie tego efektu jest tutaj znacznie mniejsze. Wydaje się również, że efekt skali podobnie jak sam rozrzut wytrzymałości posiada istotnie swe źródło w wadach materiału, których rozkład jest rozkładem typu probabilistycznego.

Literatura cytowana w tekście

[1] T. A. Kontorowa i J. I. Frenkiel, Żurnał Tiechn. Fiz. 3 (1941).

[2] J. I. Frenkiel, *Wwiedienje w tieorju mietallow*, Moskwa-Leningrad 1950.

[3] N. A. Szaposznikow, *Miechaniczeskije ispytanja mietallow*, Moskwa-Leningrad 1951.

[4] J. M. Potak, *Chrupkije razruszenja stali i stalnych dietalej*, Moskwa 1955.

[5] A. Nádai, *Theory of Flow and Fracture of Solids*, New York-Toronto-Londyn 1950.

[6] A. M. Freudenthal, *Inelastic Behaviour of Engineering Materials and Structures*, New York 1950.

[7] A. Krupkowski, Z. Lech i J. Woźniacki, *Zagadnienie normalizacji próbek odlewanych pod ciśnieniem w świetle danych statystycznych*, Normalizacja 11 (1955).

[8] A. Krupkowski, Z. Lech i J. Woźniacki, *Zagadnienie normalizacji próbek odlewanych pod ciśnieniem w świetle danych statystycznych*, Arch. Górn. Hutn. 3 (1955).

Резюме

НЕКОТОРАЯ СЕРИЯ ОПЫТОВ ПО МАСШТАБНОМУ ФАКТОРУ ПРИ РАЗРЫВЕ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ

Масштабный фактор, т.е. влияние абсолютных размеров элементов конструкции на их сопротивление, так как и разброс самой прочности имеют, как известно, общую базу, приписываемую естественной неоднородности материалов. Выяснение этого явления, пробабилистического характера для хрупких материалов дано В. Вейбуллем, а также И. Френкелем и А. Конторовой. Одной из работ, касающейся этого вопроса, является и настоящая статья, основанная на опытах автора с средне-тягучей проволокой, способной к умеренным удлинениям. Куски этой проволоки (необработанные), длиной соответственно 5 см и 50 см, подвергались разрыву. По кривым частот прочности, принятым как кривые Гаусса, следует (рис. 2), что разрывная прочность коротких образцов *(A)* больше, чем длинных *(B)*. Это очевидно подтверждает эффект масштаба и его связь с неоднородностью материала.

S u m m a r y

A SERIES OF EXPERIMENTS CONCERNING THE SCALE EFFECT ON THE RUPTURE OF STEEL WIRES

The scale effect or, in other words, the influence of absolute dimensions of structural elements on their strength has, together with the dispersion of the strength, a common background attributed to the non-homogeneity of materials. This probabilistic phenomenon was explained for brittle materials by W. W e i b u l l, J. I. F r e n k e l and T. A. K o n t o r o v a. This note based on the author's experiments on a wire of medium ductility is a contribution to this problem. Samples of wire (subjected to no previous treatment) 5 cm. and 50 cm. long were tensile tested. From the curves of strength distribution assumed to be G a u s s i a n curves it follows (Fig. 2) that the strength of short samples (A) is greater than that of long ones (B), which seems to confirm the scale effect and its connection with the non-homogeneity of the material.

ZAKŁAD MECHANIKI OŚRODKÓW CIĄGŁYCH
IPPT PAN

Praca została złożona w Redakcji dnia 19 września 1956 r.