

PRZEGLĄD TECHNICZNY

TYGODNIK POŚWIĘCONY SPRAWOM TECHNIKI I PRZEMYSŁU.

TREŚĆ:

Nowszy rozwój mechaniki ciał plastycznych, nap. H. Mierzejewski, Prof. Politechniki Warszawskiej.
Wykresy do projektowania żelbetowych słupów ściskanych osiowo, nap. Inż. R. Zegarowski.
Nowsze silniki lotnicze, nap. Inż. St. Płużański.
Szwajcarskie normy pomiarów przepływu wody, nap. Dr. A. Rożański, Profesor Uniwersytetu Jagiellońskiego.
Przegląd pism technicznych.
Kronika.
Sprawozdania i prace Polskiego Komitetu Energetycznego.
Wiadomości Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

SOMMAIRE:

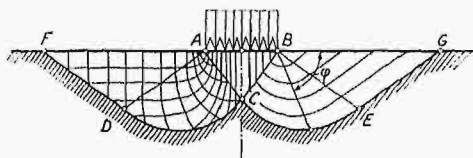
Sur le développement de la mécanique du corps plastique (à suivre), par M. H. Mierzejewski, Professeur à l'Ecole Polytechnique de Varsovie.
Les abaquages pour le calcul des colonnes en béton armé soumises à l'action d'une charge centrale, par M. R. Zegarowski, Ingénieur.
Progrès réalisés dans la construction des moteurs d'aviation (suite), par M. St. Płużański, Ingénieur.
Nouveaux règlements suisses pour la mesure du débit d'eau, par M. A. Rożański, Dr. Professeur à l'Université de Cracovie.
Revue documentaire.
Informations diverses.
Bulletin du Comité Polonais de l'Energie.
Bulletin de la Commission Polonaise de Standardisation.

Nowszy rozwój mechaniki ciał plastycznych.

Napisał H. Mierzejewski, Prof. Politechniki Warszawskiej.

Zastosowania teorii krzywych poślizgowych.

Hencky z wzorów (10) i (11) wyprowadził wniosek, że krzywe poślizgowe dla ciała szczególnie plastycznego są zawsze liniami prostymi, tworzącymi układ prostokątny lub promieniowy. Tak jednak nie jest, na co zwrócił uwagę Prandtl, wykazując różnorodność układów krzywych poślizgowych. Co prawda układy prostoliniowe stanowią zasadnicze rozwiązania omawianych równań, a właśnie Prandtl^{*)} w r. 1920, a więc na kilka lat przed Henckym, postawił hipotezę, że przy wciskaniu płaskiego stempla w płaszczyznę obszar odkształceń plastycznych charakteryzuje promieniowy układ krytycznych naprężeń stycznych. Na ten przykład Prandtl'a zwrócimy specjalną uwagę, gdyż był on ważnym krokiem naprzód w nowszej teorii plastyczności i pobudził do badań doświadczalnych w tej dziedzinie.



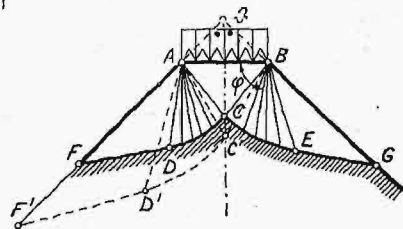
Rys. 9.

Wciskanie płaskiego stempla w półpłaszczyznę (Prandtl).

Niech AB oznacza odcinek półpłaszczyzny, obciążony równomiernie stemplem, który stopniowo wtłaczamy w materiał plastyczny. Mamy tu do czy-

nienia z zagadnieniem dwuwymiarowym. Pod ciśnieniem stempla materiał jest spychany na boki, przyczem następuje zgniót w sektorach ACD i BCE . W trójkątach ADF i BEG materiał jest wypychany ku górze. Według schematu przyjętego przez Prandtl'a, linje prądu można przedstawić tak, jak po prawej stronie, zaś trajektorie naprężeń głównych — jak po lewej stronie rys. 9.

Z chwilą, gdy uznamy za słuszny w danym wypadku schemat odkształcenia zaproponowany przez Prandtl'a, z łatwością ustalimy równania równowagi tak wewnątrz obszaru plastycznego, jak i na pograniczu z obszarami sprężystymi. Można przytem pójść dalej i przedstawić zmiany w zaproponowanym schemacie, jakie wynikać muszą z przejścia od ciała szczególnie plastycznego do materiału, podlegającego stwardnieniu. Można również uogólnić zagadnienie, rozpa-



Rys. 10.

Układ odkształceń dla profilu łamanego (Prandtl).

trując stłaczanie za pomocą stempla płaskiego profilu, przedstawionego na rys. 10. Prandtl przewiduje przytem schematy zgniatania, nie różniące się zasadniczo od tego, jaki widzimy na rys. 9. Ciału szczególnie plastycznemu odpowiadają sektory ACD i BCE . Sektory $AD'C'$ i symetryczny doń $BC'G'$ odpowiadają przypadkowi, gdy mamy do czynienia ze stwardnianiem materiału.

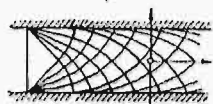
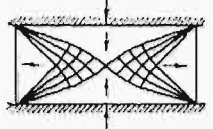
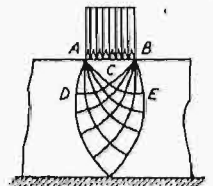
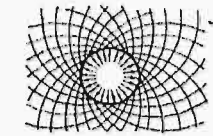
We wszystkich tych schematach mamy do czynienia z promieniowymi układami krzywych poślizgowych. Dopiero po wykryciu przez Henckego

^{*)} Dalszy ciąg do str. 476 w № 35 z r. 1926.

⁸⁾ L. Prandtl. Ueber die Eindringungsfestigkeit (Härte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit der Schneiden ZAMM., 1, 1921, 15.

zadziwiająco prostych własności geometryczno-różniczkowych układu krzywych poślizgowych, Prandtl doszedł do wniosku, że obok układów prostoliniowych, w grę wejść mogą układy, złożone z cykloid, spirali logarytmicznych i innych krzywych. Opierając się ciągle na swej metodzie nawpółempirycznego ustalania schematów odkształceń plastycznych,

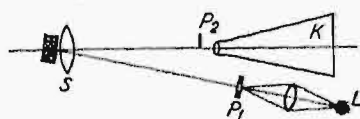
Prandtl wkrótce zaproponował szereg układów krzywych poślizgowych dla ważnych technicznie przypadków, których zbadaniem doświadczalnym zajął się bezpośrednio Nádaï⁹⁾ 10).



Rys. 11—14.

Układ krzywych poślizgowych, powstających przy wciskaniu cylindrycznego trzpienia w grubościenny pierścień z miękkiego żelaza (rys. 11), składa się, jak to wyjaśnił Prandtl, ze spirali logarytmicznych, tworzących kąt 45° z promieniami. Krzywe izostatyczne¹¹⁾ tworzą natomiast w tym wypadku układ promieniowy. Jak to łatwo sprawdzić, oba założenia Hencky'ego są tu spełnione, gdyż w spirali logarytmicznej promień krzywizny równa się długości łuku, odmierzanego od środka. Przy sposobności należy zauważyć, że tym samym założeniom odpowiadają układy cykloid.

Jednym z możliwych rozwiązań może być też układ, przedstawiony na rys. 12, a dotyczący właczania płaskiego stempla w płytę niezbyt grubą w stosunku do szerokości stempla. Prandtl przypuszcza mianowicie, że przez analogję z przykładem podanym poprzednio (rys. 9), zgniot zachodzi w sektorach ACD i BCE , w których mamy do czynienia z promieniowym układem krzywych poślizgowych. Możemy przypuszczać, że wobec niewielkiej grubości



Rys. 15.

plyt zgniot posuwa się ku dołowi, przyczem układ krzywych poślizgowych składa się ze spirali logarytmicznych, przecinających się ortogonalnie.

W pewnej chwili zgniot dochodzi do spodu płyty, która zaczyna być rozpychana na dwie strony.

Przy ściskaniu klocka z materiału plastycznego pomiędzy dwoma sztywnymi płytami jest prawdopodobnem powstanie układu krzywych poślizgowych według rys. 13. Jeśli klocek jest szeroki w po-

równaniu z wysokością, a powierzchnie płyt są szorstkie tak, że poślizgi zachodzą jedynie w materiale plastycznym, przypuszczalny układ będzie taki, jak na rys. 14. Taki układ można sobie wyobrazić w ołowianej płycie, ściskanej pomiędzy dwoma płaskimi blokami kamiennymi o szorstkich powierzchniach oporowych.

Badania doświadczalne.

Badania doświadczalne polegają przede wszystkim na obserwowaniu powstawania bruzdek poślizgowych na powierzchni odkształcanych próbek. Pierwsze obserwacje w tym kierunku zawdzięczamy Lüders'owi, systematyczne badania L. Hartmann'owi. W ostatnich czasach dawniejsze metody uzupełniono nowymi sposobami wykrywania odkształceń trwałych w pierwszej fazie ich powstawania.

Metoda L. Hartmann'a¹²⁾ polega na obserwowaniu układów bruzdek, występujących na gładko odpolerowanej i zlekka utlenionej powierzchni próbki, poddanej określonej odkształceniu. Początkowo cząsteczki tlenu tworzą czworokątne piramidy, których podstawy zajmują określone położenie względem kierunków izostatycznych. W miarę wzrostu obciążenia piramidy lokalne łączą się w ugrupowania w postaci linii. Doświadczenie wykazuje, że otrzymany układ linii jest niczem innym, jak układem krzywych poślizgowych. W swej pracy Hartmann podaje różnorodne przykłady tych układów dla poszczególnych kształtów próbek i różnych metali.

Bezpośrednia obserwacja odpolerowanej powierzchni próbki daje dobre wyniki, gdyż bruzdki poślizgowe wyraźnie się zaznaczają na tle błyszczącym. Fotografia natomiast nie oddaje należycie wypukłości i bruzdek poślizgowych. Jedynie zdjęcia stereoskopowe uwydatniają należycie nierówności powierzchni. Nádaï, rozwijając pewne metody Prandtl'a, zastosował z powodzeniem do zdjęć fotograficznych specjalne oświetlenie próbki, polegające na wywoływaniu jaskrawych kontrastów¹³⁾.

Rys. 16.

Zgniatanie słupka z przewierconymi na krzyż otworami (Nádaï) Por. z rys. 17.



Jest to t. zw. metoda Töppler'a. Odnosny schemat oświetlenia przedstawia rys. 15. Układ optyczny stanowi źródło światła L w postaci małej lampki łukowej, przeponka P , umieszczona w ognisku so-

¹²⁾ L. Hartmann. Sur le mécanisme de la déformation permanente dans les métaux soumis à l'extension, C. R. 152 (1911), 1005, 1084, 1233.

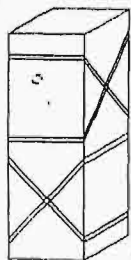
¹³⁾ A. Nádaï. Beobachtungen der Gleitflächenbildung an plastischen Stoffen. Proc. Intern. Congr. for Applied Mechanics, Delft. Także Schweizerische Bauzeitung, 1924, 157.

⁹⁾ L. Prandtl. Anwendungsbeispiele zu einem Hencky'schen Satz über das plastische Gleichgewicht, ZAMM, 3, 1923, 401. L. Prandtl. Spannungsverteilung in plastischer Körper. Proc. Congr. Applied Mechanics. Delft, 1925.

¹⁰⁾ A. Nádaï. Über die Gleit- und Verzweigungsflächen einiger Gleichgewichtszustände bildsamer Massen und die Nachspannungen bleibend verzerrter Körper. Z. f. Physik, 30, 1924, 106.

¹¹⁾ A. Mesnager. Naprężenia ciał stałych w postaci widzialnej. Odbitka z Prz. Techn.

czewki skupiającej, następnie duża soczewka S o dużej odległości ogniskowej, wreszcie przeponka P_2 umieszczona w ognisku tak soczewki S , jak i soczewki kamery fotograficznej K . Jeśli powierzchnia próbki jest płaska i gładka, na matówce otrzymujemy małą jasną plamkę światła. Jeśli wszakże na próbce są bruzdki i wypukłości, to manipulując odpowiednio przeponkami, można otrzymać obrazy kontrastowe powierzchni próbki. Omawiana metoda pozwala wykrywać niewielkie nawet odkształcenia powierzchni. Rys. 16 przedstawia zdjęcie słupka prostokątnego z miękkiego żelaza, przewierconego w dwóch miejscach (rys. 17) i poddanego zginiataniu wzdłuż krawędzi najdłuższej. Od obu otworów rozpoczynają się poślizgi, dochodzące do powierzchni próbki, przyczem kontrastowe oświetlenie umożliwia rozpoznanie układu z rys. 17.



Rys. 17.

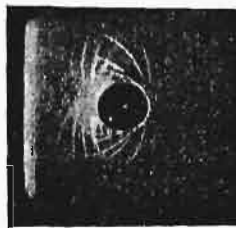
Schemat zginiatania słupka z przewierconymi na krzyż otworami.

Rys. 18 i 19 przedstawiają zdjęcia, otrzymane przez Nádaia, dotyczące przypadków obciążenia, podanych na rys. 11 i 13. Próbką pierwsza była wykonana przytem z miękkiego żelaza, druga zaś z parafiny. Widzimy, że odpowiadają one sobie wzajemnie.



Rys. 19.

Zginiatanie klocka parafinowego (Nádaia). Por. z rys. 13.



Rys. 18. Wciskanie przebijaka w otwór (Nádaia).
Materiał: miękka stal.
Por. z rys. 11.

Obok wymienionych metod, polegających na obserwowaniu powierzchni odkształconej plastycznie próbki, stosowane są często i inne, zapożyczone z techniki metalograficznej. Tak więc zginiot można doskonale wykryć na podstawie wyżarzenia próbki i wywołania rekrytalizacji¹⁴⁾.

Na szczególną uwagę zasługuje metoda Fry¹⁵⁾ wytrawiania próbek, dająca możność subtelnego wykrywania zginiotu. Fry wykazał na szeregu próbek, odpowiadających różnorodnym typom odkształcenia plastycznego, że zasięg odkształceń jest znacznie większy od tego, jaki można wykryć, posługując się metodami dawniejszemi. Dla przykładu weźmy wciskanie cylindrycznego stempla w blok z miękkiego żelaza. Po 6-o godzinnem wyżarzaniu

przy temperaturze 730° następuje rekrytalizacja w obszarze, ograniczonym przez dwie dość prawidłowe półkule (rys. 20). Materiał znajdujący się

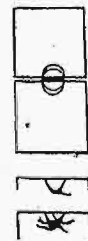


Rys. 20 Wciskanie stempla cylindrowego w pół płaszczyznę. Próbką wyżarzona (rekrytalizacja) i wytrawiona według metody Fry.

tuż pod środkową częścią stempla nie podlega odkształceniu plastycznemu, jak to można wnosić z tego, że nie podlega on rekrytalizacji. Trawienie według metody Fry wykazuje jednak w tym wypadku głęboko sięgające odkształcenia, znacznie słabsze co prawda, niż w obszarze, podlegającym rekrytalizacji, ale wykazujące wyraźną prawidłowość.

Dość bogaty materiał doświadczalny zebrany przez Nádaia wykazuje zgodność schematów, zaproponowanych przez Prandtl'a z doświadczeniem. Można też uważać powyższe schematy za interpretację wyników doświadczeń w myśl ogólnych założeń teorii Prandtl'a i Hencky'ego. Ale nie można tego powiedzieć o wszystkich doświadczeniach. Jest rzeczą charakterystyczną, że wyniki doświadczenia, mającego na celu stwierdzenie, czy przy wtlaczaniu płaskiego stempla w półpłaszczyznę powstaje układ, przedstawiony na rys. 9, nastrożają bodaj najwięcej wątpliwości, co do słuszności nawpółempirycznej metody Prandtl'a.

Nádaia wykonał odnośne doświadczenia w ten sposób, że pomiędzy dwie płaskie próbki w postaci klocków włożył blaszkę i poddał następnie całość zginiotowi za pomocą prasy hydraulicznej (rys. 21). Wobec znacznych w stosunku do blaszki wymiarów próbek otrzymuje się układ odkształceń, odpowiadający niewielkiemu zagłębieniu płaskiego stempla w półpłaszczyznę. I otoż otrzymał on wyraźny obszar zginiotu, ograniczony przez dwa okręgi kół, przechodzących przez punkty, odpowiadające krawędziom stempla, a których środki znajdowały się w pobliżu środka stercowej płaszczyzny stempla. Pas ten w kształcie półksiężyca odpowiada ściśle układowi odkształceń, jaki wprowadzić można na podstawie klasycznej teorii sprężystości. Mianowicie jeśli przeprowadzimy szereg kół, przechodzących przez punkty A i B (rys. 9), których środki będą leżały na osi symetrii stempla, to, badając układ naprężeń przy odkształceniu sprężystym łatwo przekonać się, że na każdym z tych kół naprężenia styczne będą posiadały stałą wartość. Maksymalne wartości naprężeń stycznych otrzymuje się wówczas, gdy prosta AB stanowi



Rys. 21.

¹⁴⁾ W. Broniewski, Zasady metalografii, 204.

¹⁵⁾ A. Fry, Kraftwirkungsfliedern in Flusseisen, dargestellt durch ein neues Aetzverfahren, Kruppsche Monatshefte, 2, 1921, 117.

będzie średnicę koła. Można co prawda, rozpatrując dalszy przebieg odkształcania plastycznego, wykazać w danym wypadku, że istnieje tendencja ku osiągnięciu układu krzywych poślizgowych Prandtl'a, ale doświadczenie tego nie stwierdza.

Wniosek z dotychczasowych badań doświadczalnych można wyprowadzić taki, że metoda Prandtl'a nie daje w większości wypadków pewnych rozwiązań i często prowadzi do sprzeczności¹⁰⁾, wskutek nieustalenia warunków brzegowych. Wydaje się nam, że jedyną właściwą metodą rozważania układów sprężysto-plastycznych, których przykłady były podane poprzednio, a które dotyczą początkowej fazy odkształcania plastycznego, jest przyjęcie ogólnej zasady, że stano-

wią one „wynaturzenie” (zwyrodnienie) układu sprężystego. Przy traktowaniu tych zagadnień należałoby również na pierwszy plan wysunąć badanie układów odkształceń sprężystych, a nie układów naprężeń. Jeśli ta jedyna z punktu widzenia fizycznego metoda nie znalazła dotychczas zastosowania, to dlatego, że na przeszkodzie stanęły tu trudności matematyczne. O ile nie przewyżczono ich dotychczas dla zagadnień płaskich (dwuwymiarowych) lub osiowo-symetrycznych, o tyle rozpatrywanie układów sprężysto-plastycznych, jako wynaturzonych układów sprężystych, okazało się możliwym w zagadnieniu skręcania plastycznych prętów przyrządkowych.

(D. c. n.)

Wykresy do projektowania żelbetowych słupów uzwojonych, ściskanych osiowo.

Napisał Inż. R. Zegarowski.

Jakkolwiek projektowanie żelbetowych słupów uzwojonych nie przedstawia zbyt trudności, posilkowanie się wykresami znacznie ułatwia to zadanie.

W Przeglądzie Technicznym z r. 1924 (Nr 25 i 26) prof. M. Thullie podał tabelki, rozwiązujące to zagadnienie w ramach przepisów Ministerstwa Robót Publicznych. (Tymczasowe Przepisy Budowy i Utrzymania Mostów Drogowych 1920 r. i Przepisy dotyczące obliczeń statycznych w budownictwie lądowym, 1923 r.). W podobny sposób można wykonać wykresy, które bardzo przejrzysto ilustrują zależność elementów składowych słupa uzwojonego od jego nośności.

A. Przekrój kołowy.

Do obliczania słupów uzwojonych o przekroju kołowym, przepisy podają wzór na przekrój zastępczy:

$$A_t = 1,25 A_r + 15 A_z + 30 A_u = \frac{P}{\sigma_b}, \quad (1)$$

gdzie P oznacza siłę ściskającą, działającą na osi słupa, σ_b — naprężenie ściskające w betonie, A_r — pole przekroju rdzenia betonowego wewnątrz uzwojenia, A_z — pole przekroju uzbrojenia podłużnego, A_u — pole przekroju fikcyjnego pręta podłużnego, o objętości uzbrojenia poprzecznego na tej samej długości słupa, które dla pręta uzwojenia o polu przekroju A_o na średnicy rdzenia D_r i skoku S wynosi:

$$A_u = \frac{\pi D_r A_o}{S} \quad (2)$$

Ponieważ uzbrojenie poprzeczne, jak wynika ze wzoru (1), jest dwa razy lepiej wykorzystane niż uzbrojenie podłużne, należy przy ekonomicznym projektowaniu dać uzbrojenie podłużne jak najmniejsze, a mianowicie według przepisów 0,008 pola pełnego przekroju słupa:

$$A_z = 0,008 A_b \quad (3)$$

Przyjmując, że pole przekroju rdzenia betonowego wynosi $\frac{3}{4}$ pełnego przekroju słupa

$$A_r = 0,75 A_b, \quad (4)$$

można ustalić granice zawartości uzbrojenia poprzecznego w słupie. Dolną granicę daje warunek, ażeby nośność słupa uzwojonego była równa nośności słupa nieuzwojonego o tym samym przekroju betonu, lecz o uzbrojeniu podłużnym, równym uzbrojeniu sumarycznemu $A_z + A_u$:

$$A_b + 15 (A_z + A_u) = 1,25 A_r + 15 A_z + 30 A_u.$$

Podstawiając w to równanie wartość z równania (4), otrzymuje się:

$$A_{u_{min}} = 0,00417 A_b \quad (5)$$

Górną granicę otrzymuje się z warunku przepisów, ażeby pole przekroju zastępczego słupa nie przekraczało podwójnego pola przekroju rdzenia betonowego:

$$1,25 A_r + 15 A_z + 30 A_u = 2 A_r.$$

Podstawiając w to równanie wartości z równań (3) i (4), otrzymuje się:

$$A_{u_{max}} = 0,01475 A_b \quad (6)$$

Zależność A_u od A_b otrzymuje się z wzoru (1) po uwzględnieniu równań (3) i (4), mianowicie:

$$A_u = \frac{1}{30} \frac{P}{\sigma_b} - 0,03525 A_b \quad (7)$$

Zależność tę wyrażono na wykresie I, przyjmując jako oś rzędnych wartości A_u w cm^2 , jako oś odciętych wartości A_b w cm^2 , przy różnych wartościach $\frac{P}{\sigma_b}$, również w cm^2 . Na osi odciętych zamiast A_b wpisano średnicę D_b w cm , odpowiadającą tym przekrojom słupa. Po prawej stronie wykresu podano pole przekroju uzbrojenia podłużnego słupa A_z , wynoszące w myśl równania (3) 0,008 pola pełnego przekroju słupa.

¹⁰⁾ H. Hencky. Über einige statisch bestimmte Fälle des Gleichgewichts in plastischen Körpern. ZAMM., 3, 1923, 241.