

# PRZEGLĄD MECHANICZNY

MIESIĘCZNIK NAUKOWO-TECHNICZNY  
STOWARZYSZENIA INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW MECHANIKÓW POLSKICH

REDAKCJA: WARSZAWA, MICKIEWICZA 18, TEL. 10-62-26

ADMINISTRACJA: WARSZAWA, CZACKIEGO 3/5, TEL. 8-95-10

## *Konferencja Wytrzymałościowa Stowarzyszenia Inżynierów i Techników-Mechaników Polskich widomym hołdem złożonym prof. M. T. Huberowi.*

*W dniach 20 i 21 kwietnia br. odbyła się w Warszawie Konferencja Wytrzymałościowa SIMP. W jej zagajeniu Prezes SIMP, mgr inż. Zbigniew Muszyński, podkreślił, iż ma ona być widomym hołdem złożonym pamięci prof. M. T. Hubera. Dało temu wyraz przemówienie wstępne prof. W. Moszyńskiego, w którym zanalizowały się słowa:*

*„Olbryzmie zasługi prof. Hubera jako badacza, pedagoga i organizatora na niwie naukowo-społecznej są ogólnie znane i najwyższej cenione. Znana jest również prawda o prof. Huberze jako o człowieku wielkiego serca i wielkiego oddania każdej sprawie dobrej i słusznej, oraz wielkiej odwagi i uporów wówczas, gdy zachodziła konieczność przeciwstawienia się, w imię Nauki i Prawdy, błędnemu pogłębieniu. Należy dodatkowo podkreślić ten szczególnie dodatni rys charakteru prof. Hubera, — Jego niezwykłą wprost przystępność, Jego wielką koleżeńską, Jego głębokie zainteresowanie, jakie zawsze okazywał dla pracy innych stykających się z Nim ludzi, czy to kolegów, czy uczniów czy obcych nawet, którzy zwracali się do Niego o pomoc, radę czy też ocenę ich myśli lub prac. Jakże wielu na zawsze zachowa Jego długie, wielostronnie nieraz listy pokryte tak dobrze znanym, pięknym, łatwo czytelnym, odręcznym pismem. Nie żałował On nigdy na nie swego cennego czasu i nie jeden z tych listów należałoby zaliczyć do nieogłoszonych drukiem prac prof. Hubera. W tym przejawiała się mniej znana ogółowi, nieoficjalna strona Jego działalności naukowej i pedagogicznej. Celem jej było okazywanie pomocy każdemu, kto odczuwał jej potrzebę przy rozwiązywaniu zagadnień, jakie nasuwała mu praca naukowa lub zawodowa. Tak pojmował on swą rolę profesora! I dlatego też wielu spośród tych, którzy nie byli uczniami Jego w ścisłym znaczeniu słowa, można jednak uważać za Jego uczniów. Iluż spośród własnych i przybranych swych uczniów pasował On na doktorów nauk technicznych, iluż habilitował! Jakże nieocenione wprost kryją się w tym zasługi prof. Hubera dla polskiej Nauki i Techniki!*

*Gdy przed rokiem przystąpiliśmy do organizowania dzisiejszej Konferencji Wytrzymałościowej, liczyliśmy, iż najważniejsze referaty wygłosi na niej prof. Huber. Układając tematykę Konferencji i zastanawiając się nad tym, do kogo zwrócić się z prośbą o opracowanie poszczególnych zagadnień, stwierdziliśmy w sposób niewątpliwy, iż w stosunku do wielu spośród nich najlepiej zdołałby to uczynić prof. Huber. Nigdy nie mieliśmy możliwości lepiej uprzytomnić sobie znaczenia przodującej roli naszego Seniora w całości zagadnień wytrzymałościowych, jak właśnie w owej chwili. Stan zdrowia nie pozwolił prof. Huberowi przyjeżdżać do Warszawy, by brać udział w zebraniach Komitetu Organizacyjnego Konferencji Wytrzymałościowej, pozostawał On jednak z nami w listownym kontakcie i przekazał cenne wskazówki.*

*Przed dwoma dniami grono osób z naczelnych władz NOTu i SIMPa, redakcji „Przeglądu Mechanicznego” i przedstawicielei Politechniki radziło nad wydaniem umyślnego zeszytu poświęconego życiu i działalności prof. Hubera. Postanowiono by powiązać to z dzisiejszą Konferencją. Życzeniem jej organizatorów było, aby stała się ona wyrazem hołdu złożonego Wielkiemu Uczonemu. Powtórzę słowa wypowiedziane na owym zebraniu: „Prof. Huber nie umarł; On żyje między nami, żyje w swym dziele, które na długie lata będzie podstawą naszej pracy na odcinku Mechaniki”.*

*Niechże więc pracom naszym przyświeca myśl, iż Duch prof. Hubera żyje wśród nas i żyć będzie nadal, zachęcając do dalszego wysiłku nasze, starsze już pokolenie oraz przede wszystkim porywając do czynu nowe, młodsze siły, budząc w nich zapał i tę wielką ofiarność pracy, której znaczenie społeczne tak pięknie podkreślił Minister Szkół Wyższych i Nauki, Adam Rapacki w swym przemówieniu nad grobem prof. Hubera.*

*„Niech życie i dorobek pracy tego wielkiego Uczzonego będzie dla nas wszystkich bodźcem i zachętą!”*

*Na końcowym posiedzeniu Konferencji Wytrzymałościowej przyjęto następującą uchwałę: „Doceniając olbrzymie znaczenie dorobku naukowego prof. M. T. Hubera dla techniki polskiej, zebrani uchwalają zwrócić się do Władz o jak najszybsze podjęcie zbiorowego wydania wszystkich cenniejszych prac prof. Hubera i udostępnienie ich najszerszym kołom polskich techników”.*

*Oby ta myśl, gorąco przyjęta przez uczestników konferencji, została możliwie szybko urzeczywistniona. Obok wydanej niedawno „Teorii Sprężystości” prof. Hubera i Jego ukazujących się obecnie podręczników, to zbiorowe wydanie cenniejszych prac Zmarłego stanie się najpiękniejszym Jego pomnikiem.*

W. M.

## MAKSYMILIAN TYTUS HUBER

### 1872 – 1950

**Życie** Maksymilian Tytus Huber urodził się 4 stycznia 1872 roku w Krościenku nad Dunajcem. W szkole ludowej w Limanowej, ani też w gimnazjach do których uczęszcza — w Limanowej, Kołomyji i we Lwowie — nie wyróżnił się. Jego wybitne zdolności przejawiały się dopiero w czasie studiów na Wydziale Inżynierii we Lwowie, gdzie w 1885 r. uzyskał dyplom inżyniera ze stopniem „znamienicie uzdolniony”. Jeszcze przed ukończeniem studiów rozpoczął pracę naukową jako asystent przy Katedrze Budowy Dróg i Kolei Żelaznych u prof. Skibińskiego. Po uzyskaniu dyplomu pracował przez kilka miesięcy przy budowie kolei Lwów—Janów, po czym odbył jednoroczną służbę wojskową. Uzyskane w tym czasie stypendium umożliwiło Mu odbycie rocznych uzupełniających studiów matematyczno-przyrodniczych w Uniwersytecie Berlińskim. Ponieważ starania o przedłużenie stypendium na dalszy rok studiów zawiodły, przyjął stanowisko inżyniera-adjunkta w Krajowym Biurze Melioracyjnym we Lwowie. Równocześnie od jesieni 1898 r. objął asystenturę przy Katedrze Matematyki u prof. Dziwińskiego. W rok później został nauczycielem i w niedługim czasie profesorem „Mechaniki Teoretycznej i Budowniczej” w Wyższej Szkole Przemysłowej w Krakowie. Wykładał ponadto w Krakowie matematykę na poziomie uniwersyteckim na Wyższych Kursach dla Kobiet im. A. Baranieckiego.

W r. 1904 ogłoszona została w „Annalen der Physik” Jego pierwsza praca naukowa „Zur Theorie der Berührung fester elastischen Körper”, przyjęta jako praca doktorska na Politechnice Lwowskiej. W tym samym roku ogłosił w „Pracach Matematyczno-Fizycznych”, wydawanych w Warszawie przez prof. S. Dicksteina oraz w „Czasopiśmie Technicznym” dwie prace ustalające kryterium wytrzymałości metali elasto-plastycznych, stanowiące nową hipotezę wyłączenia energii odkształcenia postacowego. Te dwie prace, jak również parę innych, ogłoszonych nieco później w „Czasopiśmie Technicz-

nym” przesądziły o dalszym Jego życiu. W 1906 r. został powołany do objęcia wykładów Mechaniki Ogólnej w Politechnice Lwowskiej z propozycją objęcia mającej się utworzyć zwyczajnej Katedry Mechaniki Technicznej, którą otrzymał w 1908 r. W latach 1910/12 pełnił już obowiązki dziekana Wydziału Inżynierii, a w r. 1914 został wybrany Rektorem Politechniki, lecz wybuch I-szej wojny światowej uniemożliwił Mu objęcie tej godności, powołany został bowiem do wojska jako oficer rezerwy. Po bitwie pod Rohatynem, skierowany do Przemyśla, wraz z całą załogą twierdzy dostał się do niewoli. Przymusowy pobyt w Rosji umożliwił Mu zapoznanie się z literaturą rosyjską z zakresu teorii sprężystości i wytrzymałości. Dzięki staraniom Czerwonego Krzyża i Polskich Komitetów w Rosji uzyskał znośne warunki życia, które umożliwiły Mu wydatną pracę naukową. W roku 1917/18 nauczał fizyki w wyższych klasach gimnazjum w Kazaniu. Pod koniec swego pobytu w Rosji był przewodniczącym Polskiej Sekcji Kazańskiej Rady Wygnańczej.

Po powrocie do kraju w 1918 r. objął po prof. T. Fiedlerze kierownictwo „Mechanicznej Stacji Doświadczalnej Politechniki Lwowskiej. W r. 1924 został po raz drugi obrany Rektorem tej uczelni.

Wiosną 1928 r. został powołany na Katedrę Mechaniki II Wydziału Mechanicznego Politechniki Warszawskiej, a w r. 1933 powierzono Mu kierownictwo Laboratorium Wytrzymałości Materiałów Politechniki Warszawskiej. W okresie międzywojennym pracuje nad wieloma zagadnieniami z dziedziny mechaniki technicznej i ogłasza wiele prac, głównie z dziedziny teorii płyt, stateczności ustrojów sprężystych oraz wytrzymałości konstrukcji lotniczych i uzbrojeniowych. W okresie dziesięciolecia od 1918 do 1928 roku ogłasza drukiem ogółem 54 publikacje, w czym 15 prac oryginalnych i przyczynków naukowych; w następnym dziesięcioleciu, od 1929 do 1938, ilość publikacji sięga 74 pozycji, w czym oryginalnych 24. Jest to niewątpliwie okres Jego najbardziej wydatnej twórczości naukowo-technicznej.

Okres czasu od wybuchu II wojny światowej do Powstania Warszawskiego spędził w Warszawie, ucząc na tajnych kursach politechnicznych zorganizowanych przez *mgr Z. Jagodzińskiego* pod nazwą Kursów Rysunku Technicznego, oraz w uruchomionej w 1942 r., Wyższej Szkole Technicznej. Jednocześnie rozwinął niezwykle żywą działalność twórczą, której wynikiem było wykończenie kilku dawniej już rozpoczętych obszernych prac naukowych i napisanie szeregu nowych. Większość ich, jak dwutomowa „Teoria Sprężystości”, wydana ostatnio przez Polską Akademię Umiejętności, podręcznik z mechaniki ogólnej i technicznej oraz z wytrzymałości materiałów, ocalała. Część jednak, jak niezwykle cenna „Mechanika techniczna ciał stałych” (Stereomechanika techniczna), obejmująca około 900 stron rękopisu, uległa niestety zniszczeniu. Mieszkając na terenie Politechniki, wraz z ludnością stolicy przeżył okres powstania sierpniowego, tracąc dobytek całego niemal życia, swą cenną bibliotekę i swe archiwum.

Po opuszczeniu Warszawy w końcu sierpnia 1944 r. i wydobyciu się z obozu w Pruszkowie oraz po tułaczce w okolicach Warszawy, w październiku tegoż roku osiadł w swym domu w Zakopanem, gdzie nadal pracował wykładając matematykę i mechanikę na tajnych kursach politechnicznych.

W r. 1945, w uznaniu zasług naukowych, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie nadała Mu godność doktora nauk technicznych honoris causa. Wkrótce potem został zaproszony do objęcia Katedry Mechaniki Technicznej Politechniki Gdańskiej. Nie mając możliwości powrotu na dawne swe stanowisko w Politechnice Warszawskiej, wobec trudności związanych z uru-

chomieniem Wydziału Mechanicznego w Stolicy, przyjął to zaproszenie i jednocześnie objął kierownictwo tamtejszego Instytutu Wytrzymałości. W ciągu czterech lat pobytu w Gdańsku rozwinął ponownie niezwykle ożywioną działalność naukową, ogłaszając liczne nowe prace i przyczynki.

W uznaniu Jego wielkich zasług naukowych Prezydent Rzeczypospolitej, na wniosek Wydziału Mechanicznego i Senatu Politechniki Warszawskiej, mianował Go wiosną 1948 r. Profesorem Honorowym Politechniki Warszawskiej. Występując z tym wnioskiem Rada Wydziału Mechanicznego Politechniki stołecznej pragnęła trwale związać ze sobą Jego nazwisko.

Wiosną 1949 r. *prof. M. T. Huber* przeniósł się do Krakowa, gdzie uzyskał na Akademii Górniczo-Hutniczej utworzoną dla Niego ad personam przez Ministerstwo Oświaty Katedrę Wyższych Zagadnień Mechaniki. Na tym stanowisku prowadził seminaria i wykłady dla pracowników naukowych Akademii Górniczej do ostatnich niemal dni Swego życia.

W związku z pięćdziesięcioleciem Jego działalności naukowej zawiązał się w Gdańsku Komitet Uczczenia Zasług Naukowych *prof. dr inż. M. T. Hubera*, który wydał pamiątkową księgę jubileuszową, zawierającą ponad dwadzieścia prac z dziedziny mechaniki technicznej, napisanych przez Jego uczniów i przyjaciół. Jednocześnie Politechnika Gdańska nadała Mu w końcu 1950 r. drugi z kolei doktorat honoris causa.

Do prac *prof. M. T. Hubera* wprowadzić nie ogłoszonych drukiem, mających jednak ogromne znaczenie dla rozwoju Nauki Polskiej, zaliczyć należy Jego olbrzymią korespondencję prowadzoną ze swymi licznymi uczniami i przyjaciółmi, dla których był doradcą i przewodnikiem.

Działalność naukowo-techniczna *prof. M. T. Hubera* nie ograniczała się do pracy pedagogicznej i piśmiennej. Przez całe swe życie brał on nader czynny udział w pracach stowarzyszeń technicznych i społecznych.

W 1919 roku został powołany do Komisji Stabilizacyjnej dla obsad Katedr Warszawskiej Politechniki. W 1920 r. został członkiem założycielem Akademii Nauk Technicznych w Warszawie i członkiem korespondentem Kasy *im. Mianowskiego* w Warszawie oraz wiceprezesem Polskiego Towarzystwa Politechnicznego we Lwowie. W 1925 r. został powołany na członka Rady Technicznej przy ministrze Kolei w Warszawie, oraz wybrany delegatem Politechniki Lwowskiej do Rady Naukowej Kasy *im. Mianowskiego* w Warszawie i przewodniczącym Oddziału Lwowskiego Polskiego Towarzystwa Matematycznego. W 1927 r. został wybrany członkiem korespondentem Polskiej Komisji Międzynarodowej Współpracy Intelktualnej i członkiem korespondentem Polskiej Akademii Umiejętności oraz zorganizował I Polski Zjazd Matematyczny. W 1928 r., w którym przeniósł się do Warszawy, został obrany prezesem Akademii Nauk Technicznych oraz członkiem honorowym Polskiego Towarzystwa Politechnicznego we Lwowie. W 1931 r. został członkiem czynnym Warszawskiego Towarzystwa Naukowego. W 1932 r. objął kierownictwo prac badawczych w dziedzinie zagadnień wytrzymałościowych lotnictwa. W 1933 r. uzyskał członkostwo honorowe Związku Polskich Inżynierów Lotniczych oraz został wybrany przewodniczącym Warszawskiego Towarzystwa Politechnicznego, a w 1934 r. — przewodniczącym Wydziału Inżynieryjnego Akademii Nauk Technicznych w Warszawie. W 1936 r. został mianowany Przewodniczą-

cym Komitetu Wydawniczego Podręczników Akademickich przy Ministerstwie Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego, oraz wybrany wiceprezesem kasy *im. Mianowskiego*. W 1937 r. otrzymał dyplom członka zagranicznego Masarykowej Akademii Pracy w Pradze, oraz dyplomy członka honorowego Zrzeszenia Polskich Przemysłowców Lotniczych i Polskiego Związku Inżynierów Budowlanych.

Jesienią 1939 r., po śmierci *prof. K. Lutostańskiego* przejął przewodnictwo Komitetu Kasy *im. Mianowskiego*, piastując je do przymusowego opuszczenia stolicy z końcem sierpnia 1944 r., przy czym zdołał ocalić część majątku Kasy. Umożliwiło Mu to udzielanie w czasie okupacji zasiłków wielu osobom pracującym naukowo i dokończenie druku dzieła *M. Curie-Skłodowskiej* o promieniotwórczości.

W 1948 r. otrzymał godność członka honorowego Krakowskiego Towarzystwa Technicznego. Wiosną 1950 r. wzięły czynny udział w zorganizowaniu Komisji Nauk Technicznych Polskiej Akademii Umiejętności w Krakowie i został obrany jej przewodniczącym. Prezydium I Kongresu Nauki Polskiej powierzyło Mu przewodnictwo Sekcji VII Nauk Technicznych.

Trudno wyliczyć tu różne krajowe zjazdy techniczne inżynierów budowlanych i przede wszystkim inżynierów-mechaników polskich, w których *prof. M. T. Huber* w okresie międzywojennym brał czynny udział, wygłaszając na nich referaty główne i sekcyjne. Sam, wyrosły na gruncie inżynierii lądowej, związał się w swej dalszej pracy najściślej z budową maszyn, stając się swoją Osobą ogniwem wiążącym te dwie najstarsze i najważniejsze dziedziny nowoczesnej techniki.

Udział *prof. M. T. Hubera* w pracach techniczno-naukowych na terenie międzynarodowym, był również niezwykle żywy.

W 1924 r. uczestniczył w I Międzynarodowym Zjeździe Mechaniki Technicznej, odbytym w Delft, a w 1926 r. w II Zjeździe odbytym w Zurychu, gdzie wygłosił referat z dziedziny teorii płyt. W 1927 r. uczestniczył w Zjeździe Materiałowym w Berlinie, a w 1928 r. w Kursie wakacyjnym fizyki teoretycznej, urządzonym przez Uniwersytet Berliński. W tym samym roku wziął również udział w II Międzynarodowym Kongresie Mostownictwa i Budowli Inżynierskich w Wiedniu, gdzie wygłosił referat z dziedziny wybożenia, oraz w Międzynarodowej Konferencji Żeglugi Powietrznej (C.I.N.A.) w Paryżu, jako przedstawiciel Ministerstwa Komunikacji. W 1929 r. wygłasza w Politechnice Zuryskiej, z inicjatywy Polskiej Komisji Międzynarodowej Współpracy Intelktualnej, cykl wykładów gościnnych na temat prac własnych z teorii płyt ortotropowych. W 1930 r. uczestniczył w III Międzynarodowym Kongresie Mechaniki Stosowanej w Sztokholmie. W 1931 r. wziął udział w I. Kongresie Międzynarodowego Związku Badań Materiałów w Zurychu jako delegat polski i członek Stałego Komitetu, przy czym został wybrany do Komitetu honorowego Kongresu. W 1932 r., na zaproszenie Stałego Komitetu Międzynarodowego Kongresu Mostownictwa i Budowli Inżynierskich, opracował i wygłosił na III Kongresie w Paryżu referat główny na temat teorii stropów grzybkowych. W 1935 r. wziął czynny udział w IV Międzynarodowym Kongresie Szynowym w Düsseldorfie, wygłaszając referat o pracy własnej z dziedziny wybożenia termicznego torów o szynach spawanych. Wreszcie w 1948 r. wziął czynny udział jako przewodniczący delegacji polskiej w VII Kongresie Międzynarodowym Mechaniki Stosowanej w Londynie, na który zgłosił własny referat z dziedziny teorii sprężystości. Obecny na Kongresie prof. S. P. Timoszenko przypomniał ze-

branym o 50-leciu pracy naukowej prof. M. T. Hubera i o Jego wielkich osiągnięciach w licznych dziedzinach mechaniki technicznej; oświadczenie to przyjęto długotrwałą burzliwą owacją na cześć Jubilata. Było to Jego ostatnie wystąpienie na terenie Międzynarodowym.

Dowodami uznania jakimi darzono prof. M. T. Hubera, są również i nadane Mu odznaczenia: w r. 1925 Krzyż Komandorski orderu „Polonia Restituta”; w r. 1933 — Złoty Krzyż Zasługi, w r. 1936 po raz drugi Złoty Krzyż Zasługi; w r. 1946 — Medal Zwycięstwa i Wolności; w r. 1948 — Złoty Krzyż Zasługi po raz trzeci. W r. 1949 został laureatem Państwowej Nagrody Naukowej I klasy za całokształt swej działalności naukowej.

Przeżycia wojenne nadwątlily zdrowie prof. M. T. Hubera zmuszając Go parokrotnie w czasie okupacji i w późniejszych latach do wielokrotnego odbywania kuracji, która nie przerywała Jego niestrudzonej pracy. W połowie listopada 1950 r. nastąpiło nagłe pogorszenie stanu zdrowia, zmuszające Go do poddania się natychmiastowej poważnej operacji. Niestety, nie zdołała ona przywrócić Go życiu. Zmarł 9 grudnia 1950 r.

Rada Ministrów, w uznaniu wielkich zasług Zmarłego położonych dla nauki Polskiej, na wniosek Ministra Szkół Wyższych i Nauki, uchwaliła by pogrzeb prof. M. T. Hubera odbył się na koszt Państwa. Doczesne szczątki wielkiego Uczzonego Polskiego spoczęły na cmentarzu Rakowickim w Krakowie, — w tym samym mieście, w którym przed pięćdziesięciu laty rozpoczął swą działalność naukową i do którego — poprzez Lwów, Warszawę i Gdańsk — powrócił, by ją zakończyć, .....niestety przedwcześnie.

W. M.

## Twórczość Niezwykle rozległa działalność naukowa prof. M. T. Hubera znalazła swe odbicie przede wszystkim w następujących dziedzinach wiedzy technicznej:

1) teorii sprężystości<sup>1)</sup> 2) zagadnieniu wyteżenia, 3) teorii płyt, 4) stateczności ustrojów sprężystych oraz 5) wytrzymałości konstrukcji lotniczych i uzbrojeniowych.

We wszystkich tych dziedzinach wyraźnie zarysował się twórczy udział prof. Hubera w postaci prac o nieprzemijającej wartości na miarę światową. Chcąc ogarnąć myślą całość Jego olbrzymiego dorobku naukowego, uczynimy najlepiej rozpatrując go kolejnymi działaniami, mimo, iż nie odpowiadają one kolejności chronologicznej, w jakiej powstawały. Niezwykle żywy umysł prof. Hubera obejmował równocześnie wszystkie rozległe dziedziny Mechaniki Technicznej. Tak szybko zjawiające się jedne po drugich Jego prace, najczęściej dotyczące odmiennych zagadnień, spletały się ze sobą harmonijnie w jednolitą, ściśle związaną całość. Nie ma w życiu prof. Hubera okresów, w których zajmowałby się zagadnieniami, z którymi by rozstał się następnie. Pierwsze dwie doniosłe Jego prace naukowe dotyczyły zagadnień sprężystości i wyteżenia, które — niczym czerwona nić — przewijają się przez cały niemal dorobek życiowy prof. Hubera, aż do Jego wielkiej pracy końcowej o teorii sprężystości oraz do ostatnich przyczynków i wystąpień polemicznych na tematy wyteżenia. To samo można powiedzieć o innych działach twórczości prof. Hubera. Przystępując do omówienia całokształtu Jego pracy naukowej oddajmy głos tym, którzy najlepiej zdolają naświetlić istotne wartości twórcze wniesione do skarbicy wiedzy przez Wielkiego Uczzonego.

### ZAGADNIENIE WYTEŻENIA

Stan fizyczny ciała wywołany obciążeniem, warunkujący stopień narażenia jego materiału na osiągnięcie niebezpiecznej granicy, jest od pierwszej połowy XVII w. aż do dnia dzisiejszego tematem rozważań uczonych różnych krajów. Temat ten dotyczy zagadnienia w y t e ż e n i a. Oto w jaki sposób określa je prof. Huber:

„Wyteżeniem nazywamy miarę teoretyczną niebezpieczeństwa powstania odkształceń trwałych (względ-

nie niebezpieczeństwa pęknięcia w materiale kruchym) w dowolnie obranym miejscu ciała, w którym stan napiecia jest określony jego składowymi  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{yz}$ ,  $\tau_{zx}$ . Miara ta zależy od wyznawanej hipotezy“.

Znaczną ilość hipotez wyteżenia, istniejących przed pojawieniem się prac prof. Hubera z tej dziedziny i dotyczących materiałów izotropowych, posiadających ponadto te same wartości granicy niebezpiecznej przy rozciąganiu  $K_t$  i przy ścinaniu  $K_s$ , łączy się zwykle mniej lub więcej ściśle w trzy następujące grupy:

I. hipotezy największego naprężenia normalnego:

G. Galileusz (1638 r.), A. Clebsch (1862 r.) W. J. Rankine (1856 r.),

<sup>1)</sup> Dorobek prof. Hubera w dziedzinie teorii sprężystości omówiony w obszernym sprawozdaniu z Jego klasycznego dzieła „Teoria sprężystości“, zamieszczony będzie w zeszycie następnym.

II. hipotezy największego właściwego odkształcenia wzdłużnego:

B. de Saint Venant (1837 r.), J. V. Poncelet (1839 r.);

III. hipotezy największego naprężenia stycznego:

C. A. Coulomb (1776 r.), J. Guest (1900 r.), O. Mohr (1900 r.).

Według Mohra o wyteżeniu stanowi naogół pewna funkcja wartości naprężenia normalnego i stycznego, która powinna być określona doświadczalnie.

Hipoteza Mohra miała być stosowana zarówno do materiałów kruchych, dla których  $K_c > K_r$ , jak i do metali elastoplastycznych, dla których  $K_c = K_r$ . Dla tych ostatnich hipoteza Mohra sprowadza się do hipotezy największego naprężenia stycznego.

$$\lambda = \frac{1}{2} (\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \sigma_z \varepsilon_z + \tau_x \gamma_x + \tau_y \gamma_y + \tau_z \gamma_z) = \frac{1}{E} \left[ \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)^2 + (1 + \mu) (\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x) \right]; \quad [1]$$

$$\frac{1}{E} \left[ \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)^2 + (1 + \mu) (\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x) \right] = \frac{K^2}{2E};$$

$$\sqrt{(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)^2 + (1 + \mu) (\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x)} = k.$$

Zadna z wymienionych hipotez nie jest w dostatecznej mierze zgodna z doświadczeniami i to nie tylko dla wszystkich materiałów lub chociażby dla jakiejś wybranej spośród nich grupy. Trudno jest nawet znaleźć wśród wielu ich rodzajów jeden materiał zadośćczyniący którejkolwiek z tych hipotez przy różnorodnych zastosowaniach technicznych. Jak ważne jest stosowanie właściwej hipotezy wyteżenia świadczy porównanie wyników obliczeń wyteżenia zachodzącego w punkcie zetknięcia koła parowozu z szyną lub dwóch kul ściskanych. W pierwszym z tych przypadków hipoteza I daje wyteżenie (zależnie od liczby Poissona  $\mu$ ) około 4 razy, w drugim około 5 razy większe, niż obliczono na podstawie hipotezy III. Znacznie jaskrawsze różnice zachodzą w przypadku wszechstronnego rozciągania.

Na tle rozwoju podstawowych myśli prof. Hubera w dziedzinie wyteżenia zarysowała się konieczność przyjęcia dwoistości kryteriów wytrzymałościowych. Dwoistość ta polega na rozróżnieniu dwóch zasadniczych grup materiałów, a mianowicie: *metali elastoplastycznych* i *materiałów kruchych*. Kryteria lub inaczej warunki wytrzymałościowe są funkcjami zależnymi od mechanicznych własności ciał stałych, ich postaci i sposobów obciążenia, będącymi miarą niebezpieczeństwa pojawiania się wyraźnych odkształceń trwałych w metalach elastoplastycznych, lub pęknięcia w materiałach kruchych.

Takie postawienie sprawy przez prof. Hubera podkreśla jednoznacznie niecelowość stawiania uniwersalnej hipotezy, wspólnej dla obydwóch wymienionych grup materiałów, do czego dążył zasłużony inżynier-badacz niemiecki O. Mohr. Ujemną stroną jego koncepcji był głównie przeskok od jednej granicy niebezpiecznej  $K = Q_r$  do innej  $K = R_r$  przy przejściu od metali elastoplastycznych do materiałów kruchych:

Zwrócenie uwagi na rolę *potencjału sił sprężystości* w wyteżeniu materiału zawdzięcza się słynnemu matematykowi włoskiemu E. Beltramiemu (1885 r.) i, niezależnie od niego, prof. M. T. Huberowi (1903 r.), który, nie znając prac swojego poprzednika, jest współautorem hipotezy całkowitej energii odkształcenia sprężystego. Związaną z tym pracą prof. Huberta, ogłoszoną drukiem w 1904 r., należy odnieść do 1903 r. ze względu na dopisek pod tytułem pracy: Kraków, w październiku 1903 r.“.

Matematyczną stroną powstania tej hipotezy, — kryterium wytrzymałościowe w odniesieniu do granicy niebezpiecznej przy zwykłym rozciąganiu  $K$ , oraz wzór obliczeniowy przy pewności  $n = K \cdot k$ , przedstawiają w najogólniejszej postaci równości:

Jakkolwiek hipoteza ta nie znalazła zastosowania w praktyce, miała jednak doniosłe znaczenie dla rozwoju wyjaśnienia zagadnienia wyteżenia.

Pomysł przyjęcia energii właściwej odkształcenia  $\lambda$  jako miary wyteżenia materiału ulega u prof. Hubera szybkiej ewolucji. Dokonany po raz pierwszy przez G. G. Stokesa (1848 r.) i następnie niezależnie przez H. v. Helmholtza (1893 r.) rozdział całkowitej energii właściwej odkształcenia sprężystego  $\lambda$  na dwa składniki  $\lambda_v$  i  $\lambda_f$  — energii odkształcenia objętościowego

$$\lambda_v = \frac{1 - 2\mu}{6E} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)^2$$

i energii odkształcenia postaciowego

$$\lambda_f = \frac{1 + \mu}{6E} \left[ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2) \right] \quad [2]$$

staje się podstawą nowej hipotezy wytrzymałościowej M. T. Hubera, który pierwszy zastosował ów podział energii odkształcenia sprężystego na powyższe dwa składniki w rozważaniach nad wyteżeniem, dając początek hipotezy energii odkształcenia postaciowego.

Genęzę odnośnego wzoru obliczeniowego przedstawiają równości:

$$\lambda_f = \frac{1 + \mu}{6E} \left[ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2) \right] = \frac{1 + \mu}{3E} K^2$$

lub

$$2 \left[ \left( \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_y - \sigma_z}{2} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_z - \sigma_x}{2} \right)^2 + \frac{3}{2} (\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2) \right] = K^2. \quad [3]$$

wprowadzając  $k = K/n$ , gdzie  $n$  jest współczynnikiem pewności, znajdujemy:

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x + 3(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2)} = k$$

jako ogólne ujęcie hipotezy wytrzymałościowej M. T. Hubera.

Odnosząc stan napięcia do kierunków naprężeń głównych  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , ostatnią zależność można napisać w postaci przekształconej

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_3 \sigma_1 - \sigma_1 \sigma_2} = k, \quad [3a]$$

będącej szczególnym ujęciem tej hipotezy.

Hipoteza ta była uwzględniona przez *prof. Hubera* w jego wykładach prowadzonych w Politechnice Lwowskiej około 1906 r., a więc jeszcze przed objęciem katedry w 1908 r. Jednak wobec ogłoszenia w tym czasie wyników prac doświadczalnych W. A. Scoble'a (1906 r. i 1910 r.), przemawiających jak się zdawało na korzyść hipotezy III, *prof. Huber* zaniechał na szereg lat rozpowszechniania własnej hipotezy. Ta sama idea powstała później niezależnie, głównie u dwóch badaczy zagranicznych, którzy nie znali pracy *prof. Hubera*. W Niemczech ogłasza ją R. v. Mises (1913 r.), na co zwrócono należyta uwagę w dwanaście lat później, kiedy tę samą myśl poruszył w Holandii inny niemiecki uczony H. Hencky (1925 r.). Doniosłe prace tych badaczy uogólniają pierwotną myśl *prof. Hubera*, wiążąc hipotezę energii odkształcenia postaciowego z teorią plastyczności na szerokim podkładzie matematycznym.

Koncepcja *prof. Hubera* z 1904 r. doczekała się dopiero prawie po ćwierćwieczu tryumfu w postaci doświadczalnego stwierdzenia jej słuszności dla metali elastoplastycznych. Pierwsze z tych badań, i to najważniejsze, wykonane były przez M. Rosa i E. Eichingera w Zurychu (1926 r.), dalsze przez W. Lodego w Getyndze (1926 r.), M. Ensslina w Esslingen (1929 r.), K. Hohenemsera w Getyndze (1931 r.). Do najnowszych badań potwierdzających słuszność tej hipotezy należą prace trzech uczonych japońskich: Sato, Toykiti i Itihara Mititosi (1940 r.), oraz prace zreferowane przez A. E. Johnsona na VII Kongresie Międzynarodowym Mechaniki Stosowanej w Londynie (1948 r.).

W obecnym stanie rzeczy hipotezę energii odkształcenia postaciowego należy ująć w sposób następujący:

Miarą wyczerpania metali niekruchych, dających kryterium osiągnięcia granicy plastyczności w ogólnym stanie napięcia i odkształcenia, jest wartość energii właściwej odkształcenia postaciowego.

Według ogłoszonej ostatnio (1949 r.) przez Rosa i Eichingera hipotezy „EMPA” (Eidgenossische Material-Prüfungsanstalt) miarą wyczerpania dającą kryterium osiągnięcia granicy plastyczności w ogólnym stanie napięcia i odkształcenia jest wartość funkcji naprężenia stycznego  $\tau_n$ , na którejkolwiek ze ścian elementarnego ośmiościanu foremego, jednako nachylonych do kierunków głównych.

Hipoteza ta jest słuszna, jest bowiem inaczej ujętą hipotezą M. T. Hubera. Świadczą o tym następujące wyrażenia sprowadzające ją, przy określaniu stanu napięcia składowymi głównymi, do hipotezy *prof. Hubera*:

$$\tau_n = \frac{2}{3} \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2 + \tau_3^2} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_3 \sigma_1} \quad [4]$$

gdy

$$\sigma_1 \neq 0 \text{ i } \sigma_2 = \sigma_3 = 0 \text{ to } \tau_n = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{K^2} = \frac{\sqrt{2}}{3} K,$$

to też

$$\frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \sigma_2 - \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_3 \sigma_1} = \frac{\sqrt{2}}{3} K, \quad [5]$$

skąd ostatecznie, dla  $k = K/n$ , otrzymujemy zależność [3a].

Niesłuszne i wręcz niezrozumiałe jest, iż autorowie tej hipotezy uważają ją za ulepszoną i uogólnioną hipotezę Mohra, gdy jest ona hipotezą M. T. Hubera, zresztą ujętą w 45 lat później na innym, zresztą pomysłowo zbudowanym schemacie myślowym. Istotną bowiem rzeczą jest to, iż nie tylko zależność podstawowa [4] jest równoważna zależnościom [3] i [3a], lecz że wszystkie inne zależności, odpowiadające różnym szczególnym stanom napięcia, jakie można wysnuć w oparciu o wzory [3] i [3a] oraz o wzór [4], muszą być identyczne.

Nowa hipoteza „EMPA” nie jest więc niczym innym, jak dawną hipotezą M. T. Hubera.

Prof. dr Z. Klębowski

## TEORIA PŁYT

W pierwszym dwudziestolecu obecnego wieku teoria płyt izotropowych stała się po przeszło półwiekowej przerwie (prace Sophie Germain, Lagrange'a, Naviera, Kirchhoffa) przedmiotem żywych zainteresowań tak ze strony matematyków (Lauricella, W. Ritz, Happel), jak i inżynierów-teoretyków (Levy, Hager, Hencky, Timoszenko, Nadai). To wzmożenie zainteresowania wywołane było przede wszystkim naciskiem, jaki praktyka inżynierska wywierała na badaczy zajmujących się teorią konstrukcji.

Rozwijana w tym czasie teoria płyt nie uwzględniała jednak anizotropowego charakteru elementów konstrukcyjnych. Stan ten nasunął *prof. M. T. Huberowi* myśl opracowania teorii płyt o ortogonalnej anizotropii (stąd nazwa „ortotropowych”), która z większą, niż teoria płyt izotropowych, dokładnością mogłaby opisać stan napięcia w płytach żelbetowych krzyżowo zbrojonych, w płytach z blachy falistej lub w kratkach gęstożebrowych.

Teorię płyt ortotropowych rozwinął *prof. Huber* w szeregu prac ogłoszonych tak w języku polskim, jak i w językach obcych.

Pierwszą z nich jest „Ogólna teoria płyt żelazo-betonowych i jej praktyczne zastosowanie do płyty prostokątnej, podpartej wzdłuż całego obwodu“, Lwów 1914. W pracy tej *prof. Huber* podał wyprowadzenie równania różniczkowego powierzchni odkształcenia płyty pod wpływem obciążeń prostopadłych do środkowej powierzchni płyty oraz związku zachodzące między zgięciem i momentami zginającymi, skręcającymi i siłami tnącymi, a ponadto wyrażenie dla potencjalnej energii zginanej płyty i wreszcie rozwiązanie ściśle równania różniczkowego dla płyty swobodnie podpartej na obwodzie. Rozwiązanie to stanowi analogię do rozwiązania *Naviera* dla płyty izotropowej.

Równanie ugięcia płyty ortotropowej we współrzędnych prostokątnych  $x, y$  podaje *prof. Huber* w postaci

$$B_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^2 w}{\partial x^2 \partial y^2} + B_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p;$$

$w(x,y)$  — ugięcie płyty,

$p(x,y)$  — obciążenie płyty,

$B_x, B_y$  — sztywność zginania płyty w kierunku  $x$  i  $y$ ,  $2H = B_x m_y + B_y m_x$ ; gdzie  $m_x$  i  $m_y$  są stałymi materiału (odpowiednikiem  $m_x$  i  $m_y$  dla ciał izotropowych jest liczba Poissona  $\mu$ ).

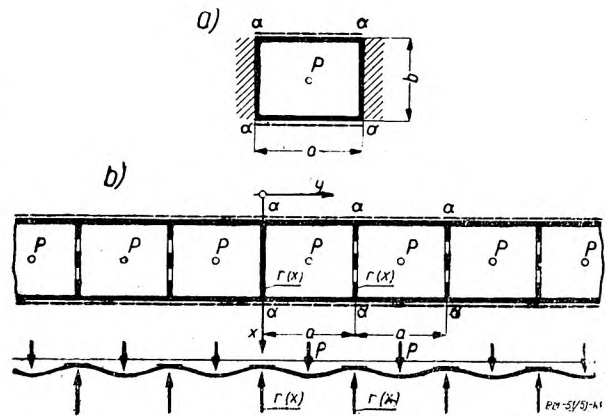
Choć równanie różniczkowe odkształcenia płyty w ogólnej postaci (dla nieortogonalnych płyt anizotropowych) zostało poddane przez *F. Gehringa* (1860) i *J. Boussinesq'a* (1879), zasługą *prof. Hubera* jest wyznaczenie na drodze rozważań teoretycznych wartości  $B_x, B_y$  i  $H$  dla szeregu elementów konstrukcyjnych.

W następnej swej pracy — „Teoria płyt prostokątne różnokierunkowych“, ukończonej w 1918 r. w obozie jenieckim w Kazaniu, a wydanej w 1921 r. we Lwowie, *prof. Huber* dał już bardzo wszechstronną i w szczegółach opracowaną teorię płyt ortotropowych. Podziwiać należy bogactwo zagadnień i rozwiązań przypadków szczególnych, opracowanych aż do najdrobniejszych szczegółów, jak również wnikliwą analizę wyników w oparciu o stojące do dyspozycji dane doświadczalne. W pracy tej *prof. Huber* wskazał na decydujące znaczenie tzw. charakterystyki sztywności płyty ortotropowej  $\eta = \frac{H}{\sqrt{B_x B_y}}$  dla rozwiązania

równania różniczkowego; wskazał dalej na pokrewieństwo między powierzchniami zgięcia płyty ortotropowej i izotropowej przy pewnych wartościach  $\eta$ . Na uwagę zasługuje wykazanie różnicy w zachowaniu się płyty prostokątnej dla  $\eta > 1$  i  $\eta < 1$  przy działaniu siły skupionej. Okazało się, że twierdzenie *M. Mesnagera* o ugięciu jednoznakovym wszystkich punktów płyty prostokątnej swobodnie podpartej na obwodzie nie jest słuszne dla płyt ortotropowych o charakterystyce  $\eta < 1$ , w tym bowiem przypadku otrzymuje się falistą postać wygięcia o różnych znakach.

*Prof. Huber* podał ponadto szereg rozwiązań szczegółowych dla wielu technicznie ważnych typów obciążeń pasma płytowego swobodnie podpartego, w owym czasie nieopracowanych jeszcze dla płyt izotropowych. Szereg przypadków dotyczących płyt z brzegami swobodnie podpartymi lub też utwierdzonymi rozwiązuje *prof. Huber* przy pomocy bardzo pomysłowej metody własnej, polegającej na superpozycji nader prostych

rozwiązań dla płyty nieskończenie długiej. I tak np. zagadnienie płyty utwierdzonej na obwodzie i obciążonej siłą skupioną w środku płyty (rys. 1a) można sprowadzić do rozwiązania zagadnienia prostszego — wyznaczenia powierzchni ugięcia pasma nieskończenie długiego, obciążonego układem sił  $P$  w jednakowych odstępach oraz układem liniowych obciążeń  $r(x)$ , przy czym funkcję  $r(x)$  obiera się tak, aby ugięcia wzdłuż obrzeży  $a$ — $a$  były równe zero (rys. 1b). Korzyści tego sposobu polegają przede wszystkim na tym, że szeregi funkcji wykładniczych występujące w zagadnieniu płyty nieskończenie długiej dają się łatwo zsumować. Sposób *prof. Hubera* odznacza się dużą pogłównością i daje wzory odznaczające się zwartością i prostotą. Dodać należy, że sposób ten z powodzeniem stosuje się obecnie w zagadnieniach pokrewnych (wyboczenie i drgania płyt, zginanie powłok itp.).



Rys. 1.

Dla szeregu zagadnień podał *prof. Huber* rozwiązanie przybliżone, jak np. dla płyty z brzegami wystającymi poza linie podporowe, dla płyty utwierdzonej na obwodzie itd. W pracy tej *prof. Huber* zajął się jako pierwszy teoretycznym opracowaniem zagadnienia współdziałania płyty żelbetowej z żebrem. Zagadnienie to, technicznie nader ważne, sprawiło wielkie trudności przy usiłowaniu ścisłego jego rozwiązania. Przy zginaniu żebra i płyty należy bowiem uwzględnić płaski stan napięcia w płycie, wyrażony znaną funkcją *Airyego*. *Prof. Huber* podał uogólnienie funkcji naprężeń dla tarcz ortotropowych oraz przybliżone, ale bardzo ogólne rozwiązanie współdziałania płyty z żebrem. Szczegółowo zostały opracowane dwa przypadki: działanie jednego żebra poprzecznego, gdy po obu jego stronach płyta rozciąga się stosunkowo daleko, oraz działanie szeregu żebrowych rozmieszczonych w jednakowych odległościach.

Do zagadnienia tego powraca *prof. Huber* w dalszych pracach: „Biegungsprobleme eines durch Querrippen versteiften orthotropen Plattenstreifens“, Zurych 1927 i „Probleme der Statik technisch wichtiger orthotroper Platten“, — Warszawa 1929, rozwijając i udoskonalając swe wyniki z 1921 r.

W pracy „Studia nad belkami o przekroju T“ nawiązuje *prof. Huber*, przy okazji rozpatrywania sta-

teczności środka belki teowej, do teorii płyt ortotropowych i podaje szereg rozwiązań zagadnienia wybożenia płyty ortotropowej prostokątnej.

Pionierskie prace *prof. Hubera* w teorii płyt doczekały się wielkiego i zasłużonego uznania w świecie naukowym. Rdzeń teorii płyt ortotropowych wszedł już w szereg znanych monografii teorii płyt (*A. Naudai — Elastische Platten 1925 S. Timoszenko — Theory of plates and shells — 1940, G. G. Lechnickij — Anizotropnyje płastinki 1947, K. Girkmann — Flächen-tragwerke — 1948*), a do wyników prac *prof. Hubera* nawiązywano w wielu pracach zagranicznych (*C. Lechnickij, A. Lurje, S. Bergman, Iguchi, K. Wolff* itd.) i polskich (*W. Olszak, W. Nowacki*).

Dzięki pracom *prof. M. T. Hubera* wzrosło zainteresowanie układami anizotropowymi. Dziś można zaobserwować tendencje<sup>1)</sup> do uogólnienia teorii sprężystości na ciała anizotropowe niejednorodne (tzn. o przestrzennie zmiennej wartości cech sprężystych) i jednorodne.

*Prof. dr W. Nowacki*

### STATECZNOŚĆ UKŁADÓW MECHANICZNYCH

Dziedziną stateczności układów mechanicznych zajmował się *prof. M. T. Huber* od czasu ogłoszenia pierwszych prac o stateczności ustrojów sprężystych przez *S. Timoszenkę*; zagadnieniom tym poświęcił cały czas pobytu w niewoli rosyjskiej w latach 1915—1917. W tym właśnie okresie powstała jego praca posiadająca kapitalne znaczenie dla teorii stateczności układów mechanicznych. Została ona wydana dopiero po wojnie, w roku 1923, w tomie II. Sprawozdań Warszawskiego Towarzystwa Politechnicznego, p. t. „Studia nad belkami o przekroju I (dwuteowym)“.

W pracy tej *prof. Huber* poświęca najwięcej miejsca zagadnieniom stateczności sprężystej, płyt o stałej grubości i kształcie prostokątnym, posługując się metodą energetyczną *Bryana-Timoszenki*, w całym szeregu przypadków zamocowania brzegów i różnych sił działających wzdłuż tych brzegów w środkowej płaszczyźnie płyty. Należy przy tym dodać, że w pracy tej autor po raz pierwszy w literaturze światowej zajmuje się zagadnieniem stateczności płyt prostokątnych ortotropowych, wobec tego, że pas dwuteownika, wzdłużenie ściśnięty powyżej granicy plastyczności, staje się ortotropowy. Dla inżyniera praca ta staje się o tyle cenna, że zawiera jeszcze szereg tablic liczbowych i wykresów, z których niejedna zajęła autorowi bardzo dużo czasu; np. tablica liczbową dla płyt zginanych i ściskanych równocześnie, zabrała autorowi przeszło 200 godzin czasu. Tablice te obejmują rozwiązania wszystkich przypadków, ważniejszych dla praktyki konstrukcyjnej.

Dla wyznaczenia naprężeń krytycznych posługuje się autor bardzo prostymi założeniami przybliżonymi, które nie zawsze nawet spełniają z całą dokładnością warunki brzegowe. Na przykład, przy rozważaniu płyty prostokątnej ścinanej, podpartej na całym obwodzie, wprowadza założenie uproszczone co do postaci płyty

odkształconej, przy którym otrzymuje się niewielkie momenty utwierdzające sprężystości dwa brzegi obwodu. Przez to naprężenia krytyczne wypadają nieco podwyższone; rozwiązanie to może jednak mieć bezpośrednie zastosowanie w praktyce, wobec tego, że niemożliwym jest zrealizowanie w praktyce doskonałego podparcia płyt bez niewielkich choćby momentów utwierdzających sprężystości jej brzegi. Oczywiście nie mówię tu o precyzyjnych badaniach prowadzonych w laboratoriach, lecz o praktycznie wykonywanych konstrukcjach, w których zwykle przyjmuje się płytę jako podpartą, mimo że na obwodzie niewątpliwie powstają niewielkie sprężystości utwierdzające momenty.

W przypadku obliczenia kątowników stosuje autor założenia przybliżone dla warunków brzegowych na krawędzi swobodnej płyty, wobec czego otrzymuje znacznie prostsze rozwiązanie, niż np. *Timoszenko*, stosujący warunek ścisły

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0: \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (2 - \mu) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} = 0.$$

Z warunków tych otrzymuje się nad wyraz skomplikowane rozwiązanie, podczas gdy rozwiązanie *Hubera*, otrzymane z uproszczonych warunków brzegowych

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} = 0,$$

dało się wyrazić w zamkniętej postaci, mimo iż różni się tylko bardzo nieznacznie od ścisłego i jest nader proste w użyciu praktycznym. Najciekawszą jednak częścią tej pracy są rozważania nad statecznością płyt ortotropowych, przeznaczone dla przypadków, gdy naprężenia podłużne w kształtowniku przekroczyły granicę plastyczności.

W dobie dzisiejszej, po upływie 30 lat, wzory te nabierają coraz to większej aktualności w związku ze zwiększonym zainteresowaniem płytami ortotropowymi w budownictwie i z zagadnieniami stateczności układów w stanie plastycznym. W późniejszych latach zwracał również *prof. Huber* uwagę na stateczność płyt ortotropowych w związku z zagadnieniem blach gęsto uźebrowanych oraz blach falistych, jak również i pokryć sklejkowych, które to zagadnienia wysunęły się na pierwszy plan, jak tego dowodzą Jego listy do wytwórni lotniczych prace w „Bauingenieur“ (r. 1923, str. 354) i „II International Congress of Applied Mechanics, Zürich, 1926“. W ten sposób *Huber* rozciąga stworzoną przez siebie teorię płyt ortotropowych na zagadnienia stateczności takich płyt, jak np. gęsto żebrowane i faliste, otrzymując wyniki nader ważne dla różnych dziedzin techniki. Np. rozwój konstrukcji płatowców metalowych uczynił te prace kapitalnymi dla lotnictwa i nadał im w pełni zasłużony rozgłos.

W 1930 r. *prof. Huber* zajmuje się statecznością sprężystą prętów, w wyniku czego ogłasza pracę p. t. „Obciążenie krytyczne prętów osiowo ściskanych o przekroju nieciągłe zmiennym“, wchodzącą w skład Wydawnictwa I.B.T.L. p. t. „Wybrane zagadnienia wytrzymałościowe w konstrukcjach lotniczych“, Warszawa, 1930. W pracy tej zajmuje się wybożeniem prętów złożonych z dwóch lub trzech części o przekrojach różnych, lecz stałych na całym odcinku długości, podając ściśle rozwiązania tego za-

<sup>1)</sup> M. Frydman — Matematičeskaja teorija uprugosti anizotropnych sred. — Prikladnaja Matematika i Mieczanika, tom XIV, 1950.



więtego zagadnienia. Poza tym w pracy tej zostały podane wskaźniki porównawcze dla różnych przekrojów prętów, wzdluznie ściskanych. Autor poddaje rzeczowej krytyce wskaźniki spotykane w literaturze i wysuwa własny projekt wskaźnika, nadającego się lepiej do porównywania ciężarów prętów wybacanych o różnych profilach i wykonanych z różnych materiałów.

Następnie ogłasza *prof. Huber* pracę wielkiej wagi, traktującą o głębokiej analogii zachodzącej między zjawiskami niestateczności przy obciążeniach stałych i zjawiskami drgań, oraz między stanami równowagi prętów lekko zakrzywionych i drganiami wymuszonymi układów sprężystych. Pracę tę ogłasza w Sprawozdaniach Polskiej Akademii Umiejętności, Kraków, 1934, pt. „O analogii pewnych zagadnień równowagi prętów sprężystych słabo zakrzywionych z prostym przypadkiem drgań wymuszonych“.

Osobno wypada wspomnieć o pracach *prof. Hubera* traktujących o stateczności torów kolejowych. Zagadnieniem tym zajął się w roku 1935, w związku z III Międzynarodowym Zjazdem Szynowym (III Intern. Schiententagung) w Budapeszcie, na który przesłał pracę traktującą o wyboczeniu cieplnym torów kolejowych w płaszczyznach pionowej i poziomej. Uwidocznili w niej przy pomocy rachunków, popartych pomiarami laboratoryjnymi, wpływ elastyczności podłoża, sprzyjający wyboczeniu oraz wpływ tarcia między torem i podłożem, przeszkadzający wyboczeniu, co umożliwiło zbadanie przyczyn wywołujących wybrzuszenie trwałe torów kolejowych i posunęło daleko naprzód wysiłki zmierzające do zwalczania tego zjawiska. Następnie w referacie wygłoszonym na następnym IV Zjeździe Szynowym w Düsseldorfie w roku 1938 wygłosił referat o zjawiskach występujących przy ogrzewaniu rzeczywistym (nierównomiernym) toru oraz o wpływie tarcia i przesunięć toru względem podłoża, podając następnie nową, doskonalszą teorię stateczności torów, zgodną z doświadczeniem. W języku polskim zagadnienie to zostało naświetlone wyczerpująco w artykułach zamieszczonych w czasopiśmie polskim: „Inżynier Kolejowy“ 1936 r., „Przeгляд Techniczny“ 1936 r. i „Czasopismo Techniczne“ 1937 r. W ostatnich artykułach wprowadza Autor do teorii stateczności torów kolejowych metodę statycznych bilansów energetycznych z uwzględnieniem pracy tarcia. W języku niemieckim prace te zostały streszczone w artykułach zamieszczonych w „Gleistechnik und Fahrbahnbau“ 1935 i 1938 r.

*Prof. dr J. Naleszkiewicz*

## WYTRZYMAŁOŚĆ KONSTRUKCJI LOTNICZYCH

Zainteresowanie *prof. M. T. Hubera* lotnictwem datowało się od pierwszych lat rozwoju tej gałęzi techniki. Już w roku akademickim 1910/11 *prof. Huber* wygłosił we Lwowie szereg wykładów dotyczących podstaw teoretycznych lotnictwa, popularyzując tę nową podówczas dziedzinę. Pragnąc przyczynić się jednocześnie do wykształcenia kadr przyszłych inżynierów lotników *prof. Huber* był opiekunem Lwowskiego Związku Awiacyjnego studentów.

Po pierwszej wojnie światowej, jako *prof. Politechniki Warszawskiej*, *prof. Huber* prowadził wykłady

Statyki lotniczej na oddziale lotniczym Wydziału Mechanicznego tej politechniki. Wykłady te, dzięki właściwej *prof. Huberowi* ścisłości w przedstawianiu zagadnień wytrzymałościowych, przy jednoczesnym przystępnym i jasnym ich tłumaczeniu, przyczyniły się w dużej mierze do wykształcenia szeregu wybitnych inżynierów teoretyków i inżynierów praktyków, pracujących dla potrzeb polskiego przemysłu lotniczego. Skrypt wydany według tych wykładów w r. 1930 był jedynym polskim podręcznikiem ze statyki lotniczej przed drugą wojną światową. Jednocześnie *prof. Huber* pozostawał w stałej łączności z przemysłem lotniczym; jako doradca Państwowych Zakładów Lotniczych musiał często służyć pomocą przy rozwiązywaniu trudniejszych zagadnień wytrzymałościowych spotykanych w praktyce.

Głównym jednak wkładem *prof. M. T. Hubera* do nauki o wytrzymałości konstrukcji lotniczych były jego prace ogłaszane w prasie technicznej. Oto najważniejsze z nich.

1. „O pewnym wypadku zgięcia belki podłużnie ściskanej, waznym w statyce lotniczej“. *Przeгляд Techniczny*, 1930 r. W pracy tej Autor przedstawił teorię belek ciągłych, poddanych obciążeniu poprzecznemu i jednocześnie ściskanych. Belki tego typu występują np: jako podłużnice (dźwigary) skrzydeł dwupłatów. *Prof. Huber* rozpatrzył ogólny przypadek, w którym punkty podparcia belki nie leżą na jednej linii prostej. Do prac tej zostały dołączone tablice funkcji występujących w równaniu służącym do określenia momentów podporowych. Równanie to stanowi uogólnienie znanego „równania trzech momentów“ dla przypadku belki ściskanej.

2. „O wytrzymałości podłużnic w skrzydłach wspornikowych jednopłatów“. *Przeгляд Techniczny*, 1930 r.

Treścią tej pracy jest sposób ujęcia rachunkowego współpracy dźwigarów skrzydłowych, połączonych ze sobą szeregiem żeberek. Dla rozwiązania tego zagadnienia *prof. Huber* posłużył się metodą *Castigliano*, która według jego słów „prowadzi najprościej do celu w rozwiązywaniu zagadnień statycznie niewyznaczalnych“. W pracy tej rozpatrzono zarówno przypadek, gdy można pominąć sztywność skręcania żeberek, jak też i przypadek, w którym sztywność tę należy uwzględnić. Dla obydwóch tych przypadków wyprowadził wzory, z których można korzystać przy praktycznych obliczeniach.

3. „Zginanie belek o przekrojach wiotkich“. Sprawozdanie IBTL, 1930 r. Praca ta dotyczy zginania cienkościennych belek w przypadku, gdy odkształceń nie można uważać jako bardzo małych w porównaniu z wymiarami belek. Należy wówczas uwzględnić dodatkowe naprężenia, pomijane w elementarnej teorii zginania. *Prof. Huber* podał wyprowadzenie przybliżonych wzorów odnoszących się do tego rodzaju zginania i rozpatrzył szczegółowo szereg szczególnych kształtów przekroju poprzecznego belki, a mianowicie: przekrój skrzynkowy, przekrój dwuteowy oraz przekrój rurowy okrągły.

4. Obciążenie krytyczne prętów ściskanych o przekroju nieciągłym i zmiennym“. Sprawozdania IBTL, 1930 r. Autor wyprowadził zależności, z jakich można korzystać przy obliczaniu sił krytycznych wzdluznie ściskających pręty o przekrojach zmiennych skokami. Rozpatrzono szczegółowiej przypadki dwóch, trzech i czterech przedziałów różnej sztywności. Dla pierwszego z nich dołączono tablicę liczbowych wartości współczynnika służącego do określenia siły krytycznej. W końcowej części tej pracy został omówiony stosunek teorii wyboczenia do wytrzymałościowych obliczeń prętów wzdluznie ściskanych.

Przedstawiono tutaj wyniki doświadczeń nad ściskaniem prętami wykonanymi z różnych materiałów, oraz podano wzory, z których należy korzystać w praktyce przy obliczaniu tych prętów.

Prace wymienione w punktach 1 do 4 zostały wydane łącznie nakładem IBTL w 1930 r. w postaci zbioru p.t. „Wybrane zagadnienia wytrzymałościowe w konstrukcjach lotniczych“.

5. „Wymiarowanie prętów osiowo ściskanych o stałym przekroju w konstrukcjach lekkich“. Sprawozdanie IBTL, 1933 r. W pracy tej autor omówił sposób obliczania prętów ściskanych na podstawie wykresu dającego zależność między naprężeniem niebezpiecznym i „cechą“ pręta wzdłużnie ściskanego.  $C = \frac{\sqrt{P_w}}{l}$

gdzie:  $P_w$  — dana końcowa siła ściskająca,  $l$  — długość pręta.

W dalszym ciągu artykułu prof. Huber wprowadza pojęcie materiałowej cechy lekkości i podaje kryteria służące do oceny różnego rodzaju materiałów używanych w lotnictwie ze względu na lekkość wykonanych z nich prętów ściskanych i to zarówno o przekroju pełnym, jak i pustym cienkościennym.

6. Rola sztywności skrętnej w dźwigarach kratowych lekkich. „Przeгляд Techniczny, 1933.

W pracy tej prof. Huber rozpatrzył często spotykany w kratownicach lotniczych przypadek podparcia ściskanego pręta innym prętem pomocniczym w celu zwiększenia wartości siły krytycznej. Biorąc pod uwagę rzeczywiste warunki zamocowania końców obydwóch tych prętów przy wprowadzeniu równań służących do określenia siły krytycznej, autor uwzględnił wpływ sztywności skręcania zarówno głównego, jak i pomocniczego pręta. Układając wyżej wspomniane równania prof. Huber posługiwał się metodą energetyczną (Bryana i Timoszenki). Dla szczególnego przypadku pręta podpartego w środku swej długości rozpatrzono pierwsze i drugie przybliżenie, uwzględniające tylko początkowe wyrazy szeregu odpowiedniego rozwiązania ogólnego, oraz przeprowadzono dyskusję otrzymanych wyników.

Poza jego własnymi oryginalnymi pracami, z inicjatywy i pod kierownictwem prof. Hubera powstał szereg prac teoretycznych i doświadczalnych wykonanych przez jego najbliższych współpracowników Politechniki Warszawskiej, dr Z. Gubrynowicza, inż. J. Waltera i innych.

Dzięki swym olbrzymim wiadomościom i autorytetowi, który posiadał, prof. Huber nadawał poza tym ogólny kierunek rozwojowi całej polskiej pracy naukowej w dziedzinie wytrzymałości materiałów zastosowanej dla lotnictwa.

Prof. R. Kurowski i dr inż. I. Leyko

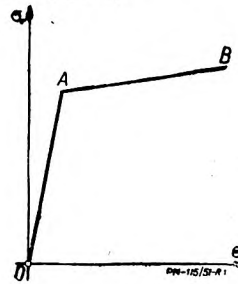
## UZBROJENIE

Pierwsze zagadnienie z dziedziny uzbrojenia, którym zajął się prof. Huber, wiązało się z obliczeniami samowzmacnionych luf działowych.

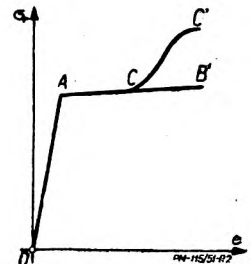
Metodę samowzmacniania luf działowych, znaną już od dawna i zastosowaną (w postaci przeciskania trzpienia stożkowych) przez Uchatiusza do brązowych luf dział polowych w 1875 r., opracował na początku obecnego stulecia M. Malaval, przy czym przeciskanie trzpienia zastąpiono ciśnieniem wywieranym przez płyn na powierzchnię wewnętrzną rury (lufy). Znalazła ona szerokie zastosowanie w praktyce uzbrojeniowej. Teorię obliczania lufy działowej samowzmacnionej oparł Malaval na hipotezie największych na-

przezeń stycznych przy założeniu uproszczonego wykresu rozciągania (rys. 1).

Na tle właściwego postawienia tego zagadnienia powstała praca prof. Hubera „Z teorii samowzmacnienia luf działowych“. Na wstępie rozważa on zachowanie się materiału lufy przy osiągnięciu granicy plastyczności, stwierdzając, iż odkształcenie plastyczne podczas samowzmacnienia nigdy nie przekroczy punktu C rzeczywistego wykresu rozciągania (rys. 2). Pozwala to przyjąć za podstawę obliczeń poziomy odcinek AC, zamiast przyjętego przez Malavala pochyłego AB (rys. 1).



Rys. 1.



Rys. 2.

Następnie prof. Huber poddał analizie dwa główne przypadki obciążenia lufy, ciśnieniem wewnętrznym jako rury grubościennej a) zamkniętej i b) otwartej.

Przypadek a) odpowiada działaniu gazów prochowych w chwili strzału zanim pocisk opuści lufę, albo działaniu ciśnienia wytworzonego przy pomocy prasy hydraulicznej przy samowzmacnianiu lufy.

Przypadek b) zachodzi (w przybliżeniu) przy samowzmacnianiu lufy za pomocą trzpienia rozpychającego.

Istnieją trzy odrębne stany odkształcenia materiału: sprężysty, plastyczny w połączeniu ze sprężystym (dla lufy w stanie częściowo odkształcenia plastycznego), wreszcie — jako szczególny przypadek — stan całkowicie plastyczny odkształcenia materiału.

Dla stanu odkształcenia sprężystego, w oparciu się o równanie Lamego, podano wzory na naprężenia: promieniowe  $\sigma_r$ , obwodowe  $\sigma_t$  oraz wzdłużne  $\sigma_l$ . Dały one możliwość wyznaczenia naprężeń sprowadzonych  $\sigma_{red}$ . Podstawiając zamiast  $\sigma_{red}$  — wartość  $K$  — naprężenia na granicy plastyczności, określonego na podstawie próby na rozerwanie pręta próbnego z materiału rury, uzyskano wzory dla ciśnienia krytycznego  $p_{kr}$ . Tak nazwano wartość ciśnienia, odpowiadającego zjawieniu się pierwszych odkształceń plastycznych na wewnętrznej powierzchni lufy lub ogólnie rury.

W przypadku stanu odkształceń plastycznych materiału lufy prof. Huber wychodzi ze znanego ogólnego równania różniczkowego równowagi wewnętrznej, przy przyjęciu założeń, iż  $\sigma_r$  i  $\sigma_t$  — są naprężeniami głównymi oraz nie ma sił masowych.

Wtedy zagadnienie sprowadza się do wyznaczenia siedmiu niewiadomych. Brakujące sześć warunków prof. Huber uzyskuje ze związków pomiędzy naprężeniami a odkształceniami i po sprawdzeniu z wynikami doświadczeń pomiarów stwierdza, iż:

1) niewątpliwie lepszą zgodność z doświadczeniem wykazują wzory oparte na hipotezie energii postaciowej, niż wzory wypływające z hipotezy Coulomba;

2) nowoczesna teoria odkształceń plastycznych, mimo uproszczonych założeń, prowadzi w danym zagadnieniu do wzorów wystarczająco dokładnych dla praktyki;

3) należy oczekiwać, że wzory wyprowadzone na podstawie hipotezy energii odkształcenia postaciowego oddają dość wiernie stan napięcia i wyężenia materiału rury, która została poddana samowzmocnieniu.

W pracy „O wielkości naprężeń własnych pozostałych w skorupach pocisków“ *prof. Huber* poruszył ważne, a wciąż jeszcze niedostatecznie zbadane zagadnienie naprężeń własnych, istniejących w skorupie pocisku, wyprowadzając wzór określający wielkość tych naprężeń. Praca ta jest niewątpliwie nader wartościowym przyczynkiem dla badaczy zajmujących się zagadnieniami naprężeń własnych.

Zagadnienie zachowania się pocisku w lufie i samej lufy broni palnej podczas strzału nie jest jeszcze do dziś należycie zbadane. Trudności, które napotykamy, wynikają ze specyficznych warunków strzału, będącego zjawiskiem przebiegającym w drobnym ułamku sekundy, przy równoczesnym bardzo znacznym wzroście temperatury (do  $2000 \div 3000^{\circ}\text{C}$ ) oraz ciśnienia (do  $3000 \div 4000 \text{ kG/cm}^2$ ). Szybkość nabywana przez pocisk jest przy tym bardzo znaczna, dochodząc w nowoczesnej broni do  $1500 \text{ m/sek}$ ; występują przy tym zjawiska drugorzędne lub wtórne jeszcze bardziej wnikające zagadnienie wytrzymałościowe.

Na tle tych trudności powstała w 1936 r. praca *prof. Hubera* „Teoria kołowo-symetrycznych odkształceń sprężystych rur grubościennych w zastosowaniu do zagadnień wytrzymałościowych luf działowych“. W pracy tej wyprowadza *prof. Huber* ogólne równanie różniczkowe, pozwalające wyznaczać naprężenie wzdłużne i obwodowe na podstawie naprężenia promieniowego, i pewnej funkcji promienia rozważanej warstwy. Równanie to określa z dużym przybliżeniem odkształcenie sprężyste walcowej rury grubościennej przy dowolnym kołowo-symetrycznym obciążeniu. Wyznaczone zostały również zachodzące w niej naprężenia styczne i siła poprzeczna.

Równanie różniczkowe tej postaci stwarza duże trudności przy jego rozwiązaniu. Aby uprościć *prof. Huber* pominał w równaniu dwie całki o znaczeniu drugorzędnym i w ten sposób sprowadził równanie do tej samej postaci co równanie poprzecznie obciążonej belki na sprężystym podłożu. Na tej podstawie wyprowadził wzory dla obliczania naprężeń występujących w lufie bardzo długiej o stałej grubości ściany, obciążonej tylko w przekroju środkowym naciskiem

wewnętrzny pierścienia pocisku. Następnie *prof. Huber* rozpatruje odkształcenia lufy wywołane tarcie pierścienia wiodącego pocisku i wreszcie skupia uwagę na kilku praktycznie ważnych położeniach pierścienia wiodącego w lufie.

W dalszych częściach pracy *prof. Huber* ujął teoretyczną zależność rozpychającego działania pocisku na lufę od zacisku jego pierścienia wiodącego oraz od podatności lufy i skorupy pocisku. Wreszcie *prof. Huber* zbadał wpływ kołowo-symetrycznych drgań rury i uzasadnił wystarczającą dokładność statycznej teorii odkształceń luf działowych podczas strzału.

Jakkolwiek ilość prac *prof. Hubera* z dziedziny uzbrojenia jest niewielka, wniosły one jednak zupełnie nowe oświetlenie poruszonych tematów i stanowią niewątpliwie punkt zwrotny w sposobie ujęcia tych zagadnień.

*Inż.-mech. St. Żukowski*

### SŁOWNICTWO TECHNICZNE

*Prof. Huber* był głębokim znawcą i miłośnikiem języka polskiego. Dzieła Jego charakteryzuje nienaganna poprawność i elegancja stylu, ścisłość wysłowienia praw i postawa twórcza w zakresie słownictwa naukowego i technicznego. Obok wielu artykułów i notatek z zakresu słownictwa technicznego *prof. Huber* opracował na prośbę Komisji Słownictwa Technicznego PKN słownictwo z mechaniki ogólnej i nauki o wytrzymałości materiałów, zwanej przez niego stereomechaniką techniczną. Bogaty ten materiał, obejmujący około 1200 nazw wraz z definicjami i odpowiednikami w językach obcych, będzie ogłoszony w postaci słowników podstawowych, stanowiąc bezcenną pomoc dla osób pracujących na polu piśmiennictwa technicznego.

*Inż.-mech. A. T. Troskoleński*

Oto krótki przegląd najważniejszych osiągnięć *M. T. Hubera* na polu Nauki polskiej i światowej. Należy żywić niepłonną nadzieję, że całość celniejszych prac tego Wielkiego Uczzonego zostanie w niedalekiej przyszłości wydana jako jego dzieła zbiorowe. Będzie to nie tylko najpiękniejszym hołdem oddanym Zmarłemu, ale jednocześnie pomocą w pracy licznych pracowników Nauki i Techniki oraz bodźcem dla nich w ich wysiłku twórczym. Wydanie tych prac sprawi, iż słowa głoszące, że *prof. M. T. Huber* nie umarł, lecz żyje nadal wśród nas w swych dziełach, tak bliskich nam w naszej pracy codziennej, — nabiorą szczególniejszego i głębokiego znaczenia.

„ Być gruntownie uczonym nie jest to jedno, co wiele rzeczy pamiętać: ale jest to zgłębić je rozumem, obejrzeć skrzętną uwagą ze wszystkich stron, umieć ocenić ich stopień pewności lub wątpliwości, uszykować sobie porządne wyobrażenia i myśli i widzieć całą ośnowę nauki jak jedno pasmo prawd i początków wywijających się jedno z drugich“.

*(Jan Śniadecki)*

# Teorie i hipotezy wytrzymałościowe w zastosowaniu praktycznym

Skrót referatu wygłoszonego na Konferencji Wytrzymałościowej SIMP

Prof. dr inż. ZENOBIUSZ KLĘBOWSKI

## 1. Wytrzymałość elementu przy złożonym obciążeniu

Oczywiste jest, że wytrzymałość sznura określa siła, która potrafi go rozerwać, a wytrzymałość krótkiego słupa określa siła zgniatająca słup.

W miarę rozwoju techniki, pociągającego za sobą stosowanie, elementów konstrukcyjnych, poddanych działaniu obciążeń złożonych, stało się konieczne ustalenie udziału poszczególnych składowych obciążeń w możliwości zniszczenia tych elementów. Wyłoniło się wówczas pytanie, która spośród różnych wielkości charakteryzujących stan napięcia materiału elementu wywołany obciążeniem złożonym rozstrzyga o bezpieczeństwie elementu?

Stan materiału elementu w danym punkcie, wywołany obciążeniem, jest scharakteryzowany przede wszystkim całokształtem naprężeń panujących w różnych przekrojach przechodzących przez dany punkt. Przy obciążeniu bardziej złożonym nie wiadomo z góry, jaka funkcja naprężeń pochodzących od różnych składowych obciążeń decyduje o groźbie osiągnięcia przez materiał warunków niebezpiecznych dla całości elementu. W każdym przypadku należałoby to ustalić doświadczalnie.

Jak wiadomo, naprężenie  $\sigma_1 = \frac{pD}{2g}$  występujące w przekrojach wzdłużnych płaszcz kotłowego jest dwa razy większe od naprężenia  $\sigma_2 = \frac{pD}{4g}$  występującego w jego przekrojach poprzecznych.

Jaką funkcję obydwu tych naprężeń należy wziąć pod uwagę w celu określenia wartości niebezpiecznego ciśnienia  $p$ ?

Dotychczas w obliczeniach płaszcz walczaka kotłowego brano pod uwagę jedynie większe z naprężeń głównych  $\sigma_1$  i wciąż jeszcze tak się przeważnie postępuje.

Tymczasem przy obecnym stanie wiedzy okazuje się, że obliczany w ten sposób płaszcz walczaka kotłowego jest o 15,5% wytrzymałszy niż tego pragnął konstruktor.

Toteż konstruktor, zamiast obliczać płaszcz walczaka wg wzoru  $\frac{pD}{2g} = k$ , powinien go obliczać wzorem

$\frac{pD}{2,31 \cdot g} = k$ . Słuszność ostatniego wzoru można stwierdzić doświadczalnie.

Ta zbędna nadwyżka (15,5%) odtwarza wpływ drugiego, mniejszego naprężenia  $\sigma_2 = \frac{pD}{4g}$  na wytrzymałość płaszcz; obliczając go wzorem  $\frac{pD}{2g} = k$  wpływ ten pominęliśmy.

Można również doświadczalnie zbadać groźbę osiągnięcia niebezpiecznego stanu materiału elementu przy bardziej złożonym obciążeniu, np. w przypadku rury poddanej jednoczesnemu działaniu wewnętrznego ciśnienia, oraz jej skręcania i zginania. Jednak ilość przypadków charakteryzowanych różnymi stosunkami poszczególnych składowych obciążeń, jest niezmiernie wielka; nie można więc ich wszystkich zbadać doświadczalnie. W związku z tym zachodzi potrzeba uogólnienia wyników, nielicznych stosunkowo badań doświadczalnych, na znaczną ilość przypadków występujących w zagadnieniach technicznych. Na tym właśnie tle powstało zagadnienie wyteżenia. Jest ono podstawowym zagadnieniem w obliczeniach wytrzymałościowych w przypadku stanu materiału, wywołanego obciążeniem złożonym.

## 2. Zagadnienie wyteżenia i związane z nim pojęcia

Pomostem łączącym teorię sprężystości i teorię wytrzymałości w celu wysnucia z nich praktycznych wniosków wytrzymałościowych przy obciążeniach złożonych — powinna być teoria wyteżenia.

Wyteżenie jest to stan fizyczny ciała (elementu konstrukcyjnego) warunkujący stopień narażenia jego materiału na osiągnięcie niebezpiecznej granicy.

W interpretacji matematycznej wyteżenie przedstawiamy w postaci odpowiednio dobranej funkcji  $W$ , składowych stanu napięcia, lub też funkcji  $V$  składowych stanu odkształcenia. Funkcja ta wówczas jedynie spełnia swoje zadanie, gdy pozostaje w zgodzie z wynikami badań doświadczalnych dla najrozmaitszych stanów napięcia. Określenie odpowiedniej funkcji stanu napięcia lub stanu odkształcenia jest zadaniem teorii wyteżenia.

W dotychczasowych badaniach nad wyteżeniem nie występuje wyraźnie rozumowe uzasadnienie wyników na podstawie przesłanek nie ulegających wątpliwości. To też przyjmuje się zwyczaj, że dotychczasowe osiągnięcia w dziedzinie wyteżenia mają charakter hipotezy.

Obecnie przyjmuje się jako granicę niebezpieczną dla metali elastoplastycznych, jak stal walcowana lub lana, miedź, nikiel, duraluminium, granicę plastyczności  $Q$ . Dla materiałów kruchych natomiast, nie ujawniających wyraźnej granicy plastyczności przy próbie rozciągania, jak hartowana stal sprężynowa, żeliwo, beton, kamienie sztuczne i naturalne, jako granicę niebezpieczną przyjmuje się doraźną granicę wytrzymałości przy rozciąganiu  $R_r$ , lub doraźną granicę wytrzymałości przy ściskaniu  $R_c$ .

Przez wytrzymałość elementu konstrukcyjnego rozumiemy jego zdolność opierania się działaniu napięć dążących do spowodowania trwałych zmian, a więc znacznych trwałych odkształceń w materiałach elastoplastycznych lub pęknięć w materiałach kruchych.

Wyteżenie materiału w ogólnym stanie napięcia porównujemy z wyteżeniem tegoż materiału przy zwykłym rozciąganiu. Połączenie znakiem równości  $W$ , odpowiadającej ogólnemu stanowi napięcia, z funkcją  $W_0$ , odpowiadającą jednoosiowemu stanowi napięcia, czyli zwykłemu rozciąganiu na granicy niebezpiecznej, daje *warunek wytrzymałościowy*.

Warunek wytrzymałościowy przedstawia się jednak w taki sposób, aby z jednej strony znaku równości, a mianowicie po stronie funkcji  $W_0$ , pozostała tylko granica niebezpieczna  $K$  przy zwykłym rozciąganiu. Wówczas wyrażenie znajdujące się po drugiej stronie równości nazywa się *naprężeniem zastępczym*.

Jeżeli funkcja  $W$  jest trafnie dobrana, wówczas materiał w ogólnym stanie napięcia znajdzie się w stanie niebezpiecznym (charakteryzowanym odkształceniem trwałym w materiale plastycznym lub pęknięciem w materiale kruchym), gdy wartość funkcji wzrastając osiągnie granicę  $K$ . Stosunek wartości naprężenia zastępczego do wartości niebezpiecznej granicy przy rozciąganiu jest *miarą wyteżenia*.

W zastosowaniach, zamiast niebezpiecznej granicy  $K$ , przyjmujemy zwykle dopuszczalne naprężenie  $k = \frac{K}{n}$  jako  $n$ -tą część niebezpiecznej granicy. Zmieniony w ten sposób warunek wytrzymałościowy jest *obliczeniowym wzorem wytrzymałościowym*, a liczba  $n$  jest  *pewnością lub współczynnikiem bezpieczeństwa*.

Znalezieniem funkcji  $W$ , odpowiadającej warunkowi wytrzymałościowemu lub naprężeniu zastępczemu w przypadku ogólnego stanu napięcia, zajmują się od początku XVII wieku hipotezy wyteżenia, nazywane czasem teoriami wyteżenia.

### 3. Hipotezy wyteżenia

Poniżej omówimy 6 najbardziej znanych hipotez wyteżenia, a właściwie 6 grup hipotez; każda z grup może kojarzyć w sobie parę hipotez pokrewnych.

1) Hipoteza największego naprężenia rozciągającego (G. Galileusz — 1638 r., G. W. Leibnitz — 1684 r.) lub ogólniejsza hipoteza największego naprężenia normalnego (W. J. Rankine — 1856 r., A. Clebsch — 1864 r.):

$$\sigma_1 = K \text{ lub w zastosowaniu } \sigma_1 \leq k = K : n. \quad [1]$$

2) Hipoteza największego odkształcenia wzdłużnego (B. de Saint Venant — 1837 r., J. V. Poncelet — 1839 r.):

$$\frac{1}{E} \left[ \sigma_1 - \mu (\sigma_2 + \sigma_3) \right] = \frac{K}{E} \text{ lub } \sigma_1 - \mu (\sigma_2 + \sigma_3) \leq k_r. \quad [2]$$

3) Hipoteza największego naprężenia tnącego, względnie hipoteza największego odkształcenia postaciowego. Dla materiałów izotropowych obie te hipotezy są równoznaczne (C. A. Columb — 1776 r., J. Guest — 1900 r., O. Mohr — 1900 r.).

$$0,5 (\sigma_1 - \sigma_2) = 0,5 K \text{ lub } \sigma_1 - \sigma_3 \leq k_r. \quad [3]$$

4) Hipoteza energii (całkowitej) odkształcenia sprężystego (E. Boltrami — 1885 r., M. T. Huber — 1903 r.).

We wzorach poniższych użyto dla naprężeń górnych oznaczenia  $\sigma_1, \sigma_2$  i  $\sigma_3$ , przy czym  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ , oraz przyjęto uproszczoną pisownię

$$\tau_x = \tau_{yz} = \tau_{zy}; \tau_y = \tau_{zx} = \tau_{xz}; \tau_z = \tau_{xy} = \tau_{yx}.$$

$$\left. \begin{aligned} & \frac{1}{E} \left[ \frac{1}{2} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)^2 + (1 + \mu) (\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x) \right] = \frac{K^2}{2E} \\ & \text{lub } \sqrt{(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)^2 + 2(1 + \mu) (\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x)} \leq k_r \end{aligned} \right\} [4]$$

5) Hipoteza energii odkształcenia postaciowego (M. T. Huber — 1904 r., R. v. Mises — 1915 r., M. Hencky — 1924 r., oznacza się H. M. H.)

$$\left. \begin{aligned} & \frac{1}{6G} \left[ \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x - \sigma_x \sigma_y + 3(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2) \right] = \\ & = \frac{K^2}{6G} \text{ lub } \\ & \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x - \sigma_x \sigma_y + 3(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2)} \leq k_r \end{aligned} \right\} [5]$$

Ostatnią zależność można napisać w oparciu o naprężenia główne

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_2 \sigma_3 - \sigma_3 \sigma_1 - \sigma_1 \sigma_2} \leq k_r \quad [5a]$$

Wysoki stopień trafności tej hipotezy został doświadczalnie stwierdzony w odniesieniu do metali elastoplastycznych.

6) Hipoteza niezmienników (W. Burzyński — 1928 r. i głównie 1929 r.).

Wartości trzech naprężeń głównych  $\sigma_1, \sigma_2$  i  $\sigma_3$ , wyznacza się, wychodząc ze składowych ogólnych stanu napięcia, jako pierwiastki równania

$$\sigma^3 - 3s \sigma^2 + 3(s^2 - 0,5 t^2) \sigma - u^3 = 0,$$

w którym występują trzy niezmienniki współrzędnych

$$\left. \begin{aligned} s &= \frac{1}{3} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \\ t &= \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_y \sigma_z - \sigma_z \sigma_x - \sigma_x \sigma_y + 3(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2)} \\ u &= \sqrt[3]{\sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2 \tau_x \tau_y \tau_z - \sigma_x \tau_x^2 - \sigma_y \tau_y^2 - \sigma_z \tau_z^2} \end{aligned} \right\} [6]$$

Według hipotezy niezmienników o wyteżeniu materiałów makroskopowo-izotropowych<sup>2)</sup> rozstrzyga funkcja  $F(s, t, u) = 0$ ; dla poszczególnych materiałów funkcję tę należy znaleźć doświadczalnie.

W uproszczonej postaci swej hipotezy Burzyński zadawała się dwoma niezmiennikami  $s$  i  $t$ , przyjmując, że w stanach krytycznych (niebezpiecznych) niezmiennik  $s$  jest jednoznaczną funkcją niezmiennika  $t$ , którą należy znaleźć doświadczalnie dla każdego badanego materiału.

W przypadku materiału charakteryzowanego stosunkiem  $R_c : R_t = z$  dla którego nie jest znana funkcja

<sup>2)</sup> Za materiały makroskopowo-izotropowe można uważać przede wszystkim żeliwo i marmury, a nawet beton przy odpowiednio dużych bryłach

$f(s, t) = 0$ , można posilkować się przybliżonymi na korzyść pewności warunkami wytrzymałościowymi:

$$\text{dla } 0 \leq \frac{t}{s} \leq +\sqrt{2}; \quad \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{z} \cdot t + 3 \frac{z-1}{z} \cdot s \leq k_r \quad [6a]$$

$$\text{dla } +\sqrt{2} \leq \frac{t}{s} \leq +\infty \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{z+1}{2z} \cdot t + 3 \frac{z-1}{2z} \cdot s \leq k_r \quad [6b]$$

$$\text{dla } 0 \geq \frac{t}{s} \geq -\sqrt{2}; \quad \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{z} \cdot t \leq k_r \quad [6c]$$

Przy  $z = R_c/R_r = 1$  (metale plastyczne) dla wszystkich 3 obszarów równania te przechodzą w równanie [5] (hip. H. M. H.).

#### 4. Zagadnienie właściwego wyboru hipotezy wyteżenia

W celu zdania sobie poglądowo sprawy z tego, jak znaczny wpływ na wynik obliczenia wytrzymałościowego może mieć wybór hipotezy wyteżeniowej, sporządziłem nie podaną tu tablicę zestawiającą sześć najczęściej spotykanych przypadków stanu napięcia, z których każdy został obliczony według sześciu różnych hipotez. Wyniki obliczeń mogą się różnić od siebie o 100% i więcej.

Ważność stosowania w obliczeniu właściwej hipotezy występuje bardzo wyraźnie w przypadku wyteżenia materiału w miejscu nacisku koła parowozu na szynę. Okazuje się, że wyniki obliczeń odnośnego przypadku stanu napięcia hipotezą największego naprężenia normalnego i hipotezą energii odkształcenia postaciowego mają się do siebie jak 1 do 4,15. Jeszcze jaskrawszym przykładem jest przypadek stanu napięcia występującego w środku koła zetknięcia się ściskanych kul; stosunek naprężenia ściskającego, równego  $p$  według hipotezy największego naprężenia normalnego, do zastępczego naprężenia ściskającego równego  $0,2 p$  według hipotezy H. M. H., wynosi 5.

Najjaskrawszą różnicę wyników obliczenia obydwoma tymi hipotezami otrzymuje się w przypadku wszechstronnego ściskania ciśnieniem  $p$ , gdyż stosunek wartości naprężeń zastępczych obliczonych dla granicy niebezpiecznej  $K$  według hipotezy największego naprężenia i hipotezy energii odkształcenia postaciowego równy jest nieskończoności.

#### 5. Hipotezy najbardziej zgodne z wynikami doświadczeń. Granice ich ważności

Liczne badania nad metalami elastoplastycznymi (stal, nikiel, miedź) wykazały bardzo dobrą zgodność hipotezy H. M. H. z wynikami doświadczeń. Dla tych materiałów za granicę niebezpieczną  $K$  przyjmuje się granicę plastyczności  $Q$ .

Najważniejszym z materiałów kruchych, który stosuje się przy obciążeniach złożonych, jest żeliwo. Badania przy trójosiowych stanach napięcia, wykonane nad dwoma rodzajami żeliwa przez Rosa i Eichingera

w 1926 r. potwierdziły słuszność warunku [6b]; w danym obszarze  $f(s, t) = 0$  przedstawia się jako linia prosta.

Również punkty, odpowiadające wynikom badań wykonanych przez R. Böckera i przez Th. v. Karmana nad marmurem kararyjskim, oraz przez Rosa i Eichingera nad dwoma odmianami marmuru, układają się według krzywych bardzo zbliżonych do prostej. W szczególnie ważnych technicznie stanach napięcia, określonych składowymi  $\sigma$  i  $\tau$ , mamy wynikające stąd obliczeniowe wzory wytrzymałościowe: dla metali plastycznych

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq k_r; \quad [7]$$

ogólnie dla materiałów kruchych przy  $z = K_c : K_r$ ,

$$\frac{z+1}{2z} \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} + \frac{z-1}{2z} \cdot \sigma \leq k_r; \quad [8]$$

dla żeliwa, dla którego przyjęto  $z = K_c : K_r = 3,6$

$$0,64 \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} + 0,36 \sigma \leq k_r. \quad [8a]$$

Wzór [7] jest praktycznie ścisły, a wzory [8] i [8a] są dla potrzeb technicznych dostatecznie dokładne za zastrzeżeniem jednak, że składowe stanu napięcia  $\sigma$  i  $\tau$  odpowiadają warunkom, w których wykonano badania nad stanem napięcia określonymi przez składowe  $\sigma$  i  $\tau$ . Warunkami tymi są:

- 1) statyczny charakter powstawania naprężeń od zera do wartości stałych  $\sigma$  i  $\tau$ ;
- 2) równomierny rozkład naprężeń.

W większości przypadków mających ważne techniczne zastosowania warunki te nie są zachowane; toteż w praktyce należy uwzględnić dodatkowo wszystkie okoliczności mające wpływ na zjawiska wytrzymałościowe, jak:

- 1) rodzaj obciążenia, 2) stopień nierównomierności rozkładu naprężeń, 3) stan powierzchni, 4) wymiary elementu.

Wymienione okoliczności mają wpływ na zmianę granicy niebezpiecznej w porównaniu z granicą niebezpieczną  $K$ , odpowiadającą zwykłemu rozciąganiu naprężeniem  $\sigma$  lub czystemu ścinaniu naprężeniem  $\tau$ , uwzględnionym w powyższych wzorach.

Obniżenie granicy niebezpiecznej  $K$  do wartości  $K'$ , spowodowane różnymi okolicznościami, jest tematem referatu prof. W. Moszyńskiego.

W celu wykorzystania wyników badań, dotyczących wytrzymałości zmęczeniowo-kształtowej przy prostych stanach napięcia, do obliczenia wyteżenia w złożonych stanach napięcia zakładamy, że poszczególne składowe stanu napięcia, „zwiększone“ wskutek obniżenia granicy niebezpiecznej w stosunku  $K/K'$ , wchodzą do warunku wytrzymałościowego w takiej samej funkcji, jak naprężenia  $\sigma$  i  $\tau$  równomiernie rozłożone i pochodzące od statycznego obciążenia.

Wobec takiego założenia składowe stanu napięcia  $\sigma$  i  $\tau$  należy w omawianych warunkach wytrzymałościowych pomnożyć przez współczynnik zwiększający  $K/K'$  lub też przez odpowiedni stosunek naprężeń dopuszczalnych przy prostych obciążeniach  $k_r/k_r'$  i  $k_t/k_t'$  jeżeli zarówno dla naprężeń normalnych, jak i stycznych zachodzą związki  $K/k = K'/k'$ .

Niżej podano sposób postępowania w bardzo ważnym przypadku stanu napięcia określonym składowymi  $\sigma$  i  $\tau$ .

Przy jednorodnym stanie napięcia wytworzonym przez obciążenia statyczne ważne są poprzednio podane zależności [7], [8] i [8a].

Jeżeli stan napięcia nie jest jednorodny, lub jeżeli pochodzi od obciążenia niestatycznego, albo też jeżeli zachodzi jedno i drugie, wówczas przyjmujemy dla metali plastycznych

$$\sqrt{(\alpha\sigma)^2 + 3(\beta\tau)^2} \leq kr \quad [9]$$

dla żeliwa

$$0.64 \sqrt{(\alpha\sigma)^2 + 3(\beta\tau)^2 + 0.36(\alpha\sigma)} \leq kr \quad [10]$$

gdzie  $\sigma$  i  $\tau$  — naprężenia normalne i styczne obliczone zwykłymi wzorami:

$$\alpha = \frac{\text{dopuszcz. „statyczne“ napręż. norm. przy jednorodnym stanie napięcia}}{\text{dopuszcz. napręż. normalne przy rzeczywistości istniejącym sposobie obciążenia}} \quad [11]$$

$$\beta = \frac{\text{dopuszcz. „statyczne“ napręż. styczne przy czystym ścinaniu (skręcaniu)}}{\text{dopuszcz. napręż. normalne przy rzeczywistości istniejącym sposobie obciążenia}} \quad [12]$$

Jeżeli naprężenie normalne  $\sigma$  i tnące  $\tau$  są wywołane działaniem momentu gnącego  $M$  i momentu skręcającego  $M$  na wał okrągły o średnicy  $d$ , czyli jeżeli:

$$\sigma = M : W = M : \frac{\pi d^3}{32} \approx M : 0.1 d^3 :$$

$$\tau = M_s : 2W = M_s : \frac{\pi d^3}{16} \approx M_s : 0.2 d^3, \quad [13]$$

to równości [9] i [10] przyjmują następującą postać:

$$\frac{1}{W} \sqrt{(\alpha M)^2 + 0.75(\beta M_s)^2} \leq kr \quad [14]$$

$$\frac{1}{W} \left[ 0.64 \sqrt{(\alpha M)^2 + 0.75(\beta M_s)^2 + 0.36(\alpha M)} \right] \leq kr \quad [15]$$

## Zagadnienie zmęczenia materiałów w ujęciu wytrzymałościowych obliczeń części maszyn

Skrót referatu wygłoszonego na Konferencji Wytrzymałościowej SIMP

Prof. dr inż. WACŁAW MOSZYŃSKI

1. Klasyczna wytrzymałość materiałów, podstawami swymi tkwiąca głęboko w Teorii sprężystości, stanowi od dawna, obok Mechaniki teoretycznej, jeden z najważniejszych działów podstawowych nauk technicznych. Ujęta w niezbyt rozległych ramach przeciętnych potrzeb budownictwa ogólnego i maszynowego, wchodzi ona od bardzo dawna do programów nauczania szkół technicznych wszystkich szczebli, stanowiąc to, co ogólnie możemy nazwać Elementarną wytrzymałością materiałów. Jest rzeczą zastanawiającą, iż to, co można byłoby nazwać Stosowaną wytrzymałością materiałów, zrodziło się nie na gruncie wytrzymałości klasycznej, lecz raczej wyszło z ogólnych Podstaw budowy maszyn.

Z rozległych badań nad zmęczeniem metali, podjętych w sześćdziesiątych latach ubiegłego wieku, właściwe wnioski wyciągnęli nie wytrzymałościowcy lecz konstruktorzy. Wyniki tych badań na całym obszarze naszego kontynentu spopularyzował przede wszystkim C. Bach przy pomocy swego wielkiego podręcznika Elementów maszyn, który na przestrzeni od r. 1880 do 1924 ukazał się w 12 wydaniach, nie licząc wielu przekładów. Myślą przewodnią Bacha było daleko posunięte uproszczenie wyników owych badań, polegające na rozróżnieniu trzech odmiennych przypadków obciążenia części maszynowych: I — stałego, II — tętniącego i III — wahadłowego, oraz opracowania znanej tablicy współczynników dopuszczalnych naprężeń, obejmującej sześć zaledwie metali. Na tablicy tej, powtarzanej bez zmian w licznych poradnikach technicznych, wydawanych w różnych językach aż do trzydziestych lat bieżącego stulecia, oparły się prace paru pokoleń konstruktorów. Można powie-

zieć, iż tablica ta przeżyła nie tylko swego twórcę, lecz i samą siebie nawet. Wyrosłym na niej trudno nam dziś docenić przewrotowe znaczenie tej prostej tablicy naprężeń dopuszczalnych, jakie zdobyła ona sobie w okresie jej powstania. Zawierała ona bowiem najistotniejszą treść wieloletnich badań A. Wöhlera nad zmęczeniową wytrzymałością metali, ujętą w daleko posuniętym skrócie i prostocie, nawet kosztem zupełnej ścisłości. Pragniemy najwyraźniej podkreślić, iż ta właśnie prostota ujęcia całości zagadnienia zmęczeniowego przesądziła o niezwykle szybkim i powszechnym jego przeniknięciu do biur konstrukcyjnych, zapoczątkowując nowy piękny rozdział historii budownictwa maszynowego. Prostota ujęcia zagadnienia sprowadzała się do przyjęcia trzech wartości współczynnika bezpieczeństwa  $x_R$ , określającego dopuszczalne naprężenie

przy rozciąganiu  $k_r = \frac{R_r}{x_r}$  w stosunku do wytrzymałości

ści doraźnej  $R_r$ , w trzech typowych przypadkach obciążenia stałego, tętniącego, oraz wahadłowego i wynoszących 4, 6 i 12.

Zdajemy sobie dobrze sprawę, iż tak daleko posunięte uproszczenie nie mogło w pełni rozwiązać zagadnienia zmęczeniowego. W swoim czasie jednak przyjęcie tych współczynników i opartej na nich tablicy dopuszczalnych naprężeń było olbrzymim krokiem naprzód, mimo iż nie uwzględniało wielu czynników, które dziś rozróżniamy i uwzględniamy, jak geometryczny kształt nieciągłości przekrojów części maszynowych, ich stan powierzchni i ogólne rozmiary, jak wrażliwość materiału na działanie karbu i asymetrię zmienności obciążeń.

Zaznaczmy, iż biegły konstruktor, posiłkując się interpolacją, miał możliwość uwzględniać w swych oblicze-

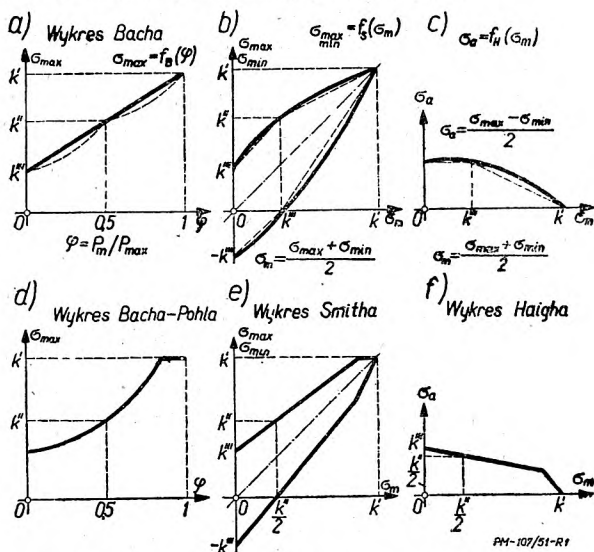
niach wytrzymałościowych wpływ czynnika asymetrii, opierając się na tablicy *Bacha* dopuszczalnych naprężeń. Jeżeli bowiem dopuszczalne naprężenie tętniace od 0 do  $+\sigma_{max}$  wynosi  $k''$ , wahadłowe zaś od  $-\sigma_{max}$  do  $+\sigma_{max}$  wynosi  $k''' = 0,5 k''$ , to w przypadku asymetrycznych obustronnych wahań naprężeń przyjmując można  $\sigma_{max} + |\sigma_{min}| = k''$ . Również przy słabym tętnie naprężeń między  $\sigma_{min} > 0$  i  $\sigma_{max}$  przyjmując można to ostatnie wyższe od  $k''$  i tym bliższe dopuszczalnemu naprężeniu stałemu  $k'$ , im różnica  $\sigma_{max} - \sigma_{min}$ , równa podwójnej amplitudzie wahań, jest mniejsza. Równanie to prowadzi do wykresu zapoczątkowanego przez *Bacha*, przedstawiającego dopuszczalne naprężenie  $\sigma_{max}$  w funkcji wprowadzo-

nego przezeń stopnia stałości obciążeń  $\varphi = \frac{P_m}{P_{max}}$ ,

gdzie  $P_m$  i  $P_{max}$  są uogólnionymi obciążeniami średnim i najwyższym. Mimo rozpowszechnienia tej postaci wykresu w Niemczech i Austrii przez *E. Pohla* i *P. Ludwika*, wykres *Bacha* nie przyjął się i został wyparty przez bardziej pogładowe i wygodne w użyciu wykresy zmęczeniowe *J. H. Smitha*  $\sigma_{max} = f_s(\sigma_m)$

i *B. P. Haigha*  $\sigma_a = f_H(\sigma_m)$  w zależnościach tych  $\sigma_m = 0,5(\sigma_{max} + \sigma_{min})$  i  $\sigma_a = 0,5(\sigma_{max} - \sigma_{min})$  oznaczają naprężenie średnie i odchyleniowe (amplitudę wahań).

Trzy te postaci wykresów zmęczeniowych przedstawione są dla porównania na rysunku 1. Oparte na współczynnikach  $k'$ ,  $k''$  i  $k'''$  — naprężeń dopuszczalnych w I, II i III przypadku obciążenia, wykresy te różnią się budową swą od dzisiejszych wykresów zmęczeniowych, przedstawionych u dołu na tym samym rys. 1. Różnice nie są jednak zbyt wielkie i umiejętna interpolacja oparta na współczynnikach  $k'$ ,  $k''$  i  $k'''$  mogła dawać dostatecznie dobre wyniki przy dowolnej asymetrii lub tętnie zmiennych obciążeń.



Rys. 1. Wykresy zmęczeniowe w ujęciu *Bacha* (a i d), *Smitha* (b i e) oraz *Haigha* (c i f).

Poza tym jednym, stosunkowo łatwo uchwytym czynnikiem istnieje, jak widzieliśmy, szereg innych, co do których konstruktor pozostawiony był całkowicie swemu wyczuciu i doświadczeniu. Wiedział, iż należy unikać nagłych zmian przekroju wprowadzając możliwie duże promienie zaokrągleń przejściowych we

wszelkich wklęsłych załamaniach, zwłaszcza w sąsiedztwie przekrojów niebezpiecznych; wiedział iż gładkość powierzchni wpływa korzystnie na wytrzymałość części maszynowych; wiedział wreszcie, iż ten sam materiał przy dużych ich rozmiarach, z racji mniej korzystnego przekucia lub warunków krzepnięcia w czasie odlewu, dopuszcza niższe naprężenia, niż przy niewielkich rozmiarach części. Wszystko to pozostawione było wyłącznie wyczuciu konstruktora; wszelkie możliwe uchybienia mieściły się zwykle bez reszty w dużych na ogół zapasach bezpieczeństwa narzuconych przez *Bacha* w jego tablicy dopuszczalnych naprężeń; konstrukcje wypadły więc zwykle dość ciężkie. Jednak w owych czasach nie było potrzeby przywiązywać do tego zbyt dużej wagi. Były to przeważnie maszyny stałe; w budowie zaś lokomotyw ciężar był czynnikiem koniecznym, warunkującym ich siłę pociągową; ciężar zaś wagonów przy niewielkich oporach ruchu nie wydawał się rzeczą szczególnie ważną, zwłaszcza gdy chodziło o dużą trwałość taboru.

Zagadnienie wytrzymałości zmęczeniowo-kształtowej w całej swej ostrości zarysowało się dopiero na początku bieżącego stulecia łącznie z niezwykle szybkim rozwojem budowy samochodów i zapoczątkowaniem lotnictwa. Te dwie dziedziny konstrukcyjne przyczyniły się w sposób rozstrzygający nie tylko do powstania tej nowej dziedziny wytrzymałości stosowanej, lecz również do niebywałego rozwoju nowoczesnej metalurgii i obróbki cieplnej oraz pociągnęły za sobą rozległe badania mechaniczne własności metali przy uwzględnieniu najróżnorodniejszych czynników wpływających na ich wytrzymałość zmęczeniowo-kształtową. Olbrzymim bodźcem do tych badań w okresie międzywojennym była pierwsza wielka wojna. To samo można powiedzieć o znaczeniu drugiej wojny światowej dla badań obecnych. Wielkie potrzeby i konieczności stwarzają wielkie możliwości i osiągnięcia. Zagadnienie wytrzymałości zmęczeniowo-kształtowej stało się dziś jednym z najważniejszych czynników postępu w budownictwie maszynowym. Dokładne zapoznanie się z nim stało się koniecznością dla każdego konstruktora.

2. Nie ulega wątpliwości, iż wytrzymałość zmęczeniowo-kształtowa jest zagadnieniem trudnym i złożonym. Wynika to już choćby stąd, iż brak dotychczas dostatecznie pewnych podstaw dla rozwiązywania dość prostych nawet przypadków, nie mówiąc o bardziej złożonych. Niektóre sprawy uwzględniane są przez różnych badaczy zupełnie odmiennie i wciąż jeszcze można stwierdzić zasadnicze różnice w ujmowaniu najbardziej podstawowych zagadnień. W tych warunkach trudno jest opracować jakąś niewzruszoną metodę obliczeń, będącą syntezą całego olbrzymiego dziś już dorobku doświadczalnego, nagromadzonego przez licznych badaczy. Jest jednak rzeczą oczywistą, iż bez podobnej syntezy, i to ujętej w sposób możliwie prosty, a więc zarówno łatwo zrozumiałą, jak i łatwą w zastosowaniach, zagadnienie to nie zdołałoby przeniknąć do szerokich rzesz konstruktorów i przez długie jeszcze lata byłoby dla nich czymś obcym i nieuchwytnym. Prostota ujęcia, w ramach na jakie zezwala sama złożoność zjawiska, jest więc czynnikiem rozstrzygającym, — ważniejszym nawet od ścisłości ujęcia.



Trzeba dać konstruktorom do ręki możliwie proste narzędzia pracy, zapewniające wyniki, które byłyby wystarczająco dokładne przy rozwiązywaniu zagadnień, występujących w codziennej pracy zawodowej. Pozwoli to im na poprawne dokonywanie ogromnej większości obliczeń zmęczenia, oraz umożliwi porównywanie ich wyników z wynikami uzyskiwanymi na podstawie dotychczasowych sposobów obliczeń i zdobycie tą drogą dostatecznego doświadczenia. Nie wyłącza to możliwości prowadzenia dodatkowych obliczeń sprawdzających, albo też od samego początku innego ich ujęcia — we wszystkich przypadkach, gdy konstruktor będzie rozporządzał jakimiś dodatkowymi lub odrębnymi danymi doświadczalnymi i będzie miał możliwość przeprowadzenia jakichś szczególnych obliczeń porównawczych. Dotyczyłoby to konstrukcji wyjątkowo ważnych, gdy chodzić będzie o uzyskanie niezwykle daleko posuniętej lekkości lub o bardzo dokładne obliczenie rzeczywistego współczynnika bezpieczeństwa. Stoimy więc na stanowisku, iż zalecana metoda wytrzymałościowych obliczeń części maszynowych na zmęczenie musi być przede wszystkim prostą w swych założeniach i zastosowaniach przy dostatecznej ścisłości praktycznej. Z natury rzeczy, uwzględniając dużą ilość różnorodnych czynników, jakie powinna uwzględniać, metoda ta musi być w znacznej większości przypadków jedynie sprawdzająca. Ponieważ szereg czynników może znaleźć swe odbicie wyłącznie w wykresach zbudowanych na podstawie badań laboratoryjnych, dzięki czemu posiłkowanie się wykresami przy obliczeniach zmęczenia staje się nieunik-

nione, uważamy, że należy dążyć do tego, aby przerzucić większość pracy obliczeniowej właśnie na odpowiednio pomyślane wykresy. Należy więc unikać stwarzania wzorów obliczeniowych wszędzie, gdzie jest to możliwe i ograniczać do minimum pracę czysto rachunkową. Przyjęcie tych założeń pozwoliło na opracowanie pewnej metody obliczeń, opartej na wynikach pracy wielu badaczy. Opracowania ich należało scalić i sprowadzić do wspólnych podstaw. Wymagało to wielu przeliczeń i budowy nowych, zmienionych wykresów, przyjęcia szeregu uzupełniających założeń dla wzajemnego powiązania wyników prac różnych badaczy i dla wypełnienia przerw między nimi. Wreszcie należało rozbudować całość metody w ten sposób, by można było objąć nią szereg najczęstszych przypadków obciążeń złożonych. W sumie dało to metodę dostatecznie prostą i zwartą, zadośćczyniącą potrzebom większości wytrzymałościowych obliczeń zmęczenia, z jakimi konstruktor styka się nieustannie w budownictwie maszynowym.

Ponieważ podstawy doświadczalne, na jakich oparto omawianą metodę, w wielu przypadkach nie mogą być uważane za wyczerpująco i dostatecznie zbadane, również i sam materiał wykresowy, będący narzędziem pracy w danej metodzie obliczeń, nie może być uważany za niewzruszony. Chodzi więc tu raczej o samą metodę, która zresztą również może ulec dalszym przeobrażeniom i udoskonaleniom. Nie wchodząc w podstawowe szczegóły tej metody, omówimy tu ogólne wytyczne przy jej stosowaniu.

(c.d.n.)

## Wpływ stanu napięcia na przejście materiału w stan plastyczny

Skrót referatu wygłoszonego na Konferencji Wytrzymałościowej SIMP

Mgr inż. TADEUSZ PEŁCZYŃSKI

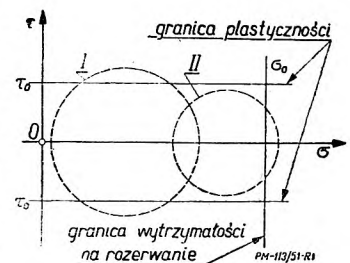
### WSTĘP

Już dawno stwierdzono, że jeden i ten sam materiał, zależnie od sposobu działania obciążenia, może zachować się bądź jako ciało plastyczne, bądź jako ciało kruche. Klasyczne doświadczenie w tym kierunku przeprowadził w 1912 r. *Karman* (1), który otrzymał odkształcenia plastyczne marmuru i piaskowca, ściskając wzdłużnie próbki wykonane z tych materiałów, poddane jednocześnie bocznemu ciśnieniu hydrostatycznemu. Znane jest również zjawisko, iż niektóre materiały, jak np. cynk, w pewnych procesach technologicznych wykazują niskie własności plastyczne, pozwalają się jednak przerabiać plastycznie przy pomocy innych procesów. Również stopy aluminiowe oraz żeliwo, przy rozciąganiu zachowują się jak materiały kruche, natomiast przy ściskaniu dają odkształcenia plastyczne. Dowodzi to, że stan napięcia istniejący w danym cieple ma wpływ na zachowanie się jego przy odkształcaniu.

Badania nad wyjaśnieniem różnego zachowania się ciał przy różnych sposobach obciążenia prowadzone były przez szereg badaczy. Rys. 1 przedstawia opracowany przez *P. Ludwika* (2) wykres ( $\sigma$ ,  $\tau$ ) obejmujący koła *Mohra*, których wielkość i położenie w stosunku do granicznych wartości  $\sigma_0$  i  $\tau_0$  określa zachowanie

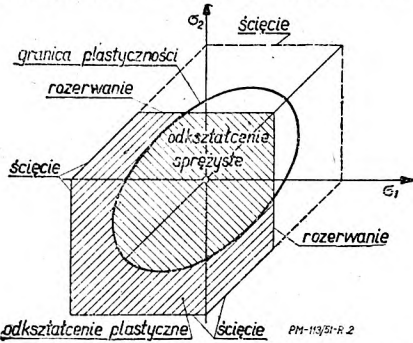
się materiału. I tak np., dla stanu napięcia przedstawionego przy pomocy koła *I*, przy wzroście składowych stanu napięcia najpierw zostanie osiągnięta krytyczna wartość  $\sigma_0$  odpowiadająca granicy plastyczności natomiast dla koła *II* wprawdzie zostanie osiągnięta krytyczna wartość  $\sigma_0$  odpowiadająca granicy wytrzymałości na rozerwanie. W przypadku *I* materiał odkształci się plastycznie, w przypadku *II* otrzymamy kruche pęknięcie. Na wykresie tym przyjęto jako kryterium osiągnięcia granicy wytrzymałości na rozerwanie największe naprężenie normalne, a jako kryterium dla granicy plastyczności największe naprężenie tnące.

Rys. 2 przedstawia wykres *E. Siebla* (3) sporządzony dla płaskiego stanu napięcia. Jako kryterium osiągnię-



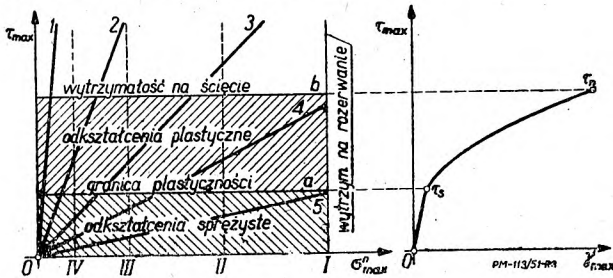
Rys. 1. Wykres P. Ludwika wyjaśnia przy pomocy kół Mohra zachowanie się materiału jako plastycznego i jako kruchego.

cia granicy wytrzymałości na rozerwanie Siebel przyjmuje również największe naprężenie normalne, natomiast dla granicy plastyczności — wartość naprężenia obliczoną na podstawie hipotezy energii odkształcenia



Rys. 2. Wykres E. Siebela podający obszary odkształceń sprężystych oraz plastycznych materiału.

postaciowego. Na wykresie tym uwzględniono dwojakiego rodzaju zniszczenie ciągłości materiału przez rozerwanie i przez ściecie. Jako kryterium osiągnięcia granicy wytrzymałości na ściecie E. Siebel przyjął maksymalną wartość naprężenia tnącego.



Rys. 3. Wykres mechanicznego stanu materiału wg Fridmana.

W ostatnich czasach J. B. Fridman (4) opracował wykres, który nazwał wykresem stanu mechanicznego (rys. 3). Uwzględnia on równocześnie stan naprężenia oraz własności materiału i składa się z dwóch części:

- 1) krzywej rzeczywistych naprężeń i odkształceń we współrzędnych  $\gamma_{max}$  i  $\tau_{max}$  (część prawa), oraz
- 2) właściwego wykresu stanu mechanicznego, sporządzonego we współrzędnych  $\sigma_{max}^n$  i  $\tau_{max}$ , gdzie  $\sigma_{max}^n$  jest największym zastępczym naprężeniem rozciągającym obliczonym na podstawie hipotezy największego wydłużenia.

Na wykresie tym prosta  $a$  odpowiada naprężeniu  $\tau_{max}$  na granicy plastyczności, zaś prosta  $b$  —  $\tau_{max}$  na granicy wytrzymałości na ściecie. Proste I, II, III i IV odpowiadają różnym wartościom  $\sigma_{max}^n$  na granicy wytrzymałości na rozerwanie. Stan naprężenia określony stosunkiem  $\alpha = \frac{\tau_{max}}{\sigma_{max}^n}$  przedstawiony jest na wykresie przy pomocy prostych 1, 2, 3, 4 i 5 dla różnych rodzajów obciążenia.

Z wykresu widzimy, że dla wartości  $\sigma_{max}^n$  określonej przy pomocy prostej I i przy obciążeniu przedstawionym przy pomocy prostej 4, osiągamy przy wzroście obciążenia najpierw granicę plastyczności, a następnie dopiero granicę wytrzymałości na rozerwanie. Dla tego samego sposobu obciążenia, lecz dla wartości  $\sigma_{max}^n$  przedstawionej przy pomocy prostej III osią-

gniemy granicę wytrzymałości na rozerwanie nie osiągając granicy plastyczności, w wyniku czego otrzymamy pęknięcie bez poprzedzających odkształceń plastycznych.

Widzimy więc, że przejście materiału w stan plastyczny jest wynikiem współdziałania dwóch niezależnych od siebie czynników;

- 1) stanu naprężenia, oraz
- 2) własności materiału.

Celem niniejszej pracy jest bliższe określenie wyżej wymienionych czynników, zwłaszcza w odniesieniu do niektórych procesów technologicznych opartych na odkształceniach plastycznych, jak również określenie własności materiału rozstrzygającej o przejściu materiału w stan plastyczny.

## I. ROZWAŻANIA OGÓLNE

### A. Hipotezy wyjściowe

Zagadnienie plastycznej obróbki materiału sprowadza się do zastosowania takiego procesu technologicznego, który mógłby wytworzyć w plastycznie przerabianym materiale stan naprężenia spełniający następujące warunki:

- 1) granica plastyczności materiału powinna być przekroczona;
- 2) spójność materiału powinna być zachowana, czyli nie powinno nastąpić pęknięcie.

Z dwóch najczęściej dziś stosowanych hipotez wytyżeńowych — największego naprężenia tnącego, oraz energii odkształcenia postaciowego, ostatnia zyskała pierwszeństwo dzięki większej zgodności z doświadczeniem. Na podstawie tej hipotezy zostało wprowadzone znane równanie plastyczności Hubera:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2K^2$$

gdzie  $\sigma_1, \sigma_2$  i  $\sigma_3$  są naprężeniami głównymi, zaś  $K$  jest granicą plastyczności przy rozciąganiu. Zatem warunek wejścia w zakres odkształceń plastycznych będzie:

$$\frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} > K$$

Warunek zachowania ciągłości materiału jest bardziej złożony ze względu na możliwość otrzymania przełomu dwojakiego rodzaju:

- 1) ścienia,
- 2) przełomu rozdzielczego.

Zjawisko ścienia materiału jest dotychczas bardzo mało zbadane. Ściecie materiału zachodzi pod wpływem naprężeń tnących i z tego powodu ściecie materiału poprzedzają zazwyczaj mniejsze lub większe odkształcenia plastyczne. Cały szereg badaczy (4) przyjmuje, jako kryterium wytyżenia materiału na granicy wytrzymałości na ściecie, maksymalną wartość naprężenia tnącego. Badania Brigdmana (5) wykazały że wartość tego naprężenia wzrasta ze wzrostem ujemnej wartości ciśnienia hydrostatycznego (oktaedrycznego). Zawsze jednak proces ścienia materiału poprzedzony jest odkształceniami plastycznymi, czyli przekroczeniem granicy plastyczności. Z tego powodu bliższe określenie wytyżenia materiału na granicy wytrzymałości na ściecie nie leży w ramach niniejszej pracy.

Inaczej przedstawia się zjawisko przełomu rozdzielczego, który może zachodzić jako tzw. *przełom kruchy*, bez śladów poprzedzających odkształceń plastycznych,

oraz jako rozdzielczy przełom wiązki, poprzedzony większymi lub mniejszymi odkształceniami plastycznymi. Przełom rozdzielczy występuje najczęściej w materiałach kruchych, może jednak w pewnych warunkach powstać i w materiałach plastycznych, np. przy rozciąganiu próbki z karbem (6).

W dalszych rozważaniach jako kryterium wyteżenia materiału w chwili powstawania przełomu rozdzielczego, przyjmujemy wartość największego wydłużenia zgodnie z II hipotezą wytrzymałościową B. de Saint Venanta (1837 r.) i J. V. Pocolata (1859 r.). W niniejszej pracy określimy warunki wynikające z założeń II hipotezy (największego wydłużenia i IV — hipotezy (energii odkształcenia postaciowego), konieczne dla przeprowadzenia materiału w stan plastyczny.

W tym celu dla II hipotezy wyprowadzimy wzory w nowej postaci.

**B. Gwiazda odkształceń**

Wartość odkształceń głównych w najogólniejszym przypadku stanu odkształcenia określonego przy pomocy składowych stanu odkształcenia  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}$  znajdujemy z równania

$$\epsilon_r^3 - 3\epsilon_n \epsilon_r^2 + N_1 \epsilon_r - N_2 = 0, \quad [1]$$

gdzie:  $\epsilon_n = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z}{3}$

$$N_1 = \epsilon_x \epsilon_y + \epsilon_y \epsilon_z + \epsilon_z \epsilon_x - \frac{1}{4} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2),$$

$$N_2 = \epsilon_x \epsilon_y \epsilon_z + \frac{1}{4} \gamma_{xy} \gamma_{yz} \gamma_{zx} - \frac{1}{4} (\epsilon_x \gamma_{yz}^2 + \epsilon_y \gamma_{zx}^2 + \epsilon_z \gamma_{xy}^2)$$

Wartości pierwiastków równania [1] są

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z}{3} + \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_x)^2 + \frac{2}{3} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2) \cdot \cos \varphi}, \\ \epsilon_2 &= \frac{\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z}{3} + \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_x)^2 + \frac{3}{2} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2) \cdot \cos(\varphi + 240^\circ)}, \\ \epsilon_3 &= \frac{\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z}{3} + \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_y - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_x)^2 + \frac{3}{2} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2) \cdot \cos(\varphi + 120^\circ)} \end{aligned} \right\} [2]$$

Wyrażając wartość niezmienników  $\epsilon_n, N_1$  i  $N_2$  w odkształceniach głównych możemy napisać równania [2] w postaci

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3} + \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2} \cdot \cos \varphi, \\ \epsilon_2 &= \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3} + \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2} \cdot \cos(\varphi + 240^\circ) \\ \epsilon_3 &= \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3} + \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2} \cdot \cos(\varphi + 120^\circ) \end{aligned} \right\} [3]$$

gdzie  $\cos 3\varphi = \frac{\sqrt{2} (2\epsilon_1 - \epsilon_2 - \epsilon_3)(2\epsilon_2 - \epsilon_3 - \epsilon_1)(2\epsilon_3 - \epsilon_1 - \epsilon_2)}{\sqrt{[(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2]^3}}$

Wyrażenie  $\epsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2}$  nazywamy *natężeniem odkształceń*.

Zauważmy, iż wyrażenie  $\epsilon_n = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3}{3}$  jest miarą

odkształcenia objętościowego, równego  $\Theta = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3$  natomiast wielkość  $\epsilon_i$  jest miarą odkształcenia postaciowego, proporcjonalnego do odkształcenia postaciowego zachodzącego na ścianach foremnego ośmiościanu (oktaedru) o przekątnych równoległych do kierunków głównych, (8)

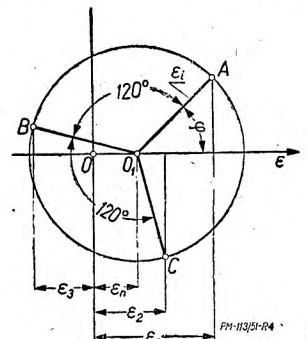
$$\gamma = \frac{1}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2}$$

Wzory [3] możemy zatem napisać w postaci:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_1 &= \epsilon_n + \epsilon_i \cdot \cos \varphi, \\ \epsilon_2 &= \epsilon_n + \epsilon_i \cdot \cos(\varphi + 240^\circ), \\ \epsilon_3 &= \epsilon_n + \epsilon_i \cdot \cos(\varphi + 120^\circ). \end{aligned} \right\} [4]$$

Przyglądając się wzorom [3] widzimy, że wartości  $\epsilon_1, \epsilon_2$  i  $\epsilon_3$  wyrażone zostały przez te same wartości, tj. przez  $\epsilon_1, \epsilon_2$  i  $\epsilon_3$ . Wzory [4] wyjaśniają celowość takiego ujęcia, gdyż widzimy, że wartość  $\epsilon_1, \epsilon_2$  i  $\epsilon_3$  jest zależna od odkształcenia objętościowego  $\epsilon_n$  i postaciowego  $\epsilon_i$ .

Wartości  $\epsilon_1, \epsilon_2$  i  $\epsilon_3$  możemy przedstawić wykreślić jako sumę  $\epsilon_n$  oraz rzutów ramion trójramiennej gwiazdy A B C, którą nazwiemy *gwiazdą odkształceń* (rys. 4). Długość ramion gwiazdy wynosi  $\epsilon_i$ .



Rys. 4. Gwiazda odkształceń.

Długość ramion gwiazdy wynosi  $\epsilon_i$ .

Kąt  $\varphi$  położenia gwiazdy odkształceń zależy jest od stosunku wartości odkształceń; najlepiej możemy go określić podając położenie średniego odkształcenia  $\epsilon_2$  w stosunku do odkształceń skrajnych  $\epsilon_1$  i  $\epsilon_3$ .

Przedstawiając wydłużenia przy pomocy kół Mohra (rys. 5) możemy określić wzajemne ustosunkowanie się odkształceń przy pomocy stosunku

$$\delta = \frac{O_1 A}{B O_1} = \frac{\epsilon_2 - \frac{\epsilon_1 + \epsilon_3}{2}}{\frac{\epsilon_1 - \epsilon_3}{2}} \quad [5]$$

Widzimy, że ze zmianą położenia punktu A między punktami B i C wartość  $\delta$  zmienia się od -1 (gdz punkt A znajduje się w punkcie B) do +1 (gdz punkt





W rzeczywistości, metale zachowują się w jednakowych temperaturach homologicznych wg tego samego modelu, np. rekrytalizacja zachodzi w określonym (punkcie skali temperatur homologicznych  $T_r = 0,4 T_r$ , oznacza bezwzględną temperaturę rekrytalizacji), zgodnie z określeniem podanym przez Van Liempta (2) i A. A. Boczwarę (3).

Poczynając od określonych temperatur, dla niektórych odmian stali już od 300°C, wielkość wytrzymałości na rozciąganie i wielkość granicy plastyczności zależą wyraźnie od czasu trwania próby (4), podczas gdy odpowiadające szybkości zrywania w zwykłej temperaturze (ok. 20°C) dają wyniki tak mało rozbieżne i praktycznie można je uważać za jednakowe; dla aluminium, miedzi i cynku różnice wywołane zmiennością czasu trwania próby widoczne są już w zwykłej temperaturze. Przyczyną tego jest *pełzanie metalu*, tj. powolny wzrost wydłużenia pod działaniem obciążenia statycznego. Stąd też próbę zrywania w podanym w tabelcy I zakresie temperatur (5) zastępujemy próbą pełzania, a odpowiadające temperatury nazwiemy *podwyższonymi*.

TABLICA I.

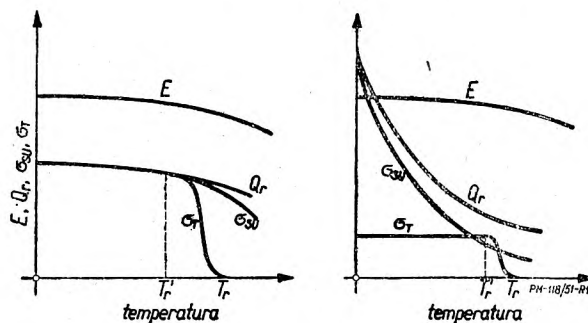
Zakresy temperatur w jakich stosuje się próby pełzania

Materiał	zakres temperatur °C
stal węglowa	300 ÷ 550
stale niskostopowe (poniżej 8% dodatku stopowego)	300 ÷ 650
stale wysokostopowe	300 ÷ 750
stale austenityczne	400 ÷ 750
stopki Ni—Cr, Co—Cr, Co—Ni—Cr	500 ÷ 1100
cynk, stop miedzi, aluminium, magnez	20 ÷ 400

Pręt metalowy obciążony siłą wzdłużną, wywołującą naprężenie nawet poniżej granicy sprężystości, wyznaczonej podczas zwykłej próby rozciągania, w powyższym podanym zakresie temperatur, wykaże z upływem czasu wzrost wydłużeń. Zjawisko to określone jest mianem *pełzania*. Wymuszając zachowanie odkształcenia odpowiadającego temu naprężeniu, zaobserwujemy w tych samych temperaturach spadek wydłużenia sprężystego, i tym samym obciążenia, odpowiadający wzrostowi długości przy pełzaniu. Jest to zjawisko *relaksacji naprężenia*. Przebieg obu tych zjawisk uzależniony jest od równoczesnego występowania w metalu *nawrotu*, rekrytalizacji i procesów dyfuzyjnych.

Nawrót\*) polega na usunięciu skutków zgniotu przez przemieszczenia atomów wywołane ich wzmoczoną oscylacją cieplną; osiąga on swoje maksimum w zakresie poniżej temperatur rekrytalizacji, np. dla cynku 600°C, żelaza 400°C, i nie powoduje żadnych dostrzegalnych pod mikroskopem zmian w krystalicznej budowie metalu. Asteryzm, będący odbiciem zgniotu w rentgenowskim obrazie dyfrakcyjnym *Lauego*, nie zostaje przy tym prawie zupełnie naruszony, — (wynika to z częściowej jedynie możliwości zajęcia przez atomy położeń wyjściowych, tj. przed zgniotem), podczas gdy rekrytalizacja usuwa asteryzm zupełnie. Temperatury podwyższone ułatwiają wreszcie proces dyfuzji atomowej składników stopowych w stanie stałym, wywołują

jąc starzenie, mogące w wyniku spowodować znaczne umocnienie metalu i zahamować proces pełzania.



Rys. 1

Wraz ze wzrostem temperatury obserwujemy obniżenie współczynnika sprężystości wzdłużnej  $E$  — (rys. 1). Charakter tej zmiany jest dla wszystkich metali w przybliżeniu jednakowy, jednakże granica płynności zmienia się zależnie od przynależności metalu do jednej z dwu grup podziałowych (6). Dla pierwszej grupy, obejmującej metale o siatce płaskocentrycznej, zależność ta opiewa:

$$Q_r = A \cdot E = A_1 \left( 1 - \frac{T^2}{T_i^2} \right)$$

gdzie  $A$  i  $A_1$  są stałymi. Zależność  $Q_r = G_{r0}(1 - B\sqrt{T})$  dotyczy metali drugiej grupy, do której wchodziły stopy Al ( $B$  jest stałą). Pierwszą grupę tworzą te metale, których granica plastyczności przy rozciąganiu przewyższa znacznie wartości otrzymane na próbkach monokrystalicznych, podczas gdy dla metali drugiej grupy granica plastyczności stanowi w przybliżeniu średnią z wartości  $Q_r$  różnie zorientowanych składników krystalicznych.

Temperatury podwyższone zmieniają częściowo zachowanie się metali pod obciążeniem powtarzalnym (zmęczeniowym). Poza obniżeniem wytrzymałości zmęczeniowej, temperatury podwyższone powodują odkształcenia trwałe pod obciążeniem wahadłowym tj. bez udziału naprężeń statycznych, na skutek czego wykres wytrzymałości zmęczeniowej *Smitha* zostaje dodatkowo ograniczony warunkiem granicznego dopuszczalnego odkształcenia wywołanego działaniem naprężeń powtarzalnych.

Metale przeznaczone do pracy w wysokich temperaturach (np. części turbin spalinowych, kolektory spalin silników tłokowych) narażone są zwykle na równoczesne korodujące działanie ośrodka lub na korozję tlenową i muszą poza wymaganiami wytrzymałościowymi oznaczać się ognioodpornością. Ogranicza to stosowność stali zwykłej lub stali o niewielkiej zawartości dodatków stopowych w temperaturach ponad 570°C, tzn. powyżej temperatury eutektoidu w układzie Fe-0, z uwagi na znaczną szybkość procesów dyfuzyjnych (7) — na rzecz stali stopowych, przede wszystkim z wysoką zawartością chromu.

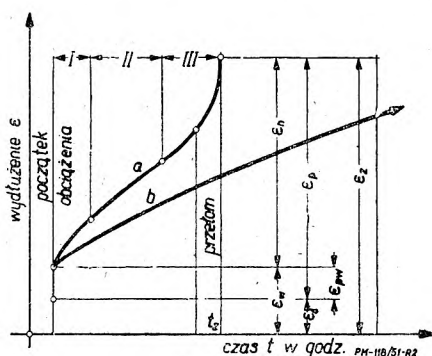
Ognioodporność stali lub jej stopów oznacza zdolność do tworzenia w atmosferze redukującej lub powodującej korozję — zwięzłej warstwy tlenków nie zawierających niemal zupełnie żelaza. Wysokie temperatury pracy wymagają stali austenicznych lub ferry-

\*) ros. otdych, wezwrat; franc.: restauration; niem. Kristallerholung.

tycznych, nie podlegających przemianom, które wraz ze zmianami dilatometrycznymi mogłyby spowodować uszkodzenia tej ochronnej warstwy.

### Pełzanie przy rozciąganiu

Przebieg pełzania przy rozciąganiu obserwujemy na krzywej wydłużeń próbki w funkcji czasu:  $\epsilon = f(t)$ , wyróżniając trzy zakresy (8). Pierwszy z nich (krzywa *a* na rys. 2) odznacza się malejącą szybkością odkształcenia, wywołanego przyłożeniem obciążenia (poczynając od wyjściowej wielkości  $\epsilon_w$ ). Drugi cechuje równowaga osłabiającego działania temperatury i umocnienia wywołanego postępującym odkształceniem, przy czym szybkość odkształcenia pozostaje stała. W trzecim zakresie, osłabienie metalu, będące skutkiem znacznego wydłużenia, powoduje powstanie przewężenia, wzrost szybkości odkształcenia i przełom pod działaniem niezmiennego obciążenia, czyli przy rosnącej wielkości naprężenia rzeczywistego. Zmniejszając obciążenie proporcjonalnie do malejącego przekroju, tzn. utrzymując stałe naprężenie, otrzymamy



Rys. 2

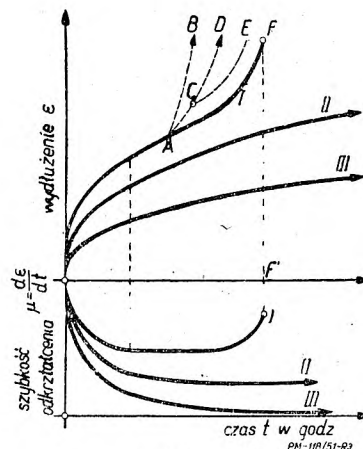
krzywą *b* z rys. 2, odpowiadającą mniejszym wartościom wydłużeń. Wyjściowa wielkość wydłużenia  $\epsilon_w$  jest sumą wydłużenia sprężystego i trwałego  $\epsilon_w = \epsilon_s + \epsilon_{pw}$ , ostateczna zaś (w chwili zerwania)  $\epsilon_z$  składa się z wydłużenia wyjściowego oraz wywołanego procesem pełzania  $\epsilon_z = \epsilon_w + \epsilon_h$ , przy czym  $\epsilon_z = \epsilon_s + \epsilon_p$  (krzywa *a* na rys. 2).

Stosując kolejno obciążenia próbek  $\sigma_I > \sigma_{II} > \sigma_{III}$  przy stałej temperaturze  $T$ , otrzymamy przebiegi krzywych  $\epsilon = f(t)$  zgodnie z rys. 3 (linie ciągłe). Podobny obraz otrzymamy dla  $\sigma = const$  i  $T_I > T_{II} > T_{III}$ ; odpowiadające temu szybkości odkształcenia  $u = \frac{d\epsilon}{dt}$

dla trzech naprężeń lub trzech temperatur przedstawia dolna część rysunku. Odkształcenie przy pełzaniu jest więc funkcją naprężenia, temperatury i czasu:  $= f(\sigma, T, t)$ .

Wpływ każdego z tych czynników określamy oddzielnie. Zmiana wielkości naprężenia lub temperatury w czasie pełzania powoduje zmianę wydłużeń i przebiegu pełzania w czasie: krzywe *AB* i *AD* na rys. 3 odpowiadają większemu (*AB*) i mniejszemu (*AD*) wzrostowi  $\sigma$  lub  $T$ , albo obu razem. Przywrócenie warunków wyjściowych materiałowi, który wydłużał się wg linii *AD*, w chwili osiągnięcia punktu *C*, przywraca poprzedni charakter przebiegu (krzywa *CE*).

Na odkształcenie trwałe, występujące pod działaniem obciążenia statycznego, składają się odkształcenia zachodzące wewnątrz kryształów metalu oraz



Rys. 3

przesunięcia wzdłuż granic ziarn; występowanie jednego lub równocześnie obu tych sposobów odkształcenia uzależnione jest od temperatury oraz od wielkości obciążenia i długotrwałości jego działania:

a) pełzanie zachodzi w temperaturze słabego działania nawrotu i poniżej temperatury rekrytalizacji; odkształcenia powstałe przy niskim obciążeniu wywołują wówczas umocnienie zdolne do zahamowania dalszych poślizgów; w przypadku znacznych obciążeń duże odkształcenie początkowe i związane z tym zmniejszenie przekroju powodują przełom drogą postępujących poślizgów wewnątrz kryształicznych;

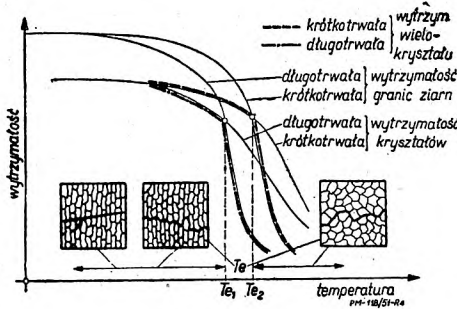
b) w zakresie temperatur rekrytalizacji, umocnienie może nastąpić przy bardzo nieznacznych wartościach odkształcenia (obciążenia); przy dalszej podwyżce temperatury nawet tak małe obciążenia wywołują ciągłą rekrytalizację uniemożliwiającą umocnienie i zahamowanie pełzania postępującego wewnątrz ziarna metalu.

Przełomom powstałym w opisany wyżej sposób towarzyszą znaczne odkształcenia. W przeciwieństwie do tego przełomy wywołane wyłącznie przez przesunięcia na granicach ziarn, bez równoczesnych odkształceń wewnątrz kryształów, mają wyraźnie kruchy charakter. Opierając się na pracach *Smekala*, *Thun* i *Richard* przyjmują (9), iż na granicach ziarn następują przemieszczenia atomów bez równoczesnego umocnienia.

Wewnątrz kryształiczny przełom wraz z towarzyszącymi mu znacznymi odkształceniami, lub międzykryształiczny tj. kruchy — zależą od temperatury ekwikohezji (tj. jednakowej spójności) ziarn i masy międzykryształicznej. *Jeffries* i *Archer* (10) opracowali schemat zależności charakteru przełomu od temperatury i długotrwałości obciążenia, przedstawiony w postaci nieco zmodyfikowanej na rys. 4; dostatecznie duże obciążenie poniżej zakresu temperatury ekwikohezji  $T_e$  wywoła przełom plastyczny, powyżej — kruchy, przy czym istnieje strefa przejściowa ograniczona temperaturami  $T_{e1}$  i  $T_{e2}$  odpowiadająca obu postaciom przełomu, a ich rodzaj uzależniony jest dodatkowo od wielkości i czasu trwania obciążenia.

Powyższy podział przełomów poddawany był krytyce, z racji istnienia metali i stopów zachowujących

się odmiennie, jak np. niektóre elektrony i wolfram (11); jednakże te stopy, które podlegają w temperaturach podwyższonych procesom dyfuzyjnym, a więc przede wszystkim stale, wykazują na ogół zgodność z opisanym schematem. Zachowanie się metali w pobliżu temperatury ekwikohezji wymaga jeszcze bliższego wyjaśnienia.



Rys. 4

Obecność trójwymiarowego stanu napięcia (np. na skutek działania karbu i to dostatecznie wyraźnego, aby spowodować zahamowanie odkształcenia, może doprowadzić do powstania złomu kruchego poniżej temperatury ekwikohezji. Również niektóre przebiegi dyfuzyjne i związane z nimi wydzielenia mogą po upływie pewnego czasu wywołać zaklinowanie płaszczyzn poślizgów, zmieniając zasadnicze zachowanie się materiału pod obciążeniem.

**Wpływ czasu, obciążenia i temperatury**

Przebiegom pełzania metali, których zachowanie pod obciążeniem nie podlega zmianom jakościowym związanym z procesami dyfuzyjnymi, można nadać postać matematyczną. Przyjmując wg P. G. Mc. Vetty'ego (12)

szybkość odkształcania  $u = \frac{d\varepsilon_p}{dt}$  zgodnie z zależnością

$$u - u_0 = ae^{-at},$$

gdzie  $u_0$  i  $a$  są stałymi, zależnymi (dla danego materiału) od wielkości naprężenia i temperatury; po całkowaniu otrzymamy:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_0 + u_0 t - \frac{a}{\alpha} \cdot e^{-at};$$

ponieważ ostatni człon wyrażenia dla dużych  $t$  zmierzają szybko do zera, zatem

$$\varepsilon_p = \varepsilon_0 + u_0 t,$$

co pozwala na zastąpienie krzywej  $\varepsilon = f(t)$  asymptotą.

Według Eckhardta (13) wydłużenie jako funkcja czasu w siatce logarytmicznej ma przebieg prostoliniowy:

$$\varepsilon - \varepsilon_s = \sigma t^m = \varepsilon_1 \left(\frac{t}{t_1}\right)^m,$$

gdzie  $\varepsilon$  jest wydłużeniem w chwili  $t$ , zaś  $\varepsilon_1$  i  $t_1$  są wartościami znanymi. Wykładnik potęgowy  $m$  oznacza nachylenie linii wydłużeń w funkcji czasu i charakteryzuje spadek szybkości odkształcania:

$$u = \frac{d\varepsilon}{dt} = m \frac{\varepsilon - \varepsilon_s}{t}.$$

Wartości wykładnika potęgowego  $m$  dla materiałów stalowych podane są w tablicy II.

TABLICA II.

Rodzaj stali	Wartość $m$ przy temperaturach				
	do 300°	300-400°	400-500°	500-600°	600-700°
węglowa	0,1	0,1-0,3	0,2-0,5	0,5-0,8	0,8-1,0
niskostopowa	0,1	0-0,20	1,0-0,4	0,4-0,7	0,6-0,9
Mo i Cr-Mo austeniczna	0,1	0-0,2	0,1-0,3	0,2-0,5	0,4-0,7

Zależność podana przez de Lacombe'a (14)

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + at^m + bt^n$$

nie pozwala na tak łatwą ekstrapolację, jak poprzednie wyrażenie. Przytoczone zależności dają dostateczną zgodność dla niedługich czasów.

Wpływ wielkości obciążenia na szybkość odkształcania w drugim, ustalonym zakresie krzywej pełzania można wyrazić wzorem

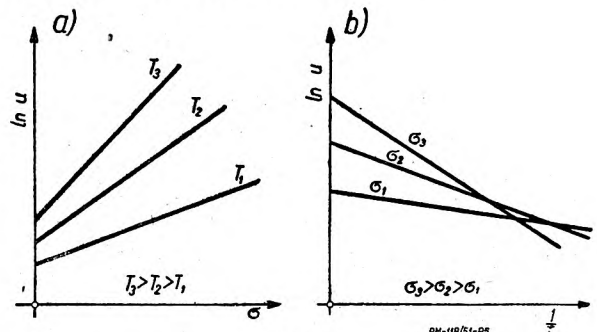
$$u = u_0 sh \frac{\sigma}{\sigma_0},$$

gdzie  $u$  oznacza ustaloną szybkość odkształcania pod naprężeniem  $\sigma$ , zaś  $u_0$  i  $\sigma_0$  są stałymi materiału. Przy naprężeniach znacznie wyższych od właściwej dla danego materiału wartości, zależność poprzednią można zastąpić zależnością przybliżoną:

$$u = \frac{u_0}{2} \cdot e^a \quad \text{lub} \quad \ln u = \ln \frac{u_0}{2} + a$$

gdzie  $a = \frac{\sigma}{\sigma_0}$ .

Dane doświadczalne układają się w siatce półlogarytmicznej i logarytmicznej jako linie proste o nachyleniu wzrastającym w stosunku do osi naprężeń wraz ze wzrostem temperatury (rys. 5).



Rys. 5

Przybliżona zależność pomiędzy ustaloną szybkością pełzania i temperaturą, dla elementów wielokrystalicznych, wyraża się wzorem

$$u = u_0 A e^{\frac{H(\sigma)}{T}},$$

gdzie  $H(\sigma)$  jest wielkością charakterystyczną materiału, zależną od naprężenia;  $u_0$  i  $A$  są stałymi. W układzie  $\ln u = f\left(\frac{1}{T}\right)$  otrzymamy proste dla poszczególnych wartości  $\sigma$  (rys. 5b). Jak wykazał N. S. Fastow (15), obydwą ostatnio przytoczone wzory mogą być stosowane powyżej pewnych temperatur nazwanych przez niego krytycznymi (dla stali np. temperatura krytyczna wynosi ok. 400°).



### Naprężenia przy pełzaniu

Granica pełzania  $\sigma_T$  w danej temperaturze nazwiemy najwyższą wartością naprężenia powodującego po upływie nieskończonego czasu obniżenie szybkości odkształcenia do wartości zerowej. Istnienie takiej granicy nie zostało bezpośrednio doświadczalnie ustalone ze względów oczywistych. Przypuszczalne zależności  $\sigma_T$  od temperatury przedstawia rys. 1 dla metali obu grup. Dla celów praktycznych przyjmuje się zazwyczaj pewne dopuszczalne odkształcenie i wyznacza naprężenia, które powodują jego osiągnięcie w określonym czasie (przy stałej temperaturze). Przyjmuje się również, jako kryterium dla wyznaczania dopuszczalnego naprężenia przy pełzaniu, określoną szybkość odkształcenia w drugim (ustalonym) przedziale krzywej  $\epsilon = f(t)$ . Tak pojęta praktyczna granica pełzania lub wytrzymałość przy pełzaniu sprowadza się w istocie do określenia oporu odkształcenia metalu przy danej temperaturze. Odkształcenie mierzone w czasie próby jest sumą wydłużenia sprężystego i trwałego; wielkość odkształcenia trwałego  $\epsilon_p$  mierzymy w końcu doświadczenia.

Przy pomocy prób pełzania określamy przydatność materiału do pracy pod obciążeniem statycznym, znajdując dla poszczególnych temperatur wielkości naprężeń powodujące po czasie dłuższym lub krótszym:

- 1) przełom,
- 2) żądane odkształcenie określone warunkami konstrukcji,
- 3) maksymalną dopuszczalną szybkość odkształceń w obranym okresie trwania próby.

### Próby krótkotrwałe

Wielkości naprężeń uzyskane z prób pełzania mogą być tylko wówczas stosowane przez konstruktora z całkowitą pewnością, gdy czas trwania próby był równy przewidywanemu okresowi pracy części maszynowej. Dla przeważającej ilości przypadków jest to nieosiągalne. Znane są próby trwające kilkadziesiąt tysięcy godzin; powszechnie stosuje się próby trwające tysiąc lub kilka tysięcy godzin. Oddawna istniała dążność ustalania takiej metody badania, która byłaby w stanie wyeliminować lub zastąpić próby długotrwałe. Usiłowania te nie zostały dotąd uwieńczone pomyslnym wynikiem, ponieważ zachowanie się metali w podwyższonych temperaturach jest wynikiem znacznej liczby czynników zależnych nie tylko od warunków przeprowadzenia próby, lecz związanych z materiałem metalowym. Próby skrócone do kilkudziesięciu godzin przyjęły się w okresie międzywojennym w ZSRR i krajach zachodnio-europejskich.

Typowymi są metody opracowane przez K. W. I. f. Eisenforschung oraz niewiele odbiegająca od nich próba DVM 117/118 (obecnie DIN 50117), przeznaczona do badania materiałów stalowych w temperaturach do 550°. Publikacje niemieckie zawierają znaczną ilość charakterystyk stali opracowanych wg tej metody. Jako wielkość wytrzymałości na pełzanie przyjęto taką wielkość naprężenia  $\sigma_{DVM}$  kG/mm<sup>2</sup> pochodzącą od obciążenia stałego, która w czasie pomiędzy 25 i 35 godziną trwania próby powoduje szybkość pełzania przy rozciąganiu równą 10<sup>-3</sup>%/h, z zastrzeżeniem (celem uniknięcia znacznych wydłużeń), iż całkowity przyrost długości po 45 godzinach wyniesie maksimum 0,2%

Próba ta okazała się niewystarczającą i często zawodną, gdyż nie oddaje rzeczywistego zachowania się metalu pod obciążeniem w zakresie dłuższych odcinków czasu, nawet we właściwym zakresie temperatur.

Siebel i Ulrich przyjmują dla określenia wytrzymałości, przy pełzaniu w danej temperaturze, wielkość naprężenia  $\sigma_{SU}$  kG/mm<sup>2</sup> odpowiadającą szybkości wydłużania 10<sup>-4</sup>%/h, po osiągnięciu pod tym naprężeniem odkształcenia 0,2%. Próba ta jest o tyle charakterystyczna, iż w określeniu naprężeń pełzania nie zawiera czynnika czasu (rys. 1).

Metoda relaksacyjna (16) polega na wyznaczeniu charakterystycznych naprężeń pełzania na zasadzie znajomości  $\sigma = f(t)$  przy stałym  $\epsilon$  (w danej temperaturze). Po obciążeniu wstępnym do ustalonej z góry wielkości wydłużenia  $\epsilon = \epsilon_p + \epsilon_s$ , przy dalszym wzroście długości następuje (przy użyciu samoczynnej aparatury) zmniejszenie obciążenia przywracające wyjściową wielkość  $\epsilon$ . W okresie kilkudziesięciu do kilkuset godzin ustala się wielkość naprężenia prawie niezmienna, z bardzo nieznacznym dalszym spadkiem. Zastosowanie tej metody dla lekkich stopów dało dobre wyniki; ponadto jest ona użyteczna jako pierwsza próba orientująca w doborze odpowiedniej wielkości naprężeń dla prób długotrwałych. Do badania stopów aluminium próbowano przystosować metodę DVM, uzyskując zgodność naprężeń przy szybkości pełzania = 4 · 10<sup>-4</sup> %/h ( $\epsilon_p = 0,03 \div 0,06\%$ ) z naprężeniami, które przy próbie długotrwałej dawały niezmiennie malejącą szybkość wydłużenia i nieznaczne (0,1 ÷ 0,2%) wydłużenia końcowe. Skrócona metoda dla stopów lekkich nie jest dotychczas opracowana. Wyniki rozmaitych krótkotrwałych prób dla tego samego materiału stalowego mogą wykazywać różnice w stosunku dochodzącym do 1:5 i z racji różnych warunków ustalania wielkości naprężeń nie dają się wzajemnie porównywać.

### Praktyczne wielkości naprężeń przy pełzaniu

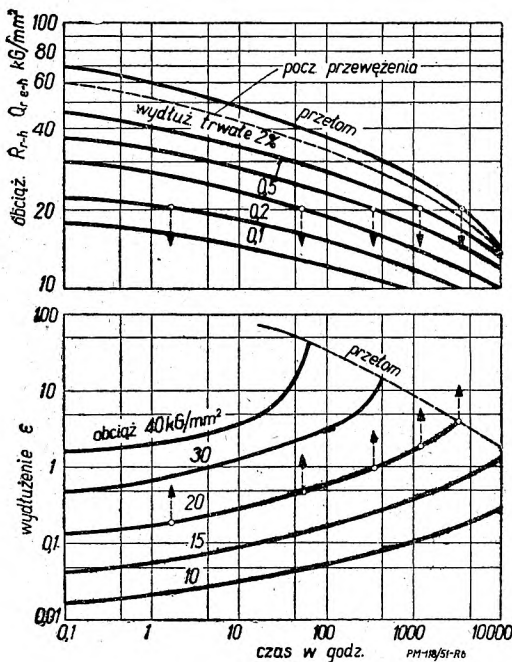
Praktycznymi wielkościami naprężeń dopuszczalnych w danej temperaturze będą te, które nie powodują po założonym (lub wynikłym z warunków pracy tj. temperatury) czasie pracy elementu, przekroczenia takiej wielkości odkształcenia, która jest narzucona warunkami konstrukcji. Innymi słowy — z czterech czynników: naprężenia, odkształcenia, czasu i temperatury — dwa są obieralne, pozostałe są związane z przebiegiem pełzania i zostają określone z posiadanych danych lub na drodze doświadczalnej. Wielkość naprężenia, powodująca osiągnięcie założonego odkształcenia trwałego po upływie określonego czasu, nazwiemy *granica wydłużenia przy pełzaniu* i oznaczmy ogólnie  $Q_{\epsilon \div t}$  lub  $S_{\epsilon \div t}$  kG/mm<sup>2</sup>, na podobieństwo granicy plastyczności lub sprężystości. Wielkości takie określimy dla różnych rodzajów obciążeń, tj. dla rozciągania, ściskania, zginania, skręcania i ścinania, dodając przed wielkością procentowego odkształcenia odpowiednie wskaźniki literowe. Podobnie określimy naprężenie niszczące przy pełzaniu jako naprężenie powodujące przy stałej temperaturze przełom po czasie  $h$  godzin trwania obciążenia np. przy obciążeniu rozciągającym  $R_{r-h}$  kG/mm<sup>2</sup>. Oznaczenia te zestawione są poglądowo w tablicy III.

TABLICA III.

Podstawa wymiarowania	czas pracy w godzinach					nieograniczony
	300	500	1000	10000	100000	
trwałe odkształcenie	naprężenie przy granicznym odkształceniu					umowna granica sprężystości
0,02%	$S_{0,02-300}$	$S_{0,02-500}$	$S_{0,02-1000}$	$S_{0,02-10000}$	$S_{0,02-100000}$	$S_{0,02}$ płynności $Q_{0,2}$
0,02%	$Q_{0,2-300}$	$Q_{0,2-500}$	$Q_{0,2-1000}$	$Q_{0,2-10000}$	$Q_{0,2-100000}$	
1,0 % itd.	$Q_{1,0-300}$	$Q_{0,1-500}$	$Q_{1,0-1000}$	$Q_{1,0-10000}$	$Q_{1,0-100000}$	
wytrzymałość (bez uwzględnienia odkształceń)	wytrzymałość					wytrzymałość statyczna
	$R_{r-300}$	$R_{r-500}$	$R_{r-1000}$	$R_{r-10000}$	$R_{r-100000}$	$R(r, c, g, t)$
ważność	w zakresie pełzania					poniżej zakresu temp. wg tabl. I
Naprężenie w zakresie wszelkich rodzajów obciążeń (rozciąganie, ściskanie, zginanie, skręcanie, ścinanie)						

Dane uzyskane z prób pełzania w postaci wykresów  $\epsilon = f(t)$  dla różnych wielkości naprężeń mogą być odwzorowane w układzie  $Q_{e-h}$  lub  $R_h$  jako funkcja czasu, w siatce logarytmicznej (rys. 6). Literatura ame-

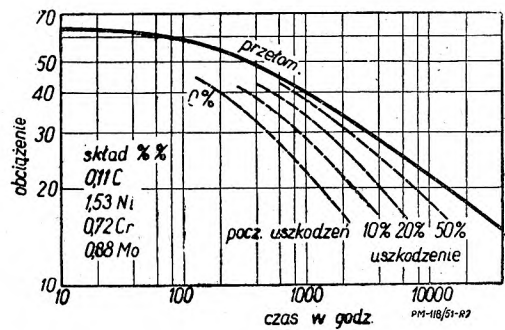
nym naprężeniom i czasom, dla których początkowa charakterystyka materiału nie uległa zmianie, przez podobieństwo do krzywej uszkodzeń przy obciążeniach powtarzalnych (17).



Rys. 6

rykańska zawiera szereg danych dotyczących granicy wydłużenia przy pełzaniu pod obciążeniem rozciągającym (które stanowi przedmiot przeważającej większości prac i badań), oraz  $R_{r-h}$ , w zakresie 1000 lub 3000 godzin. Ta ostatnia próba stanowi podstawę dla ekstrapolacji wykresów na dalsze odcinki czasu.

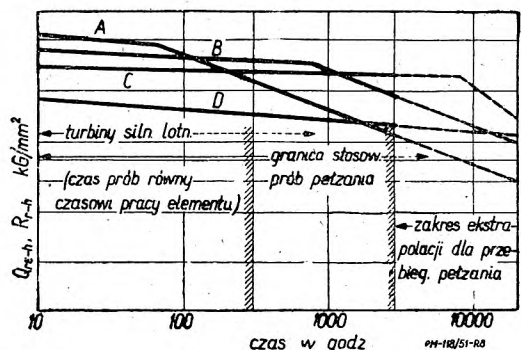
Ostatni odcinek krzywej  $\epsilon = f(t)$ , odznaczający się wzrostem szybkości odkształcenia aż do chwili przełomu, charakteryzuje się powstawaniem w materiale uszkodzeń, powodujących w końcu zniszczenie próbki. Stwierdzenie stopnia uszkodzenia przed nastąpieniem przełomu można przeprowadzić przez porównanie własności materiału w chwili osiągnięcia określonego wydłużenia, z danymi wyjściowymi i przez podanie procentowego uszkodzenia. Podobnie do omówionych linii  $\sigma = f(t)$  otrzymujemy linie uszkodzeń (rys. 7), przy czym linia zerowych uszkodzeń odpowiada maksymal-



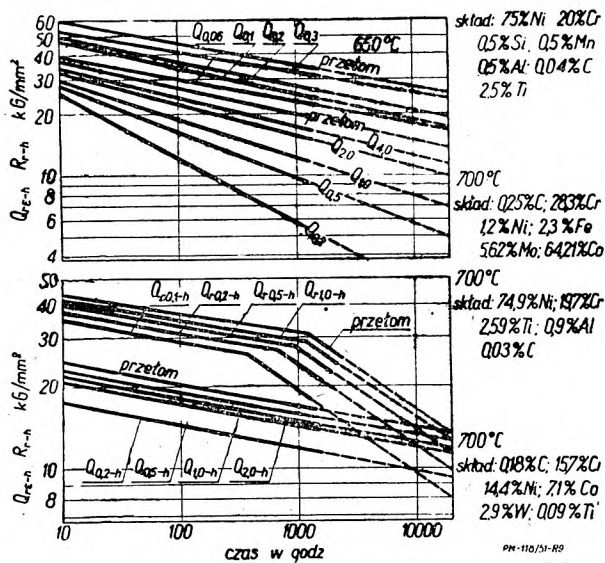
Rys. 7

Czułym wskaźnikiem uszkodzenia materiału jest uduchność, pozwalająca na łatwe wykrycie chwili utraty wyjściowych własności. Naprężenia, które wywołują powstanie uszkodzeń są tym samym wyższe od granicy pełzania  $\sigma_T$ . Znajomość warunków zjawienia się pierwszych uszkodzeń w przedmiocie metalowym, znajdującym się pod obciążeniem w temperaturze podwyższonej, jest dla konstruktora ważną wskazówką, pozwalającą na ustalenie bezpiecznego czasu pracy.

Czas pracy elementów mechanicznie obciążonych w temperaturach podwyższonych sięga od 10 lat i więcej w turbinach spalinowych stałych, do krótkich czasów rzędu 500 godzin w turbinach silników lotniczych. Dla tych ostatnich łatwo można przeprowadzić



Rys. 8



Rys. 9

próbę pełzania pod różnymi obciążeniami w granicach przewidzianego okresu pracy, natomiast dla materiałów na turbiny stałe i dla urządzeń o długim „życiu” konieczne jest przeprowadzenie ekstrapolacji wykresu  $\sigma = f(t)$ , uzyskanego z pomiarów wydłużeń pod sta-

łym obciążeniem. Wiele stali i stopów używanych do wyrobu elementów pracujących w temperaturach podwyższonych wykazuje na krzywych  $R_{r-h} = f(t)$  oraz  $Q_{r-h} = f(t)$  załamanie ku dołowi występujące po większej lub mniejszej ilości godzin pozostawiania pod obciążeniem. Okoliczność ta może być związana z ukończeniem procesu utwardzania dyspersyjnego, początkiem rekrytalizacji lub wydzieleniem fazy mniej odpornej na pełzanie. W związku z tym, w temperaturach rzędu 700° otrzymamy dla różnych stopów szereg typowych przebiegów zarówno wytrzymałości na zerwanie, jak i granic wydłużenia przy pełzaniu, przedstawionych schematycznie na rys. 8 (18). Stop typu A, posiadający początkowo znaczną wytrzymałość na pełzanie, zmienia swoje zachowanie już po czasie krótkim. Stop typu B może być z powodzeniem użyty dla turbin lotniczych, lecz dla turbin stałych jest gorszy od stopu D. W chwili obecnej dysponujemy zbyt niewielkimi danymi doświadczalnymi, aby móc określić, czy opisane załamanie linii  $Q_{r-h} = f(t)$  jest zjawiskiem ogólnym, czy dotyczy jedynie niektórych stopów. Przebieg omawianych linii może być rozmaity: mogą one być równoległe w obrębie tej samej temperatury i różnych odkształceń granicznych, mogą tworzyć wiązkę rozbieżną lub mogą załamywać się (rys. 9). Ogólne porównanie  $R_{r-1000}$  stali i stopów specjalnych (tzw. „superstopów”) oraz  $Q_{r0.1-300}$  dla stopów aluminium przedstawiają rys. 10 i 11. (c.d.n.)

## Stan obecny zagadnienia naprężeń dopuszczalnych

Skrót referatu wygłoszonego na Konferencji Wytrzymałościowej SIMP

Mgr inż. STEFAN ŻUKOWSKI

Można powiedzieć, że rozwój zagadnienia naprężeń dopuszczalnych jest wykładnikiem postępu technicznego. Właściwe jego postawienie może być źródłem daleko idących oszczędności przez potaniecie produkcji oraz przedłużenie okresu pracy maszyn, urządzeń i innych wytworów. W dobie obecnej zagadnienie to stało się szczególnie ważne, gdyż dojrzało do gruntownej rewizji i wysnucia wniosków o charakterze praktycznym.

W początkach rozwoju nauki wytrzymałości materiałów ówczesni inżynierowie, poddając obciążeniami specjalnie sporządzone części konstrukcji, wyznaczali obciążenia niszczące. Próby takie przeprowadzamy i obecnie, wkładamy w nie jednak inną treść.

Prof. M. T. Huber w swych „Kryteriach wytrzymałościowych w stereomechanice technicznej” tak ocenił istotę prób tego rodzaju:

„Wtedy poszukiwaną wytrzymałość rozpatrywanego ciała (elementu konstrukcyjnego albo zespołu takich elementów) określamy jako taką wielokrotność  $nP$  przewidzianych obciążeń użytkowych  $P$ , przy której pojawiają się przynajmniej w jednym miejscu ciała odkształcenia plastyczne (trwałe), albo pęknięcia, grożące przy dalszym zwiększaniu liczby  $n$  niedopuszczalnym odkształceniem lub uszkodzeniem. W praktyce wypada rozróżniać obciążenie grożące równe  $nP$  od obciążenia niszczącego  $n'P$ , przy czym  $n'$  jest większe

od  $n$ . Liczby  $n$  i  $n'$  nazywamy stopniem bezpieczeństwa albo pewnością:  $n$ -pewnością ze względu na obciążenie grożące, a  $n'$  — ze względu na obciążenie niszczące”.

Skrystalizowanie się pojęcia „wytrzymałości materiału” jako wyróżniającej go własności — było dalszym krokiem na drodze postępu. Przy zwykłym rozciąganiu określamy „pewność” (inaczej „stopień pewności” lub „współczynnik bezpieczeństwa”) jako liczbę  $n$ , przez którą należy podzielić doraźną wytrzymałość materiału  $R_r$ , aby otrzymać naprężenie bezpieczne  $K$  przy którym nie zachodzi obawa pojawienia się odkształceń trwałych: w tym przypadku  $n$  nazwiemy współczynnikiem bezpieczeństwa względem wytrzymałości doraźnej materiału badanego i wyrazimy to wzorem:

$$k_r = \frac{R_r}{n}$$

W praktycznych obliczeniach jednak stosuje się dla metali plastycznych, jako podstawę wyznaczania naprężeń dopuszczalnych, granicę plastyczności  $Q_r$ , przyjmując oczywiście inne wartości współczynników bezpieczeństwa.

W przypadku obciążeń złożonych zjawiają się trudności związane z wyznaczeniem miejsca największego wytężenia materiału, tj. miejsca

gdzie zajdzie najpierw niebezpieczne odkształcenie trwałe lub pęknięcie. To zagadnienie wymaga dodatkowych założeń, zwanych hipotezami wytrzymałościowymi. Celem ich jest określenie zależności, które pozwoliłyby obliczyć przy danych wartościach składowych jakiegokolwiek złożonego przypadku napięcia, tę wartość naprężenia w przypadku prostym, której odpowiada to samo wyężenie materiału. Istnieje wiele hipotez wytrzymałościowych. Za najbardziej zgodną z rzeczywistością w zastosowaniu do metali elastoplastycznych jest hipoteza właściwej energii odkształcenia postaciowego, której twórcą jest prof. M. T. Huber.

Dla materiałów kruchych za podstawę obliczeń przyjmuje się coraz powszechniej hipotezę *Griffitha* lub, jak w Związku Radzieckim, hipotezę *Saint Venanta*, według której zniszczenie materiału zachodzi wówczas, gdy największe wydłużenie osiągnie wartość graniczną.

#### Tabele naprężeń dopuszczalnych.

Istnieje wiele innych przyczyn utrudniających dobór naprężeń dopuszczalnych: dokładność wyznaczania obciążeń, ich rodzaj (statyczne, dynamiczne, uderzeniowe i zazwyczaj nieuwzględniana w nauce wytrzymałości niejednorodność materiału. Bardzo istotnym czynnikiem jest również możliwość chwilowego przeciążenia konstrukcji.

*Bach* sklasyfikował naprężenia dopuszczalne rozróżniając obciążenia: I — stałe, II — zmienne jednostronne oraz III — zmienne obustronne. Stosunek naprężeń dopuszczalnych w tych trzech przypadkach obciążeń przyjęto w oparciu o wyniki ogłoszonych wówczas prac *Wöhlera* następujące:

$$k_I : k_{II} : k_{III} = 3 : 2 : 1,$$

a dla rozmaitych rodzajów naprężeń:

$$k_r : k_c : k_g : k_t : k_s = 1 : 1 : 1 : 0,8 : 0,66;$$

dolne wskaźniki odpowiadają: *r* — rozciąganiu, *c* — ściskaniu, *g* — zginaniu, *t* — ścinaniu, *s* — skręcaniu.

Dla żeliwa *Bach* uwzględnił ponadto wpływ kształtu przekroju na dopuszczalne naprężenia przy zginaniu i skręcaniu. Zastosowany przez *Bacha* sposób ustalenia naprężeń dopuszczalnych nazywamy *sposobem tabelarycznym*. Jest on wciąż jeszcze w użyciu. Przykładem tego mogą być tablice podane przez *Bocka* (*Maschinenbau*, 1930, str. 638—639) oraz przez *Rötschera* (*Maschinenbau*, 1931, str. 80). Należy stwierdzić, iż tabele te różnią się od tabeli *Bacha* uwzględniając postęp w jakości wytwarzanych materiałów, a więc mniejszy rozrzut wytrzymałości doraźnej i wzrost naprężeń dopuszczalnych.

wg *Bocka* —  $k_I : k_{II} : k_{III} = 1,5 : 1,33 : 1$

wg *Fischera* —  $k_I : k_{II} : k_{III} = 1,45 : 1,18 : 1$

Jednakże praktyka konstruktora nie pozwoliła na ograniczenie się do tak prosto ułożonych tabelarycznych naprężeń dopuszczalnych. Zaczęto stosować szereg współczynników bezpieczeństwa opartych na praktyce z danej dziedziny konstrukcji specjalnych. Współczynniki takie miały tę zaletę, iż były proste w użyciu; wadą ich było natomiast, iż z natury swej były sztywne i nie nadawały się do przystosowania do zmienionych warunków pra-

cy nowej lub ulepszonej konstrukcji, chyba że w każdym szczególnym przypadku wprowadzono zmiany w oparciu o praktykę zakładu produkcyjnego.

Należy tu podkreślić z całym naciskiem, iż tak ujęty współczynnik bezpieczeństwa jest w gruncie rzeczy współczynnikiem naszej nieświadomości i bezsilności w ustaleniu faktycznie rządzących tym współczynnikiem praw, a więc i faktycznie niezbędnej rezerwy bezpieczeństwa.

#### Pierwsze próby zróżnicowania współczynników pewności

Już w końcu ubiegłego stulecia usiłowano zróżnicować funkcjonalny wpływ poszczególnych czynników na ogólną wartość współczynnika bezpieczeństwa, rozkładając go na szereg współczynników i poddając każdy z nich głębszej analizie. Przykładem może być rozbięcie współczynnika *n*, względem wytrzymałości doraźnej  $R_r$ , na cztery czynniki

$$n = a \cdot b \cdot c \cdot d.$$

Czynnik *a* ujmował zależność między wytrzymałością doraźną materiału a jego granicą sprężystości; czynnik *b* charakteryzował rodzaj naprężeń; czynnik *c* zależał od sposobu przyłożenia obciążenia; wreszcie *d* nazwano *czynnikiem nieświadomości*, gdyż w przeciwieństwie do czynników *a*, *b* i *c*, z których każdy charakteryzował pewne z góry założone warunki, ujmował wpływy niezbadane, albo całkowicie nieznanne. Przyjęto dla przeciętnych stali konstrukcyjnych  $a = 2$ , dla stali niklowych i innych podobnych  $a = 1,5$ ; dla naprężeń statycznych  $b = 1$ ; dla naprężeń obustronnie zmiennych  $b = 3$ ; dla obciążenia wzrastającego stopniowo  $c = 1$ , dla przyłożonego raptownie  $c = 2$ ; przy obciążeniu uderzeniowym czynnik ten ulegał dalszemu powiększeniu. Czynnik *d* przyjmowano w granicach od 1,5 do 2, lecz w niektórych przypadkach powiększano go nawet do 10; miał on np. uwzględnić możliwość przypadkowego krótkotrwałego przeciążenia maszyny lub urządzenia, albo nieoczekiwanie ciężkie warunki pracy, możliwość istnienia wad produkcyjnych materiału itd. Gdy wszystkie podane warunki były dostatecznie znane i nie przewidywało się możliwości przeciążenia wówczas przyjmowano dla miękkich stali  $d = 1,5$ , a dla żeliwa  $d = 2$ .

W oparciu o takie założenia zostały obliczone tablice, których przykładem może być tablica podana poniżej.

W tablicy a) zwraca uwagę wysoki współczynnik bezpieczeństwa konstrukcji stalowych budynków  $n=4$ , spowodowany przyjęciem zbyt wysokiej wartości  $d = 2$ .

Według nie dawno ogłoszonej polskiej normy tymczasowej dla stali budowlanej współczynnik *n* dla stali 015W37 dochodzi nawet do wartości  $n = 2,31$  (przy  $k_r = 1600 \text{ kg/cm}^2$ ); wartość tę co prawda można stosować tylko przy obliczeniach opartych na dokładnych metodach statycznych, z uwzględnieniem wszelkich możliwych obciążeń.

Należy stwierdzić, iż przyjęcie takich wartości współczynników bezpieczeństwa jest wyrazem postępu w tej dziedzinie konstrukcji i łączy się wyraźnie z postępowaniem w dziedzinie metalurgicznej. Wprawdzie dotyczy to konstrukcji stalowych z natury rzeczy nie poddawa-

Tablica współczynników bezpieczeństwa (wg Machinery's Handbook) a) w zależności od rodzaju konstrukcji

Rodzaj części	Czynniki				
	a	b	c	d	n
Kotły parowe	2	1	1	2,25	3 4,5 ÷ 6
Korbowody maszyn parowych podwójnego działania	1,5 ÷ 2	3	2	1,5	13,5 ÷ 18
Korbowody maszyn parowych pojedynczego działania	1,5 ÷ 3	2	2	1,5	9 ÷ 12
Wał obciążony kołem zamachowym, kołami pasowymi	1,5 ÷ 2	3	1	1,5	6,75 ÷ 9
Wrzeciono tokarki	2	2	2	1,5	12
Konstruk. stal. budynków					
„ „ mostów	2	1	1	2	4
„ „ o niewielkich rozmiarach	2	1	2	1,5	6
Żeliwny koniec koła zamachowego	2	1	1	10	20
Stalowy wieniec koła zamachowego	2	1	1	4	8

b) w zależności od rodzaju materiału

Materiał	Najmniejsze wartości czynników				
	a	b	c	d	n
Żeliwo i inne odlewy	2	1	1	2	4
Stal miękka	2	1	1	1,5	3
Stal odpuszczana w oleju oraz stal niklowa	1,5	1	1	1,5	2,25
Stal hartowana	1,5	1	1	2	3
Brąz oraz mosiądz, walcowane lub kute	2	1	1	1,5	3

nych tak trudno uchwytnym obciążeniom, jakie np. panują w częściach silników lub innych maszynach szybkobieżnych, to jest jednak dla nas wskazówką, jak poważnych wyników można oczekiwać od właściwie i wszechstronnie przeprowadzonej analizy. Należy podkreślić, że w Związku Radzieckim naprężenia dopuszczalne tej wielkości są stosowane już dosyć dawno. Wracając do różnicowej metody obliczania współczynników pewności, widzimy, iż obliczanie oparte jest na dość dowolnym doborze współczynników cząstkowych, zaczęto więc poszukiwać bardziej uzasadnionych mnożników współczynnika  $n$ .

**Współczynnik bezpieczeństwa o daleko posuniętym zróżnicowaniu czynników cząstkowych**

Sposób uprzednio podany, poprawny z punktu widzenia zastosowanej metody, nie uwzględnia wielu czynników wpływających na wartość współczynnika pewności. Istnieje metoda, w której to zróżnicowanie zostało dalej posunięte.

Jeżeli w rozważanej metodzie różnicowej ogólny współczynnik bezpieczeństwa oznaczamy przez  $n'$ , to:

$$n' \cdot k = \sigma_{max}$$

gdzie  $\sigma_{max}$  oznacza największe naprężenie, przyjęte za graniczne dla danych warunków pracy. Może więc ono być granicą plastyczności dla materiałów plastycznych, wytrzymałością doraźną — dla materiałów kruchych lub też granicą zmęczenia w przypadku naprężeń zmiennych.

$$n' = S.K.T.M,$$

przy czym na każdy z tych czterech współczynników składa się kilka czynników. Omówimy je po kolei.

Współczynnik  $S = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$  — jest właściwym współczynnikiem bezpieczeństwa, przy czym  $S_1$  jest współczynnikiem stopnia pewności materiału.  $S_2$  — uwzględnia stopień odpowiedzialności danej części, a  $S_3$  — uwzględnia przypadek obciążenia.

Ogólnie przyjmuje się  $S_1 = 1,10$  do  $1,20$  — dla odkuwek, oraz  $1,20$  do  $1,50$  — dla odlewów, przy czym mniejsze wartości odpowiadają lepszym metodom fabrykacyjnym. Czynniki  $S_2$  obiera się wg tego, jak wpływa zniszczenie danej części na pracę maszyny oraz czy naprawa jest łatwa i jej koszt nieduży (I), czy też przeciwnie (II).

Wartości  $S_2$  można przyjąć w przypadku gdy zniszczenie części

nie powoduje zatrzymania maszyny	1,00	1,10
powoduje	1,10	1,15
może wywołać poważne uszkodzenie maszyny	1,15	1,25

Wartości  $S_3$  przyjmuje się dla:

obciążeń statycznych	1,10
„ zmiennych pulsujących	1,20
„ „ obustronnie	1,35

albo opierając się na warunkach pracy:

$S_3$	dla maszyn powodujących w ruchu
1,05	nieznaczne wstrząsy i słabe drgania małej częstotliwości (np. tokarki, wentylatory itd.),
1,08	znaczne wstrząsy przy dużych częstotliwościach i dość silnych drganiach (np. silniki tłokowe),
1,12	silne wstrząsy i nawet uderzenia (np. sprężarki, strugarki podłużne itd.),
1,17	szybko zmieniające się w ruchu nierównomierne obciążenia (np. traki),
1,28	bardzo silne wstrząsy i uderzenia (np. łamacze, walcarki itp.).

Współczynnik  $K = K_1 \cdot K_2$  łączy grupę współczynników obliczeniowo-konstrukcyjnych, przy czym  $K_1$  — uwzględnia wpływ dokładności obliczenia, a  $K_2$  — uwzględnia spiętrzenie naprężeń.

Przy daleko posuniętym uwzględnieniu wszystkich sił, działających na układ (sił podstawowych i przypadkowych) przyjmuje się w obliczeniach przybliżonych  $K_1 = 1$ .  $K_1$  może zmieniać się od 1 do 3. Np., przy dokładnym obliczaniu żurawia, przyjmujemy naprężenie dopuszczalne  $k = 1200 \text{ kg/cm}^2$ ; w obliczeniach przybliżonych przyjmujemy  $k = 850 \text{ kg/cm}^2$  i wówczas

$$K_1 = \frac{1200}{850} = 1.4$$

Wartości  $K_2$  można przyjmować zgodnie z danymi referatu *prof. W. Moszyńskiego* (str. 173).

Współczynnik  $T = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3$ , gdzie  $T$  jest współczynnikiem technologicznym, przy czym

- $T_1$  — uwzględnia wpływ stanu powierzchni
- $T_2$  — „ „ naprężeń własnych oraz zestawczych (montażowych),
- $T_3$  — „ „ rodzaju pasowania.

Wg *Dobrowolskiego* dla  $T_1$  można przyjąć zależność:

$$T_1 = (1 + \alpha R \pm)^1$$

przy czym  $\alpha$  wyniesie dla powierzchni:

polerowanej	0,002 ÷ 0,001
szlifowanej	0,005 ÷ 0,003
dokładnie obrobionej przy użyciu noży tokarskich	0,008 ÷ 0,006
obrobionej z grubą przy użyciu noża tokarskiego	0,012 ÷ 0,010
po kuciu lub walcowaniu przy braku pęknięć powierzchniowych	0,015
po kuciu lub walcowaniu, przy obecności pęknięć	0,019
poddanej działaniu korozji	0,020

1)  $R \pm$  jest wytrzymałością zmęczeniową materiału przy obustronnym wyginaniu.

### O naprężeniach własnych

Naprężeniami własnymi nazywamy naprężenia istniejące w danej części konstrukcyjnej wówczas, gdy na nią nie działają siły zewnętrzne. Ten wstępny stan napięcia w materiale zachodzi jako skutek procesów produkcyjnych np. nierównomiernego oziębiania odlewów. Powodem tych naprężeń mogą być również plastyczne odkształcenia materiału. Z natury rzeczy wielkość naprężeń własnych jest mało znana. Mogą one jednak osiągać duże wartości, co potwierdzają przypadki pęknięcia gotowych części konstrukcyjnych jeszcze przed ich użyciem w pracy. Bardzo często naprężenia te są spowodowane niewłaściwym zaprojektowaniem danej konstrukcji, albo nieodpowiednimi metodami produkcji lub montażu.

Zarówno niewłaściwe wykonanie odlewu jak i wadliwa konstrukcja — mogą być źródłem poważnych szkód. Z jednej bowiem strony konstruktor traci zaufanie do stosowanych przez niego naprężeń dopuszczalnych (które zresztą mogą być dobrane całkiem racjonalnie), co prowadzi w konsekwencji do obniżania przez niego tych naprężeń, z drugiej strony winę za nieudane odlewy producenci są skłonni przerzucać na wady konstrukcji, gdy w istocie mogą to być błędy produkcji. Może być jednak i tak, iż wady konstrukcji decydują o złym odlewie z materiału we właściwy sposób przygotowanego, co znowuż może spowodować niesłuszną niechęć producenta do danego materiału. Jedyną właściwą drogą w tym przypadku jest jak najściślej współpraca między producentem a konstruktorem.

Można wyrazić pogląd, że duże naprężenia własne hamują postęp w dziedzinie właściwego operowania naprężeniami.

Należy więc dążyć wszelkimi środkami do usunięcia lub przynajmniej do zmniejszenia ich do granic, w jakich przestają one wywierać decydujący wpływ na całość zagadnienia naprężeń. Tkwi w tym duża „rezerwa wytrzymałościowa“ i nasz świat techniczny powinien podjąć zdecydowaną walkę o jej najlepsze wykorzystanie.

Zagadnieniu temu nie nadano dotychczas właściwego znaczenia, głównie z powodu trudności uchwycenia przyczyn wywołujących te naprężenia i braku odpowiedniej literatury. Ostatnio wyszła z druku monografia nieżyjącego już *inż. Cz. Kłoska*: „Naprężenia własne“ (nakładem Głównego Instytutu Metalurgii i Odlewnictwa, r. 1949), do której odsyłam zainteresowanych.

Wartości współczynnika  $T_2$  zazwyczaj oparte są na danych statystycznych. Np. w zakładach „Elektrobudowa“ (ZSRR) ustalono, że w wałach należycie wyżarzonych lub odpuszczonych, naprężenia własne są rzędu 15÷20% w stosunku do granicy plastyczności metalu, przy czym górna granica dotyczy wałów grubych.

Współczynnik  $T_3$  zależy od wielkości naprężeń powstających przy montażu, a także od wcisku pasowania.

Pierwsze pochodzą z niedokładności montażu przy czym może być to winą konstrukcji lub montażu. Ogólnie biorąc naprężenia montażowe są w przybliżeniu uchwytne obliczeniowo, chyba że mamy do czynienia ze szczególnie skomplikowanym przypad-

kiem. Naprężenia montażowe mogą przyjąć duże wartości i być przyczyną poważnych trudności. W zasadzie jednak włączamy je do obliczeń tylko wtedy, gdy z góry jest wiadomo, iż niedokładności tych uniknąć się nie da i gdy mogą one przybrać wyczuwalne wielkości.

Na uwagę zasługuje stan napięcia, który zachodzi w złozeniach włączanych. W zależności od wielkości wcisku stosuje się  $T_3 = 1,20 \div 2,20$ .

Współczynnik  $M = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3$ , ujmuje wpływ prób odbiorczo-zdawczych, przy czym

$M_1$  — uwzględnia wpływ ilości i różnorodności przeprowadzanych prób, miejsce pobrania próbek itp.,

$M_2$  — uwzględnia wpływ ogólnych wymiarów i stopień skomplikowania konstrukcji

$M_3$  — jest czynnikiem wprowadzanym przy obliczaniu współczynników wytrzymałościowych.

Odnosnie współczynnika  $M_1$  — należy mieć na uwadze, iż błędy zachodzące przy wyznaczaniu statycznych cech wytrzymałościowych materiału zawarte są w granicach  $\pm 3\%$ , podczas gdy cechy zmęczeniowe mają większy rozrzut (około 5%). Zaleca się, w przypadku stosowania zaostzonych warunków odbioru, przyjmować  $M_1 = 1,05$ , a przy odbiorze niezbyt ostrym  $M_1 = 1,10 \div 1,15$ .

Co do czynnika  $M_2$  odsyłam znów do referatu *prof. W. Moszyńskiego* (str. 173).

Czynnik  $M_3$  stosuje się przy obliczaniu dopuszczalnych naprężeń zmęczeniowych w przypadku ogólnym na podstawie naprężeń symetrycznych, przy przeliczeniu granic płynności przy różnych rodzajach naprężeń itd., współczynnik  $M_3$  obejmuje więc zagadnienia czysto wytrzymałościowe.

### O wyborze właściwej metody wyznaczania współczynników pewności

W praktyce stosowane są wszystkie omówione metody. Za najbardziej rozpowszechnioną uznać należy wciąż jeszcze tabelaryczny dobór naprężeń dopuszczalnych, pomimo iż jest to metoda najmniej dokładna i elastyczna w przypadku zmiany warunków pracy danego elementu. Jednak prostota jej oraz braki innych metod usprawiedliwiają stosowanie jej w praktyce. Należy tylko wyraźnie ograniczyć zakres stosowania współczynników tabelarycznych do obliczania części o drugorzędnym znaczeniu, zwłaszcza gdy chodzi o konstrukcje jednostkowe. Jeśli mamy do czynienia z częściami ważnymi lub nawet mniej ważnymi, lecz przeznaczonymi do produkcji masowej, należy obliczyć je z taką dokładnością, na jaką pozwalają nam podstawy teoretyczne i doświadczalne.

### Wnioski końcowe

W pogłębionej metodzie różnicowej ustaliliśmy, iż współczynnik bezpieczeństwa  $n'$  daje się rozbić na jedenaście współczynników. Czy obejmują one wszystkie ważne czynniki? Z całą pewnością — nie, gdyż istnieje cały szereg wymagań natury specjalnej, które nie są w nich uwzględnione. Czy wielkość wszystkich poprawek jest właściwa i czy nie wymaga rewizji? Z całą pewnością — tak. Można z góry stwierdzić, iż poprawki

te nie mogą być stałe i właściwe dla przemysłu każdego kraju, lub nawet dla każdej gałęzi przemysłu.

Natomiast jeżeli chodzi o ogólną metodę ustalania naprężeń dopuszczalnych lub współczynników bezpieczeństwa, to podane przykłady różnicowania współczynnika pewności wskazują niewątpliwie właściwą drogę.

Na podstawie przytoczonego wyżej materiału można wyprowadzić następujące wnioski:

- 1) naprężenia dopuszczalne stanowią w gospodarce kraju jeden z donioślejszych czynników stanowiących o właściwej pracy i wydajności przemysłu;
- 2) zagadnienie naprężeń dopuszczalnych dojrzało do całkowitej rewizji tak co do zasad postępowania, jak też co do wartości współczynników bezpieczeństwa;
- 3) właściwe postawienie tego zagadnienia może być dokonane tylko przy najszerszej współpracy wszystkich zainteresowanych tym czynników,

4) wydaje się celowym powołanie specjalnie do tego celu przeznaczonych placówek, któreby zajęły się całością tych zagadnień.

Wiemy, jak duże korzyści bezpośrednie i pośrednie przyniosło i przynosi nadal wprowadzenie metod szybkościowego skrawania. Nie będę daleki od prawdy, jeżeli powiem, że właściwe postawienie zagadnienia naprężeń dopuszczalnych, w połączeniu z możliwie najszerszym zainteresowaniem świata technicznego tym problemem, da krajowi jeszcze większe korzyści, tak z punktu widzenia prawdziwie racjonalnego konstruowania, jak też z powodu wynikającej stąd oszczędności na materiałach konstrukcyjnych.

Na zakończenie można stwierdzić, że celem tego referatu nie było wyczerpanie materiału, dotyczącego współczesnych osiągnięć na odcinku zagadnienia naprężeń dopuszczalnych, lecz próba syntetycznego ujęcia kierunków rozwojowych w ich głównym zarysie, aby móc skierować uwagę kół technicznych na ważność tego zagadnienia.

## Wiadomości SIMP

### KONFERENCJA WYTRZYMAŁOŚCIOWA SIMP

W dniach 20 i 21 kwietnia br. odbyła się w Warszawie Ogólnokrajowa Konferencja Wytrzymałościowa.

Konferencję Ogólnokrajową poprzedziły narady terenowe, które odbyły się: w Katowicach dn. 16. X. 50 r., w Krakowie dn. 18. V. 50 r., we Wrocławiu dn. 23. X. 50 r. i w Gdańsku dn. 30. X. 50 r.

Narady terenowe miały na celu zaznajomienie naukowców z potrzebami przemysłu, a z drugiej strony zaznajomienie pracowników biur konstrukcyjnych z aktualnym stanem nauk związanych z zagadnieniami wytrzymałościowymi oraz z praktycznym ich zastosowaniem w produkcji.

Tematyką tych narad, jak i przygotowaniach do Ogólnokrajowej Konferencji Wytrzymałościowej żywo interesował się zmarły *prof. dr inż. M. T. Huber*, który w swym liście przekazał uwagi i wskazania organizatorom Konferencji Wytrzymałościowej.

Prezes SIMP — *kol. Zb. Moszyński*, inaugurując Konferencję powiedział:

„Przed pół rokiem odszedł z naszego grona człowiek nieprzeciętny, wielki uczony, laureat Państwowej Nagrody Naukowej, *profesor Maksymilian Tytus Huber*.

Konferencję Wytrzymałościową traktujemy jako złożenie hołdu temu Wielkiemu Uczonemu, który wytrzymałość pchnął na nowe tory i który w literaturze światowej imię Polskiej Nauki, dzięki swoim pracom, tak wspaniale zapisał“.

Następnie *prof. W. Moszyński* omówił pokrótce życiorys i prace *prof. M. T. Hubera* oraz jego olbrzymie zasługi jako badacza, pedagoga i organizatora na niwie naukowo-społecznej, między innymi przytoczył zdanie, że: „*Profesor Huber* żyje w swym dziele, które na długie lata będzie podstawą naszej pracy na odcinku mechaniki“.

Konferencji przewodniczyli: *prof. dr inż. Wacław Moszyński* z Politechniki Warszawskiej, *prof. dr inż. Witold Nowacki* z Politechniki Gdańskiej oraz *prof. dr inż. Zenobiusz Kłębowski* z Politechniki Warszawskiej.

Uczestnikami Konferencji byli przedstawiciele biur konstrukcyjnych, zakładów przemysłu metalowego i hutniczego, uczelni technicznych oraz instytutów naukowo-badawczych w ilości ponad 250 osób.

Uczestnicy zaznajomili się z najnowszymi metodami obliczeń, jak i metodami doświadczalnego badania naprężeń — ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień najpilniejszych i najważniejszych dla realizacji Planu 6-letniego.

Na program Konferencji złożyły się referaty:

*prof. W. Olszak* (Akademia Górnicza — Kraków) „Aktualne zagadnienia w naukach wytrzymałościowych“;

*prof. Z. Kłębowski* (Politechnika Warszawska) „Teorie i hipotezy wytrzymałościowe w zastosowaniu praktycznym“;

*prof. B. Bochenek* (Politechnika Warszawska) „Niektóre zagadnienia mechanizmu wytrzymałości metali“;

*inż. W. Nowacki* (Politechnika Gdańska) „Stan i postęp w dziedzinie metod matematycznych stosowanych w naukach wytrzymałościowych“;

*prof. W. Moszyński* (Politechnika Warszawska) „Zagadnienie zmęczenia materiałów w ujęciu wytrzymałościowych obliczeń części maszyn“;

*inż. T. Pełczyński* (Główny Instytut Mechaniki — Wrocław) „Wpływ stanu napięcia na przejście stanu materiału w stan plastyczny“;

*prof. M. Janusz* (Politechnika Śląska) „Badania modelowe ustrojów prętowych statycznie niewyznaczalnych“;

*inż. J. Pindera* (Główny Instytut Lotnictwa) „Doświadczalne metody analizy naprężeń“;

*inż. A. Latour* (Główny Instytut Mechaniki) „Zagadnienia metodyki badania ścieralności metali“;

*prof. B. Bochenek* (Politechnika Warszawska) „Wytrzymałość materiałów w temperaturach podwyższonych“.

*prof. St. Zukowski* (Szkoła Inżynierska — Warszawa) „Stan obecny zagadnienia naprężeń dopuszczalnych“.

Ponadto w trakcie konferencji zademonstrowano metody wyznaczania naprężeń wewnętrznych oraz metody doświadczalnego rozwiązywania ustrojów statycznie niewyznaczalnych.

W czasie ożywionej dyskusji, jaka wywiązała się w związku z wygłoszonymi referatami — liczni dyskutanci stwierdzili, że omawiane na Konferencji zagadnienia posiadają doniosłe znaczenie dla unowo-

czeństwa, polepszenia i obniżenia kosztów konstrukcji mechanicznych oraz podkreślili celowość organizowanych przez SIMP Konferencji naukowo-technicznych.

Na zakończenie zebrani uchwalili rezolucję, stanowiącą podsumowanie wniosków wynikających z dyskusji.

Zebrani na Ogólnokrajowej Konferencji Wytrzymałościowej, naukowcy, konstruktorzy i technolodzy, po wysłuchaniu i przedyskutowaniu referatów omawiających aktualne zagadnienia wytrzymałości materiałów konstrukcyjnych, stwierdzają:

1) Forma współpracy naukowców z technikami pracującymi w przemyśle realizowana przez SIMP jest celowa i daje konkretne korzyści dla popularyzacji nauki i jej aktualnych zagadnień w przemyśle.

2) Tematy poruszane na Konferencji stanowią istotne zagadnienia przemysłu metalowego i powinny być podane do ogólnej wiadomości w formie dostępnego wydawnictwa. Jako szczególnie ważne zagadnienie podnoszą zebrani udostępnienie konstruktorom nowoczesnych metod obliczeń zmęczeniowo-kształtowych, szeroko stosowanych od dawna w Związku Radzieckim.

3) Zebrani widzą konieczność powołania Sekcji Wytrzymałości Materiałów Konstrukcyjnych SIMP,

która by zajęła się propagowaniem nowoczesnych metod obliczeniowo-konstrukcyjnych poprzez opracowywanie wydawnictw, ilustrowanych praktycznymi przykładami, a niezbędnych dla konstruktora.

4) W związku z koniecznością poparcia wyników obliczeniowych doświadczeniami laboratoryjnymi, zebrani uważają za celowe zorganizowanie przez odpowiednie czynniki sieci terenowych laboratoriów materiałoznawczych, służących pomocą biurom konstrukcyjnym.

5) Doceniając olbrzymie znaczenie dorobku naukowego prof. M. T. Hubera dla techniki polskiej, zebrani uchwalają zwrócić się do Władz o jak najszybsze podjęcie zbiorowego wydania prac prof. Hubera i udostępnienie ich najszerszym kołom polskich techników.

W obliczu realizacji II roku Planu 6-letniego, uczestnicy Ogólnokrajowej Konferencji Wytrzymałościowej stwierdzają, że przeniesienie tematyki Konferencji na Zakłady Pracy spowoduje wydatne unowocześnienie, polepszenie i potaniecie konstrukcji mechanicznych, przyczyniając się tym samym do szybszej realizacji Narodowego Planu Gospodarczego i wzmocnienia frontu walki o Pokój na świecie.

## Kronika

### NAJWIĘKSZA W POLSCE ELEKTROWNIA WODNA

W Dychowie trwa budowa elektrowni o mocy znacznie wyższej od największej dotychczas w kraju elektrowni wodnej w Rożnowie. Urządzenia do elektrowni dostarczane są przez te same radzieckie zakłady przemysłowe, które wyposażają giganty hydroenergetyczne w ZSRR.

Dzięki braterskiej pomocy Związku Radzieckiego, jeszcze przed końcem bieżącego roku miasta i wsie w całej zachodniej części kraju, od Dolnego Śląska po Szczecin, korzystać będą z energii przesyłanej przez elektrownię dychowską.

### SUSZENIE PROMIENIAMI PODCZERWONYMI

Fabryka wagonów „Pafawag“ jako pierwsza zainicjowała stosowanie nowoczesnej metody suszenia wagonów promieniami podczerwonymi. Metoda ta umożliwia skrócenie czasu suszenia wagonu z 3 godzin do 20 min, natomiast suszenie podwozia z 6 godzin na 1 godz. 30 min.

### WSPÓLPRACA POLSKO-RUMUŃSKA W DZIEDZINIE TECHNIKI

Z Bukaresztu powrócił sekretarz generalny NOT, inż. J. W. Czarnowski, który reprezentował Naczelną Organizację Techniczną na kongresie rumuńskich inżynierów i techników, odbytym w dniach 27—31 maja br.

Kongres poświęcony był omówieniu sposobów zwiększenia współpracy rumuńskich inżynierów i techników z robotnikami w celu jak najszerszej realizacji postępu technicznego i rozwoju współzawodnictwa.

„Dotychczas między Rumunią a Polską — mówi inż. Czarnowski — nie było ścisłej współpracy w dziedzinie techniki. Udział delegata polskiego w kongresie w Bukareszcie powinien wpłynąć na znaczne rozszerzenie tej współpracy. Postanowiliśmy wspólnie z kolegami rumuńskimi rozpocząć stałą wymianę czasopism i książek technicznych. Będziemy się również dzielić nabytymi doświadczeniami. Współpraca

taka, stanowiąca konsekwencję niedawno podpisanego układu z Rumunią przyniesie obu krajom wiele pożytku i korzyści.“

### UTWORZENIE CENTRALNEGO BIURA PRZYRZĄDÓW NAUKOWYCH I LABORATORYJNYCH

Przewodniczący PKPG i Minister Przemysłu Ciężkiego wydali zarządzenie zorganizowania krajowej produkcji naukowych i laboratoryjnych przyrządów oraz przemysłowej aparatury kontrolno-pomiarowej, powierzając realizację tych zagadnień nowoutworzonymu Biuru Przyrządów Naukowych i Laboratoryjnych.

### OTWARCIE PIERWSZEGO W POLSCE GABINETU OCHRONY PRACY

Ogniwa związkowe, administracje zakładów pracy, całe załogi oraz Centralny Instytut Ochrony Pracy doceniając wielką troskę Państwa o zapewnienie robotnikom jak największego bezpieczeństwa pracy, organizują w zakładach specjalne gabinety bezpieczeństwa i higieny pracy.

Oto w zakładach im. Stalina w Poznaniu z okazji czynu 1-Majowego otwarto pierwszy w Polsce taki gabinet. Zawiera on wystawę obrazującą poglądowo jak powinno wyglądać zabezpieczenie miejsc pracy robotnika-metalowca, posiada bogaty dział instruktażu praktycznego, wystawę obrabiarek wzorowo zabezpieczonych, a barwne makiety i tablice pokazują właściwe z punktu bezpieczeństwa pracy rozwiązania transportu wewnętrznego i metody jego obsługi.

Obok tablic instruktażowych, pokazujących jak należy pracować, widnieją tablice uwypuklające najczęściej popełniane błędy w pracy, które stać się mogą przyczyną wypadku.

W gabinecie ochrony pracy urządzono czytelną specjalnie zaopatrzoną w literaturę traktującą o zagadnieniach bezpieczeństwa i higieny pracy oraz urządzono stałą wystawę odzieży ochronnej produkowanej w Polsce.

WYDAWCA: NACZELNA ORGANIZACJA TECHNICZNA, WARSZAWA, Czackiego 3/5

Komitet Redakcyjny: prof. inż. IGNACY BRACH, inż.-mech. PAWEŁ KOSIERADZKI, inż.-mech. EDWARD ŁYSAKOWSKI, inż.-mech. EUGENIUSZ MAŁKIEWICZ, inż.-mech. STANISŁAW KULESZA, inż.-mech. JAN OBALSKI, prof. dr inż.

ROBERT SZEWAŁSKI, inż.-mech. ADAM TADEUSZ TROSKOŁAŃSKI

Redaktor Naczelny: inż.-mech. MARIAN WAKAŁSKI

Z-ca Redaktora Naczelnego: inż.-mech. WŁADYSŁAW KAWĘCKI

Sekretarz redakcji: HALINA MIKULSKA

Redaktor techniczny: CZESŁAW PIEKARSKI

Rysunki wykonał: STANISŁAW LIPIŃSKI

PKO Nr konta 1-19881/110.



# PRZEGLĄD BIBLIOGRAFICZNY MECHANIKI

OPRACOWANY PRZEZ OŚRODKI DOKUMENTACJI  
GŁÓWNEGO INSTYTUTU MECHANIKI

DODATEK DO MIESIĘCZNIKA „PRZEGLĄD MECHANICZNY”

ROCZNIK 2

WARSZAWA, CZERWIEC 1951

NR 6

## OŚRODEK DOKUMENTACJI OBRABIAREK I NARZĘDZI

### E – EKONOMIZACJA PRODUKCJI

EK – Kalkulacja warsztatowa i plany operacyjne.

117 EK 621.91.07:658.54:621.9.01 B2 6—51  
Lickley J. M., Chisholm A. J. **Ekonomia operacji obróbkowych**. „The Economics of Mechining Operations”. Machinery, London, tyg., t. 75, nr 1933, 1949, s. 673, 18 × 24 cm, 6 str., 5 wykr., 7 poz. bibl. — Zagadnienie zmniejszenia ogólnych kosztów produkcji przez zmniejszenie kosztów jednostkowych oraz odpowiedni dobór szybkości produkcji. Omówiono czynniki wpływające na te dwie wielkości, a wyniki zestawiono na wykresach. Podano schemat zestawienia kosztów obróbki. Przeprowadzono dyskusję wpływu warunków praktycznych, takich jak moc obrabiarki, siły skrawania, drgania posuwu i okres trwałości narzędzia.

118 EO:ES:SUI 658.51 B2 6—51  
**O rozwinięciu szybkościowych metod obróbki w przedsiębiorstwach Ministerstwa Budowy Obrabiarek**. „O rozwoju skorostnych metod obrabotki na przedpri-jatigjach Ministerstwa Stankostrojenija”. Stan k i i Instrument, Moskwa, mies., t. 21, nr 7, 1950, s. 31, A4, 1 str. — Komitet Centralny Związku Zawodowego Pracowników M. S. S. zapoznał się z obecnym stanem rozwoju szybkościowych metod skrawania w przedsiębiorstwach M. S. S. i nakreślił wytyczne dla dalszego rozwoju i rozszerzenia metod szybkościowych na inne dziedziny pracy. Podano sprawozdania z poszczególnych fabryk.

### N – NARZĘDZIARSTWO

NE – Zużycie narzędzi.

119 NE:NX:EK 658.56:921.941.23.02 B2 6—51  
Morgan C. R. **Węglik spiekane zwiększają produkcję na automatach**. „Carbides Produce More on Automatics”. Machinist, London, tyg., t. 94, nr 36, 1950, s. 1313, A4, 2,5 str., 3 rys. — Praktyczne wskazówki dla obsługującego automat, określające sposób w jaki można uzyskać największą wydajność i warunki, na które należy zwrócić szczególną uwagę, aby osiągnąć najlepsze wyniki obróbki. Rysunki przedstawiają urządzenie kierujące imakiem narzędziowym i podziałką ułatwiającą zamocowanie noża przy jego wymianie.

120 NK:SW1:OK 621.951/952 B2 6—51  
Leszczyński T. **Technologia metali — wiertarki**. 1 wyd. Katowice, 1948, Spółdz. Wyd. „Meta”, D, 14 × 21 cm, 82 str., 81 rys., 7 tab., 1 wykr. — Książka popularna, omawiająca konstrukcję wszelkiego rodzaju narzędzi do wiercenia, różne typy obrabiarek do obróbki wierceniem, przyrządy pomocnicze oraz sam proces wiercenia. Podano warunki skrawania umożliwiające przeprowadzenie obliczeń kalkulacyjnych. Zagadnienia zilustrowano przykładami. Omówiono krótko proces rozwiercania i konstrukcje rozwiertaków. Podano przykłady użycia skrzynek i przyrządów wiertniczych.

121 NK 621.914.02 B2 6—51  
Johnson W. W. **Frez specjalny do nacinania promienio-wych rowków w kształcie litery „V”**. „Special Hob Cuts Radial V-Grooves”. Machinist, London, tyg., t. 94, nr 38, 1950, s. 1385, A4, 1,5 str., 1 fot., 5 rys. — Opis konstrukcji freza modułowego i jego rysunek ze wszystkimi wymiarami. Dane potrzebne do obróbki (koła zmianowe, kąty nachylenia itp.).

122 NK 621.941.23.02 B2 6—51  
Lund J. **Narzędzie przegubowe do obróbki komory tłoka**. „Swivel Tool Bores Piston Chamber”. Machinist, London, tyg., t. 94, nr 38, 1950, s. 1384, A4, 1,5 str., 1 fot., 4 rys. — Opis obróbki komór tłoków silników spalinowych złożonej z czterech operacji na rewolwerówce. Konstrukcja narzędzia, przyrządu kierującego i uchwytu.

123 NK:SU 621.914.2.02 B2 6—51  
Sinawski W. (Jones & Samson Machine Co.). **Frez ze stali szybko tnącej o dużych kątach natarcia pracuje podobnie jak węglik**. „HSS, plus High Angles, Mills Like Carbide”. Machinist, London, tyg., t. 94, nr 38, 1950, s. 1380, A4, 2 str., 5 rys. — Próby skrawania frezami ze stali szybko tnącej o znacznie zwiększonych kątach natarcia dały doskonałe wyniki praktyczne. Podano dokładną geometrię narzędzia i warunki skrawania. Stosowano dodatnie kąty natarcia, równe około 30°.

124 NK:NM:MN:SUI 621.91.07:621.75:621.9.01 B2 6—51  
Tomilin G. N., Miasnikow W. P., Żurawlew G. A. **Narzędzia do szybkościowego skrawania metali**. „Instrumenty dla skorostnowo riezanja mietalłow”. 1 wyd. Moskwa, 1950, Masz g iz, cena 12 rb. D, A5, 232 str., 162 rys., 54 tab., 47 poz. bibl. — Zebrano konieczny materiał do racjonalnego projektowania narzędzi do szybkościowego skrawania metali. Ujęto dane dla konstrukcji noży, frezów, pogłębiaczy, rozwiertaków i wiertel zaopatrzonych w płytki ze spiekanych węglików metali. Podano pełną charakterystykę węglików spiekanych, produkowanych w ZSRR (skład chemiczny, własności fizykalne i wytrzymałościowe, zastosowanie, normy) i porównano je z węglnikami zagranicznymi, klasyfikację kształtów ostrzy, łamaczy i zwijaczy wiórów, wartości parametrów ostrzy do skrawania szybkościowego, umożliwiając zaprojektowanie ostrza, w zależności od rodzaju obróbki, materiału skrawanego i przewidywanych warunków skrawania. Omówiono również konstrukcję narzędzi składanych i noży tokarskich z wkładkami mocowanymi mechanicznie. Zwrócono uwagę na narzędzia styczne z wkładkami wielostrzowymi jako na konstrukcje specjalnie zalecane do szybkościowej obróbki metali. Podano obfity materiał dla konstruktorów narzędzi wielostrzowych: frezów, rozwiertaków, wiertel, itp. w postaci przykładów konstrukcji wymienionych narzędzi. Omówiono nową metodę przecinkowego toczenia gwintów oraz nowoczesne metody elektroerozyjnej obróbki narzędzi z płytkami ze spiekanych węglików.

125 NP:SW1 621.753:621.951.45:658.561 B2 6—51  
(English Steel Corp.). **Fabryka produkująca wiertła kręte metodą potokową**. „Conveyor-Flow Twist Drill Manufacturing Plant”. Machinery, London, tyg., t. 75, nr 1933, 1949, s. 690, 18 × 24 cm, 2 str., 3 fot. — Pobieżny opis sposobu produkcji wiertel metodą potokową, zawierający tylko cechy zasadnicze, nie zezwalające na bliższe zapoznanie się z samym procesem. Wiertła przechodzą od stanowiska do stanowiska na taśmie transportera aż do ostatecznego wykończenia.

### ○ – OBRABIARKI

OC – Części obrabiarek.

126 OC:OK 621.915—219.12 B2 6—51  
Berustam A. Je. **Modernizacja mechanizmu podnoszenia stołu obrabiarki do szybkościowego frezowania**. „Modernizacja uzła podjoma stoła stanka dla skorost-

nowo friezirowanją". *Stanki i Instrumenty*, Moskwa, mies., t. 21, nr 7, 1950, s. 23, A4, 0,5 str., 2 rys. — Autor przeprowadza krytykę obecnych konstrukcji podkreślając konieczność wymiany nakrętki. Opisuje nową konstrukcję mechanizmu podnoszenia stołu, działającą na zasadzie łożyska kulowego. Mechanizm taki pracował 1,5 roku bez uszkodzenia, tj. trzy razy dłużej niż poprzednie konstrukcje.

127 OC 621.941—585.12 B2 6—51  
(Warner & Swassey Co, Cleveland USA). **Układ kół zębatych wrzeciennika tokarki.** „Lathe Headstock-Gearing“. *Machinery*, London, tyg., t. 75, nr 1934, 1949, s. 726, 18 × 24 cm, 1 str., 2 rys. — Opis konstrukcji układu wrzeciennika tokarki o 12 szybkościach. Układ posiada hydrauliczny mechanizm zwrotny wrzeciona, zezwalający zarazem na wolny bieg w przód dla zmiany kół.

128 OC:SK 621.941.2:621.834 B2 6—51  
Moutrie D. W. **Listy do wydawcy. Hałasliwe koła zębate tokarki.** „Letters to the Editor. Moisy Lathe Gears“. *Machinery*, London, tyg., t. 75, 1949, nr 1932, s. 546, i nr 1940, s. 933, 18 × 24 cm, 1 str., 1 poz. bibl. — Konstruktor tokarki stwierdził, że, mimo poprawnego sporządzenia kół zębatych, po zmontowaniu obrabiarek, koła bez uzasadnionej przyczyny wydawały nieznośny hałas. Hałas ten usunęto dopiero po zmianie odlewni wykonującej odlew na te koła. (*Machinery*, nr 1932). Wyjaśnia ten fakt odpowiedź (*Machinery*, nr 1940), w której autor, niezależnie od teoretycznego uzasadnienia (struktura odlewu), zaleca założenie pierścieni tłumiących po obu stronach koła.

129 OE:OK 621.941.23 B2 6—51  
Bondar M. P., Orlikow M. L., Lopata A. Ja. **Ustawianie automatów i półautomatów tokarskich.** „Naładka tokarnych awtomatów i póławtomatów“. 1 wyd., Moskwa, 1950, Maszginz, cena 13, 30 rb. D, A5, 275 str., 2 fot., 116 rys., 35 tab., 3 wykr., 16 poz. bibl. — Podręcznik dla pracowników obsługujących następujące obrabiarki produkcji radzieckiej: jednowrzecionowy automat do robót z pręta 110, automat tokarski 1136 i jego odmiany, jednowrzecionowy automat 1106, wielonożowy półautomat 116-2, wielonożowy półautomat 1730, sześciowrzecionowy automat do robót z pręta 1261. Opisano konstrukcję wymienionych obrabiarek ilustrując opis dużą ilością rysunków. Podano metody ustawiania opisywanych typów automatów oraz liczne przykłady ułatwiających zastosowanie przytoczonych danych w praktyce. Przytoczono przyczyny braków i sposoby zabezpieczenia maszyn przed trudnościami w pracy i uszkodzeniami. Do opisu poszczególnych obrabiarek dołączono część ogólną, zawierającą analizę metod pracy automatów, półautomatów, metody projektowania krzywek dla napędów rozmaitych typów, zasady projektowania narzędzi i obsługi obrabiarek. Książka zaopatrzoną jest w liczne tablice znacznie upraszczające projektowanie krzywek sterujących i narzędzi.

OK — Konstrukcja i zagadnienia teoretyczne obrabiarek.

130 OK 621.915:621.834 B2 6—51  
**Uniwersalna frezarka do kół zębatych firmy Sykes.** „Sykes Universal Hobber“. *Machinist*, London, tyg., t. 94, nr 33, 1950, s. 37, A4, 1 str., 3 fot. — Prócz ogólnego opisu frezarki, podano możliwości wykonywania kół do średnicy 350 mm, poczynając od najmniejszej ilości zębów.

131 OK:OC 621.924—522 B2 6—51  
(Norton Co., Worcester USA). **Automatyczny mechanizm hydrauliczny do szlifierki cylindrycznej.** „Automatic Hydraulic Cycle for Cylindrical Grinder“. *Machinery*, London, tyg., t. 75, nr 1938, 1949, s. 833, 18 × 24 cm, 2 str., 1 rys. — Opis działania i schemat konstrukcji szlifierki, która, dzięki mechanizmowi hydraulicznemu, sterowanemu elektrycznie za pomocą wentyli solenoidowych, wykonuje samoczynnie cykl: 1) szybkie zbliżenie tarczy do przedmiotu, 2) przerywa-

ny posuw do obróbki zgrubnej, 3) dokładny posuw do obróbki wykańczającej, 4) zatrzymanie się.

132 OK 621.941.27 B2 6—51  
**Tokarka Herbert Swift z kontrolą optyczną.** „Herbert Swift Lathe with Optical Control“. *Machinery*, London, tyg., t. 75, nr 1930, 1949, s. 568, 18 × 24 cm, 5,2 str., 3 fot., 13 rys. — Opisano tokarkę zbudowaną specjalnie do obróbki skrzynek kompresorów lotniczych, posiadających na swej wewnętrznej, zbieżnej powierzchni 13 bruzd pierścieniowych w kształcie jaskółczego ogona. Tokarka zaopatrzona jest w układ optyczny z ekranem umożliwiającym kontrolę ruchów narzędzi i ich należyte ustawienie. Opisano przebieg operacji podając szczegóły dotyczące narzędzi i sposobu działania układu optycznego.

133 OK:SUI 621.9.01:621.91.07 B2 6—51  
Prokopowicz A. E. **Skrawanie szybkościowe i modernizacja obrabiarek do metali.** „Skorostnoje riezanie i modernizacja mietalorieżuszczyszch stankow“. 1 wyd. Moskwa, 1949, Izdat. „Pravda“, cena 60 kop., A5, 26 str., 1 fot., 8 rys., 1 wykr. — Omówiono krótko teoretyczne podstawy skrawania szybkościowego narzędziami z ostrzami ze spieków i podkreślono różnice między narzędziami używanymi obecnie i dawniej. Zestawiono własności spieków radzieckich i podano ich właściwą geometrię ostrza. Przytoczono wyniki uzyskane przez niektórych stachanowców. Zanalizowano zmiany konstrukcyjne, jakich wymaga zmiana procesu skrawania od obrabiarek. Kolejny omówiono tokarki, rewolwerówki i frezarki istniejące w fabrykach radzieckich oraz metody ich przebudowy, przy których nie zmniejszy się ich dokładność i okres pracy. Zwrócono uwagę na organizację robót i czas potrzebny na dostosowanie obrabiarek do skrawania szybkościowego.

OT — Elektronika w obrabiarkach.

134 OT:OK 658.561:621.385 B2 6—51  
Métral A. L. **Zastosowanie elektroniki w seryjnej produkcji mechanicznej.** „Application de l'électronique dans la fabrication mécanique de série“. *Revue Générale de Mécanique*, Paris, mies., t. 34, nr 13, 1950, s. 4, 24 × 31 cm, 9 str., 5 fot., 5 rys., 2 poz. bibl. — Podano teoretyczne podstawy elektroniki, na których oparto konstrukcję lamp emisyjnych o zimnej i gorącej katodzie. Opisano różne typy prostowników, generatorów, wariatorów etc. Zastosowanie serwo mechanizmów elektronowych w konstrukcji obrabiarek gwarantuje bardzo wysoką precyzję obróbki. Dzięki redukcji czasów jałowych i braków, zwiększa się również współczynnik wykorzystania obrabiarek. Możliwa staje się również bardzo dokładna regulacja szybkości.

P — PRYZRZĄDY POMIAROWE

PB — Budowa przyrządów.

135 PB:PS:PX 681.2:621.9—79 B2 6—51  
Chalvet M. **Rzut oka na stan metrologii przemysłowej w świecie.** „Coup d'oeil sur la situation de la métrologie industrielle dans le monde“. *Revue Générale de Mécanique*, Paris, mies., t. 34, nr 13, 1950, s. 18, 24 × 31 cm, 8 str., 11 rys. — Pobieźny przegląd istniejących warsztatowych przyrządów pomiarowych, które autor dzieli na cztery grupy, a mianowicie: 1) wzorce zestawne, 2) przyrządy i różne czujniki, 3) sprawdziany wszelkiego rodzaju (komparatory), 4) aparaty do pomiarów profili specjalnych i do pomiaru stanu powierzchni.

136 PB:PX:PK 681.2:621.9—79:681.4 B2 6—51  
B'enistand B. **Rozwój przyrządów i aparatów pomocniczych.** „Evolution des calibres et appareils de mesures“. *Revue Générale de Mécanique*, Paris, mies., t. 34, nr 13, 1950, s. 13, 24 × 31 cm, 5 str., 4 mikrogr. — Przegląd stosowanych powszechnie przyrządów pomiarowych, sprawdzianów i aparatów. Dokładność tych przyrządów. Aparaty specjalne: mikroskop elektronowy oraz aparaty do badania stanu powierzchni.

## PV — Kontrola wymiarów.

137 PV:PS 621.9—97:621.9—47 B2 6—51  
Butrick F. **Pomiar zbieżnych otworów za pomocą jednej kulki sprawdzianowej.** „One-Ball Method Measures Tapered Holes“. *Machinist*, London, tygs., t. 94, nr 36, 1950, s. 1323, A4, 0,3 str., 1 rys. — Warsztatowy sposób pomiaru zbieżności otworu w przypadku posiadania tylko jednej kulki sprawdzianowej. Podano sposób wyprowadzenia zależności geometrycznych pokazanych na rysunku.

## PX — Poradniki ogólne.

138 PX 621.9—229.2:531.78 B2 6—51  
Hieber G. E. **Prosta próba wykazuje siłę ścisnięcia imaka.** „Easy Test Shows Squeeze in Vise“. *Machinist*, London, tyg., t. 94, nr 28, 1950, supplement s. 13, A4, 0,5 str., 1 tab. — Opis sposobu pomiaru siły uchwycenia, polegającego na założeniu w szczękę imaka znormalizowanej kulki i stalowego krążka o znanej twardości. Załączona tabela podaje siłę uchwycenia przedmiotu wprost z wielkości odcisku.

## OŚRODEK DOKUMENTACJI TECHNIKI CIEPLNEJ

## A — SILNIKI

92 A04k:Dk 621.438 B4 6—51  
Emmert H. D. **Konstruowanie elementów turbin gazowych.** „Design of Gas Turbine Power Elements“. *Gas and Oil Power*, London, mies., t. 45, nr 536, maj 50, s. 134, A4, 0,7 str. — Autor, konstruktor z Allis Chalmers Manufacturing Co omawia na podstawie doświadczeń firmy zasady konstruowania i analizy elementów turbin gazowych oraz czynniki, które wpływają na typ, konstrukcję, straty i sprawność, a także charakterystyki przy zmiennych obciążeniach. Bliższy materiał podany jest w *Annual Techn. Rev.*, Number — Transactions of the Amer. Society of Mech. Eng., luty 50.

93 A040kz:B022z 621.438:621.51 B4 6—51  
**Przemysłowa turbina gazowa o mocy 1070 KM.** „1070 Brake Horse-Power Industrial Gas Turbine“. *Engineering*, London, tyg., t. 169, nr 4383, 27 stycz. 50, s. 85, B4, 2,6 str., 6 fot. — Opis konstrukcji i instalacji przemysłowej turbiny gazowej o obiegu otwartym f-my Ruston. Sprężarka osiowa, 13-stopniowa, napędzana jedną częścią turbiny. Oddzielny wirnik do napędu generatora. Podano dane eksploatacyjne zespołu w różnych warunkach obciążenia, takie jak moc, sprawność i zużycie paliwa.

94 A04rm:B022z 621.438.001:621.51 B4 6—51  
Sznej J., prof. **Teoria turbin gazowych.** „Teorja gazowych turbin“. Moskwa, 1950, Maszgin, D, 22 × 15 cm, 386 str., 275 rys., 1 fot. — Książka ta poświęcona jest przede wszystkim zagadnieniom turbin gazowych typów nielotniczych. Po bardzo obszernym rozpatrzeniu i dyskusji kwestii wyboru racjonalnych obiegów turbin gazowych, autor przechodzi do podania metod obliczenia zasadniczych elementów obiegu poruszając także podstawowe zagadnienia materiałowe (wysokie temperatury) i fabrykacyjne. Omawiane są zasadnicze pojęcia z dziedziny sprężarek osiowych, ich wpływ na obieg turbiny gazowej oraz podane inne typy sprężarek stosowanych w turbinach gazowych. Poruszone jest także zagadnienie wymienników ciepła oraz rozpatrzone dziedziny zastosowań turbin gazowych. Dzieło zamyka skondensowany przegląd ważniejszych już zrealizowanych zespołów turbin gazowych.

95 A04z 621.438:629.125 B4 6—51  
**Szybka łódź motorowa napędzana turbinami gazowymi.** „High-Speed Launch with Gas Turbine Engines“. *Gas and Oil Power*, London, mies., t. 45, nr 541, paźdz. 50, s. 263, A4, 1,8 str., 3 fot., 1 rys. — Opis turbiny gazowej T-8 firmy Rover, mocy 200 KM i instalacji dwóch takich turbin jako maszyn napędowych szybkiej łodzi motorowej, próbowanej ostatnio w Anglii.

96 A04z 621.438 B4 6—51  
**Wiadomości z zagranicy.** „Foreign Abstracts“. *Gas and Oil Power*, London, mies., t. 45, nr 539, sierp. 50, s. 211, A4, 1,2 str., 3 fot. — Recenzja artykułu M. R. Legendre (Journ. de la Marine Marchande). Opis francuskiego laboratorium do badań nad turbiną gazową z wyczeniem jego urządzeń: tunelu naddźwiękowego o mocy 2500 KM, turbiny 600 KM na zimne powietrze

i zespołu badawczego sprężarki o mocy 1600 KM, napędzanej turbiną gazową.

97 A04z:A073z:C07z 621.438:621.165 B4 6—51  
Chambadal P., dr, inż. **Korzyści wynikające ze współpracy turbiny gazowej z turbiną parową.** „L'intérêt des combinaisons des turbines à gaz avec des turbines à vapeur“. *Technique Moderne*, Paris, mies., t. 42, nr 17/18, 1—15 wrzes. 50, s. 277, A4, 8,5 str., 3 rys., 2 wykr., 18 poz. bibl. — Omówiono cele kombinacji siłowni parowej i gazowej, przedyskutowano sprawności turbin kondensacyjnych i gazowych, sprawności przy równoczesnej produkcji energii elektrycznej i cieplnej oraz zdefiniowano pojęcie maksymalnej ekonomii siłowni kombinowanej. Podano przykłady: a) ogrzewania kotła częścią gazów wylotowych turbiny, b) wprowadzania gazów wylotowych turbiny zamiast powietrza pod palenisko kotła (Oerlikon), c) zasilania kotła powietrzem dostarczonym przez sprężarkę turbiny gazowej (włączenie kotła parowego w obieg turbiny gazowej).

98 A04z:Bz 621.431.74 B4 6—51  
**Rozwój turbin gazowych w Pametradzie.** „Gas Turbine Progress at Pametrada“. *Gas and Oil Power*, London, mies., t. 45, nr 539, sierp. 50, s. 193, A4, 4,5 str., 5 fot., 3 rys. — Opis instalacji badawczych stacji turbin gazowych Pametrady, w których wszystkie urządzenia zaprojektowano pod kątem widzenia opracowywania typów turbin okrętowych. Omówiono detale badanego zespołu doświadczalnego turbiny wysokoprężnej z dwustopniową sprężarką oraz niektóre stoiska pomocnicze.

99 A04z:BO21z 621.438:621.515 B4 6—51  
Keller C. **Turbina gazowa o obiegu zamkniętym.** „Closed-Cycle Gas Turbine“. *Transactions of the ASME*, New York, mies., t. 72, nr 6, sierp. 50, s. 835, A4, 16 str., 15 fot., 12 rys. 4 wykr., 9 poz. bibl. — Opis postępu technicznego i ulepszeń konstrukcyjnych elementów siłowni typu A-K-Escher-Wyss w latach 1945-1950. Omówienie wyników pracy siłowni próbnej na 2000 kW w latach 1947-49 oraz projektu pierwszej dużej siłowni A-K-Escher-Wyss (12500 kW. St. Denis pod Paryżem) i podobnej siłowni, budowanej przez firmę John Brown of Clydebank (12500 kW, Carolina Port, Szkocja). Zastosowano tu sprężarkę promieniową w części wysokoprężnej i w urządzeniu do ładowania obiegu oraz zmodyfikowany ogrzewacz powietrza. Omówiono jednostkę na 700 kW dla Coventry i inne, na mniejsze moce, budowane wg. licencji firmy John Brown. W jednostkach tych stosuje się sprężarki promieniowe Escher-Wyssa.

100 A04z:BO22z 621.438:621.51 B4 6—51  
Bidard R. **Napęd odrzutowy samolotów. Turbiny gazowe i sprężarki osiowe.** „Thermopropulsion des avions. Turbine à gaz et compresseurs axiaux“. Paris, 1949, Gauthier — Villars, D, A4, 193 str., 87 rys., 41 wykr., 74 poz. bibl. — Skrypt z wykładów paryskiej „École Nationale Supérieure d'Aeronautique“. Rozpatrzone ogólnie zagadnienia napędu odrzutowego samolotów z punktu widzenia termodynamicznego i poddano analizie różne obiegi idealnych, a następnie rzeczywistych silników przepływowych, w warunkach pracy na ziemi i w locie. Dalszą część poświęcono stu-

diom przepływu palisadowego, ze zjawiskami przestrzennymi włącznie, pracy sprężarki jako całości, ze szczególnym uwzględnieniem sprężarki osiowej, wreszcie pracy i ułotkowaniu turbiny. Omówiono w skrócie komory spalania oraz zasady regulacji silnika odrzutowego w różnych warunkach. Całość napisana zwięźle i podana w przejrzystym układzie.

101 AO4z:DO2z:PO21g 621.438:621.6 B4 6—51  
Mordell D. L. **Turbina gazowa z komorą spalania po turbinie.** „The Exhaust-Heated Gas-Turbine Cycle“. Trans. of the ASME, New York, mies., t. 72, nr 3, kwiec. 50, s. 323, A4, 6,5 str., 3 rys., 1 tab., 6 wykr., 12 poz. bibl. — Opis, obliczenia, porównanie i dyskusja zalet obiegu turbiny gazowej z niskoprężną komorą spalania po turbinie i ogrzewaniem sprężonego powietrza w wymienniku, który pozwala na zastosowanie tańszych paliw, a nawet na bezpośrednie spalanie gorszych gatunków węgla, gdyż gazy spalinowe nie przepływają przez ułotkowanie. Porównanie z układem kombinowanym: turbina gazowa i turbina parowa. Wypowiedzi w dyskusji: F. Nettela, D. B. Shepherda, R. A. Tylera i D. C. Mac Phaila.

102 AO4z:D12z 621.438 B4 6—51  
Emmert H. D. **Współczesne projekty praktyczne elementów siłowni gazoturbinowych.** „Current Design Practices for Gas-Turbine Power Elements“. Trans. of the ASME, New York, mies., t. 72, nr 2, 1950, s. 189, A4, 12 str., 1 fot., 5 rys., 15 wykr., 12 poz. bibl. — Krótki przegląd zasad projektowania turbin gazowych, ze szczególnym uwzględnieniem ułotkowania. Zagadnienia przemian energii w stopniu, przepływu przez wieniec i wytrzymałości łopatek. Autor opiera się na doświadczeniach i praktyce firmy Allis-Chalmers. W dyskusji wzięli udział: D. L. Mordell i D. Tra-ver.

103 AO4z:ZO4 621.438:621.6 B4 6—51  
Chambadal P. **Obieg turbiny gazowej dla równoczesnego produkowania energii mechanicznej i ciepłej.** „La production simultanée de travail et chaleur au moyen d'une turbine à gaz“. Proceedings of the Seventh Internat. Congr. for Appl. Mech., London, 1948, t. 3, s. 40, A5, 10,5 str., 1 rys., 1 wykr. — Opis obiegu turbiny gazowej, mogącego zastąpić przeciwprężne i upustowe turbiny przemysłowe i ciepłowniane. Wyprowadzenie wzorów na sprawność obiegu i na jego optymalny układ.

104 AO7z:ZO2 621.165:536.7 B4 6—51  
Renton V. S., Neal S. **Zużycie ciepła w turbinie Essex na 100.000 kW.** „Heat-Rate Test Results of the 100.000 kW Essex Turbine Generator“. Trans. of the ASME, New York, mies., t. 72, nr 3, kwiec. 50, s. 285, A4, 5 str., 2 rys., 2 wykr. — Turbina Nr 1 siłowni Essex w Newark N. I. USA, uruchomiona została w grudniu 1947 r. i w owym czasie była największą jednostką parową układu dwustrumieniowego sprężonego na 3600 obr./min. Próbe odbiorczą przeprowadzono w lutym 1948 uzyskując przy obciążeniu 90000 kW i ciśnieniu w skraplaczu 1,50" Hg zużycie ciepła 85000 BTU na kilowatgodzinę. Największa moc jednostki wynosiła 118000 kW. Opis prób i przyrządów pomiarowych. Przyczynek dyskusyjny prof. Adolfa Egli.

105 AO70z:D15z 621.165:621—55 B4 6—51  
Gundlach W. **Praca stopnia turbiny akcyjnej w zmiennych warunkach.** Łódź, 1950, M, A4, 103 str., 4 rys., 2 tab., 17 wykr., 1714 poz. bibl. — Przyczynek do ugruntowania teorii i do rozwinięcia praktycznych metod rachunkowego przedstawiania pracy turbiny w zmiennych warunkach, tzn. tak w przypadku zmiany stanu czynnika jak i zmienności oddawanej mocy lub też zmienności obrotów. Przeanalizowano i przedyskutowano metodę klasyczną, sprecyzowano zasady obliczania maszyn wirnikowych, a szczególnie metodę obliczania stopnia akcyjnego oraz wyprowadzono odpowiednie zależności i równania dla ogólnego przypadku stopnia akcyjnego systemu komorowego i dwóch przypadków szczególnych. Przedstawiono przykłady przeliczeniowe i na ich podstawie wytłumaczono szereg

obserwowanych, a dotychczas jeszcze nie wyjaśnionych zjawisk.

106 AO7zk:Bkz 621.125 B4 6—51  
Mojsiejew Ja. Ja. **Obliczenia konstrukcyjne turbozespołów okrętowych.** „Konstrukcyjne rasczoty korabielnych turboagregatow“. Leningrad, 1948, Sudprom. Giz., D, 411 str., 199 rys., 68 tab. — Książka obejmuje zestawienie najważniejszych obliczeń wytrzymałościowych i dynamicznych turbin parowych, przekładni zębatach i sprzęgieł, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień spotykanych w turbozespołach okrętowych i opracowana jest w oparciu o współczesną literaturę oraz specjalne rozpracowania, którymi posługują się zakłady projektujące turbiny parowe. Materiał został rozczłonkowany na zagadnienia konstrukcyjne, wytrzymałościowe i dynamiczne łopatek wirnikowych, tarcz wirnikowych, wałów, kadłubów i ich części składowych, łożysk, przekładni zębatach i w końcu sprzęgieł, ze specjalnym uwzględnieniem sprzęgieł elastycznych. Książka ta może służyć za podręcznik do nauki obliczeń konstrukcyjnych.

107 AO7zkr:A04z 621.165:621.438 B4 6—51  
Klag J. **Turbiny parowe z dodatkiem o turbinach gazowych.** „Parni turbiny s dodatkom o plynovych turbinach“. Praha, 1947, Jechota Ceskoslov. Matem. a Fysiku, cena 66 Kcs, D, A5, 286 str., 216 rys., 14 tab. — Podano podstawowe obliczenia cieplne turbin, opis ważniejszych elementów konstrukcyjnych i odpowiednie obliczenia wytrzymałościowe, zasadnicze zagadnienia z regulacji i rozrzędu pary oraz przykłady wykonanych turbin i instalacji pomocniczych. Ważniejsze wywody teoretyczne uzupełniono przykładowymi przeliczeniami liczbowymi, ułożonymi, szczególnie w dziale cieplnych obliczeń turbiny, w sposób bardzo przejrzysty. W części dodatkowej poruszone są zagadnienia specjalne parowych turbin wysokoprężnych i turbin gazowych.

108 AO7zks 621.165 B4 6—51  
Łosiejew S. M. **Turbiny parowe.** „Parovyje turbiny“. Wyd. 7, Moskwa—Leningrad, 1947, Gosenergoizdat, D, 20 × 26 cm, 372 str., 454 rys., 15 tab. — Podręcznik dla personelu obsługującego siłownie turbo-parowe i dla odpowiednich kursów technicznych. Po krótkim wprowadzeniu, poświęconym zagadnieniom cieplnej teorii turbin i siłowni parowych, autor podaje obszernie ujęcie zagadnień konstrukcyjnych części turbin parowych i urządzeń pomocniczych oraz opisy zasadniczych układów konstrukcyjnych turbin. Ostatnie rozdziały książki traktują o zagadnieniach obsługi i eksploatacji turbin i o przyczynach uszkodzeń oraz o przeprowadzaniu ich napraw. W książce znajdują się także tablice z przejrzystymi zestawieniami zakłóceń pracy i uszkodzeń turbin, np. wskutek wibracji.

## B — MASZYNY

109 Btk 621.867 B4 6—51  
Hudson W. G. **Teoria, konstrukcja i zastosowanie transporterów pneumatycznych.** „Theory, Design and Application of Pneumatic Conveying Systems“. Industry and Power, New York, mies., nr 3, wrzes. 50, s. 82, A4, 4 str., 1 fot., 6 rys. — Artykuł jest pierwszą częścią długiej pracy. Omówiono zasadnicze systemy transporterów pneumatycznych, tj. działających przez ssanie, dmuch pod ciśnieniem lub w kombinacji obydwu. Podano przykłady zastosowania poszczególnych typów instalacji.

110 Bzm:ZO3 626.15 B4 6—51  
Graf. M. E. **Dynamiczna analiza maszyn do badań zmęczeniowych z mechanicznym wzbudzeniem obciążenia.** „Dinamiczeskij analiz ispytatielnych maszin s miechaniceskim wozbuźdženiem nagruzok“. Zawodskaja Laboratorija. Moskwa, mies., t. 16, nr 6, 1950, s. 709, B5, 13 str., 2 rys., 7 wykr. — Autor dzieli maszyny zmęczeniowe na 4 grupy. Dynamiczne ich własności charakteryzuje 4 parametrami i podaje istniejące między nimi związki pozwalające określić w każdym przypadku znaczenie parametrów dla charakterystyki maszyny i dające możliwość określenia optymalnych ich wielkości w zależności od badanych właściwości materiałów.

- 111 B02zk:Z02 621.515:621—85:622 B4 6—51  
Iliczew A. S. **Kopalniane urządzenia pneumatyczne.** „Rudnicznij pneumaticzeskije ustanowki“. Wyd. 3, Moskwa—Leningrad, 1948, U g l e t i e c h i z d a t, cena 17,25 rb. D, A4, 379 str., 48 fot., 162 rys., 48 tab., 100 wykr., 68 poz. bibl. — Książka oparta na materiale z wykładów w Moskiewskim Instytucie Górniczym. Zawiera wprowadzenie teoretyczne z uwzględnieniem wszystkich procesów termodynamicznych, dotyczących sprężarek i silników powietrznych stosowanych w kopalnictwie, opis licznych konstrukcji sprężarek, ich regulacji, napędu, przynależnych urządzeń instalacyjnych, podaje sposób projektowania sieci przewodów sprężonego powietrza. Dalsze rozdziały poświęcone są sposobom badania i kontroli maszyn, urządzeń pneumatycznych, stosowanym do tego celu przyrządom, wreszcie projektowaniu całości urządzeń i ich eksploatacji. W tekście zamieszczono liczne przykłady liczbowe.
- 112 B021z:B022z:Z04 621.51:621.6 B4 6—51  
Pfleiderer C. **Bariera dźwiękowa w sprężarkach promieniowych i osiowych.** „The Some Barrier in Centrifugal and Axial-Flow Compressors“. (Streszczenie z VDI t. 92, nr 6, 21 luty 50, i nr 16, 1 czerw. 50). *Engineers Digest*, London, mies., t. 2, nr 9, wrzes. 50, s. 316, B5, 3 str., 2 rys., 1 wykr., 5 poz. bibl. — Sprawność maszyny przepływowej polepsza się ze wzrostem liczby Re z zastrzeżeniem, że nie zbliżymy się do prędkości dźwięku. Jednocześnie uzyskujemy większy spręż na stopniu. Podano prostą metodę obliczania warunków optymalnych, ważną dla obu rodzajów sprężarek: promieniowej i osiowej.
- 113 B0221zr 621.63:533,69 B4 6—51  
Lundquist E. C., Hamilton M. J. **Zastosowanie śmigieł lotniczych do wentylatorów osiowych.** „Use of Aircraft Propellers for Axial Flow Fans“. *Heating, Piping and Air Conditioning*, t. 22, nr 10, paźdz. 50, s. 116, A4, 7 str., 7 wykr. — Zmniejszone modele śmigieł lotniczych zainstalowano w rurze cylindrycznej i zbadano doświadczalnie ich wyczyny. Otrzymane w ten sposób charakterystyki pozwalają na projektowanie wentylatorów na żądane warunki pracy oraz określanie ich sprawności. Podano sposoby przeliczeń wraz z przykładem liczbowym.
- 114 B022tp:Z04 621.51:621.6 B4 6—51  
Mortarino C. **Badania palisady sprężarki osiowej.** „Esperimenti su una schiera di palettaggi per compressore“. *Aeroteca*, Roma, mies., t. 30, nr 2, 15 kwiec. 50, s. 59, A4, 13,3 str., 2 fot., 2 rys., 3 tab., 9 wykr., 9 poz. bibl. — Opis przeprowadzanych w Politechnice Turyńskiej badań palisady równoległej, o łopatkach  $65 \times 10$  cm., ustawionych pod kątem  $46,4^\circ$ , wypełnieniu 1,43 i o profilu NACA 6512. Badania rozszerzono na całą wysokość łopatek wykazując, że nawet w wypadku dużych modeli przepływ nie może być traktowany jako dwuwymiarowy. Opiszano metody pomiarów i przytoczono wyniki doświadczeń.
- 115 B0221z 621.63 B4 6—51  
**Wentylator napędowy Turbomeca.** „The Turbomeca Ducted Fan“. *Aeroplane*, London, tyg., t. 79, nr 2051, 10 list. 50, s. 38T5, A4, 0,2 str. — Notatka dotyczy francuskiego nowego silnika odrzutowego dwuprzepływowego, małej mocy, Aspin 1. W silniku tym zastosowano sprężarkę osiową o znacznym nadmiarze wydatku, służącym za wentylator napędowy. Omówiono niektóre zalety silnika.
- 116 B04z 621.133.7 B4 6—51  
Lobanoff V. **Warto poznać swoje dynamiczne pompy zasilające.** „It Pays to Know Your Centrifugal Boiler-Feed Pumps“. *Power*, New York, mies., t. 94, nr 7, lip. 50, s. 82, A4, 2,6 str., 1 fot., 2 rys. — Podano jakim warunkom winna odpowiadać pompa dynamiczna zasilająca kotła i jakie czynniki wpływają na właściwy jej dobór. Opiszano trzy typy pomp, każdy dostosowany do określonych warunków pracy, i omówiono ich charakterystyczne cechy.
- 117 B04z:A09z 621.67 B4 6—51  
**Nowa pompo-turbina, interesująca z uwagi na rozwój urządzeń oszczędzających energię.** „New Pump-Turbine Stimulates Interest in Pumped Storage Development“. *Power Engineering*, Chicago, mies., t. 54, nr 7, lip. 50, s. 96, A4, 2,4 str., 3 rys., 2 wykr. — Firma Alis-Chalmers zbudowała ostatnio maszynę, która działa albo jako pompa, albo jako turbina wodna, napędzana lub napędzająca generator prądu i która ma służyć jako pompa zasobnikowa. Omówiono jej eksploatację i korzyści jakie może przynieść w siłowniach.
- 118 B042z 621.67 B4 6—51  
Gorochow N., Ofengenden N., Goldin M. **Nowe pompy kopalniane bez wsporników, z ułożyskowaniem z masy plastycznej.** „Nowyje szadtnyje nasosy bez krausztejnow, z podszipnikami iz plastmassy“. *Ugol*, Moskwa, mies., nr 10, paźdz. 50, s. 19, A4, 3,5 str., 1 fot., 1 rys., 1 tab., 4 wykr. — Opis dynamicznej pompy wodnej kopalnianej, zbudowanej w ZSRR. Zasadniczą zaletą tej nowej konstrukcji jest smarowane wodą ułożyskowanie z masy plastycznej. Omówienie wyników eksploatacyjnych pompy i pracy jej łożysk.
- 119 B042z 621.67 B4 6—51  
Karassik I. J. **Poprawka na sprawność pompy odśrodkowej przy zmianie obrotów i temperatury.** „Correction du rendement des pompes centrifuges en fonction de la vitesse et de la temperature“. *Revue Gén. de Mécanique*, Paris, mies., nr 17, maj 50, s. 182, A4, 4,5 str., 2 fot., 5 wykr. — Przeanalizowano wpływ zmiany obrotów i temperatury wody na poszczególne pozycje strat w pompie odśrodkowej. Podano trzy wzory empiryczne, które pozwalają określić sprawność pompy w warunkach mało różniących się od nominalnych.
- 120 B053 621.61 B4 6—51  
Keeman I. H., Neumann E. P., Lustwerk F. **Opracowanie projektu eżektora na podstawie analizy i doświadczenia.** „An Investigation of Ejector Design by Analysis and Experiment“. *Journal of Applied Mechanics*, New York, mies., t. 17, nr 3, wrzes. 50, s. 299, A4, 11 str., 1 fot., 5 rys., 1 tab., 15 wykr. — Przedstawiono metodę jednowymiarowej analizy powietrznej pompy dyfuzyjnej, popularnie zwanej eżektorem. Analizę przeprowadzono mieszając strumień pierwotny i wtórny przy stałym ciśnieniu oraz mieszając czynniki przy stałych przekrojach. Podczas przeprowadzonych prób stwierdzono, że lepszy skutek może być uzyskany, gdy po wymieszaniu jest osiągnięte stałe ciśnienie. Porównano wyniki doświadczalne z wynikami rozważań teoretycznych otrzymując zupełną ich zgodność. Przytoczono pewną ilość danych cyfrowych, uzyskanych dla dwu badanych rodzajów strumieni powietrza: pierwotnego i wtórnego, wzdłuż rury podczas mieszania.

## C — URZĄDZENIA CIEPLNE

- 121 Cz 621.791.75 B4 6—51  
**Stan rozwojowy zgrzewarek łukowych firmy Brown Boveri.** „Der Entwicklungsstand der Brown Boveri Lichtbogen Schweissmaschinen“. *Brown Boveri Mitteilungen*, Baden (Szwajc.), mies., lip. 50, s. 228, A4, 27,5 str., 22 fot., 2 rys., 6 tab., 6 wykr. — Omówiono szczegółowo: 1) Przetwornice spawalnicze o płynnej regulacji prądu w przekładni nawet 1:14; 2) Transformatory spawalnicze do spawania prądem zmiennym o płynnej regulacji prądu spawania i przekładni 1:10; 3) Automat spawalniczy o otulonej elektrodzie, dający lepsze wyniki niż przy spawaniu ręcznym oraz główkę automatyczną z posuwem drutu spawalniczego i dostawą proszku spawalniczego; 4) Urządzenia wielopunktowe dla spawania łukowego, z uwzględnieniem spawania prądem zmiennym i stałym. Rozpatrzono czynniki wpływające na wybór urządzenia spawalniczego prądem stałym lub zmiennym, a więc z przetwornicy lub transformatora, uwzględniając materiał spawany, wymaganą szybkość spawania, zużycie elektrod, możliwości sieci zasilającej, bezpieczeństwo spawania, koszt inwestycyjny. Przedstawiono praktyczne zastosowania automatycznych urządzeń zgrzewających.

- 122 Cz 621.791.78 B4 6—51  
 Rockafellow S. G. **Dążenia konstrukcyjne w urządzeniach sterujących zgrzewark punktowych.** „Engineering Trends in Spot Welder Controls“. Electronics, New York, mies., lip. 50, s. 70, A4, 4 str., 2 fot., 2 rys. — Opis urządzeń elektrycznych do sterowania zgrzewarki punktowej, stosowanej przy liniowym montażu samochodów. Opis sterowania 6 lampami tyratronowymi z potencjometryczną kontrolą czasu.
- 123 C01z:Z02 697:697.1/697.9 B4 6—51  
 Maksimow G. A., Orłow A. I. **Ogrzewanie i wentylacja. Cz. I. — Ogrzewanie.** „Otoplenie i wentylacja. Cz. I. — Otoplenie“. 2 tomy, tom I, Moskwa, 1948, Strojizdat, cena 15 rub., D, B5, 241 str., 138 rys., 45 tab., 7 wykr., 62 poz. bibl. — Krótki zarys historyczny rozwoju ogrzewania i wentylacji. Metoda obliczania strat ciepła — ściśła i przybliżona. Różne systemy ogrzewania. Opisano typy pieców przeznaczonych dla różnych warunków pracy i wydatków ciepła. Podano prawidła ich budowy, obliczania i sposoby instalacji. Opisano ogrzewanie gazowe i elektryczne ze względu na ich duże walory w okolicach posiadających tanie źródło gazu, względnie elektryczności. Na wstępie opisu systemów ogrzewania wodnego i parowego omówiono szczegółowo konstrukcje i zastosowanie poszczególnych elementów tych instalacji. Przedstawiono metodę projektowania i liczbowe przykłady obliczeń systemów centralnego ogrzewania wodnego, grawitacyjnego i pompowego oraz parowego nisko- i wysokoprężnego. Rozpatrzono system ogrzewania próżniowo-parowego oraz mieszanego paro-wodnego, grawitacyjnego i pompowego oraz parowego nisko- i wysokoprężnego. Rozpatrzono system ogrzewania próżniowo-parowego oraz mieszanego paro-wodnego. Podano typowe konstrukcje podrzewaczy. Jako odmianę ogrzewania centralnego omówiono ogrzewanie sufity. W zakończeniu omówiono eksploatację głównych systemów ogrzewania i aparaturę kontrolną.
- 124 C03:C04z 628.83:697.9 B4 6—51  
 Maksimow G. A. **Ogrzewanie i wentylacja. Cz. II. — Wentylacja.** „Otoplenie i wentylacja. Cz. II. — Wentylacja. 2 tomy, tom II, Moskwa, 1949, Strojizdat, cena 13,80 rub., D, B5, 251 str., 151 rys., 31 tab., 27 wykr., 101 poz. bibl. — Książka stanowi gruntowne ujęcie zasadniczych zagadnień związanych z projektowaniem instalacji ogrzewania powietrznego, wentylacji i klimatyzacji. Na wstępie podano podstawy higieniczne wentylacji z podaniem szczegółowych danych stanowiących punkt wyjścia do projektowania. Opisano przyrządy pomiarowe dla oceny stanu powietrza. W dalszym ciągu omówiono ogólnie różne systemy wentylacji pomieszczeń przy czym szczegółowo potraktowano konstrukcje elementów wchodzących w skład instalacji ogólnej wentylacji oraz ich obliczanie, a zwłaszcza: sieć kanałów, filtry, nagrzewnice, nawilżacze, osuszanie, chłodzenie, tłumiki dźwięków. Wyjaśniono wykres I—X i sposób posługiwania się nim przy obliczeniach. Omówiono podstawy projektowania ogólnej i lokalnej wentylacji zakładów przemysłowych, sposoby obliczania ciepła, nasłoneczniania, sposoby odpylania. Na marginesie tych rozważań podano zasady obliczania transportu pneumatycznego. Wreszcie omówiono wentylację naturalną oraz systemy automatycznej regulacji instalacji klimatyzacyjnej.
- 125 C03z:Z04 533.601:628.83 B4 6—51  
 Butakow S. E., prof. dr. **Aerodynamika systemów wentylacji przemysłowej.** „Aerodynamika sistem promyszlennoj wentylacji“. Moskwa, 1949, Profizdat, cena 10,50 rub., D, A5, 268 str., 139 rys., 39 tab., 70 wykr., 33 poz. bibl. — Praktyczny podręcznik dla studiujących i projektujących urządzenia wentylacyjne. Główny nacisk położono tu na metody obliczania przepływów. Po elementarnych wiadomościach z aerodynamiki przepływów rozpatrzono zagadnienia następujące: obliczanie przewodów powietrznych (w tym także przewodów transportu pneumatycznego), obliczanie smoczków, systemy naturalnego przewietrzania, projektowanie elementów urządzeń wentylacyjnych, wylotów, zasłon, wyciągów, wreszcie systemy oczyszczające powietrze.
- 126 C05z 621—79 B4 6—51  
 Kalnus H. P. **Świetlny pomiar gęstości.** „Modulated Light Densitometr“. Electronics, New York, mies., lip. 50, s. 84, A4, 4 str., 5 rys. — Opis urządzenia do pomiaru współczynników pochłaniania i odbijania światła, szczególnie w odniesieniu do próbek z zakresu biologii i chemii, gdzie wymagane jest możliwie krótkie działanie słabego źródła światła ze względu na zachodzące w próbkach procesy.
- 127 C05z:Z02 621—79:621.036.7 B4 6—51  
 Kirillin W. A., Szejndlin A. J. **Podstawy termodynamiki eksperymentalnej.** „Osnowy eksperimientalnoj tiermodinamiki“. Moskwa—Leningrad, 1950, Gosud. Energet. Izdat., D, A5, 312 str., 156 rys., 33 tab., 86 poz. bibl. — Podręcznik omawiający prace laboratoryjne w dziedzinie termodynamiki technicznej, oparty na współczesnej literaturze w tej dziedzinie. Obejmuje opisy najważniejszych aparatów i urządzeń pomiarowych z dziedziny techniki cieplnej oraz opisy doświadczeń wraz z ich teoretycznym i rachunkowym podkładem, za wyjątkiem specjalnych zagadnień badań obiegów maszyn cieplnych. Podręcznik uzupełniony jest szeregiem tablic liczbowych, zawierających fizykochemiczne dane liczbowe, niezbędne przy obliczeniach dotyczących omawianych doświadczeń.
- 128 C05z 681.4 B4 6—51  
 Hiller J. **Zdejmowanie soczewki dla rozszerzenia zakresu powiększania mikroskopu elektronowego.** „A Removable Intermediate Lens for Extending the Magnification Range of an Electron Microscope“. Journal of Applied Physics, Lancaster (USA), mies., t. 21, nr 8, sier. 50, s. 785, B5, 6 str., 2 fot., 3 rys., 4 wykr., 5 poz. bibl. — Soczewka zdejmowalna dla rozszerzenia zakresu powiększania mikroskopu elektronowego w stosunku 25:1. Czułość na zmianę potencjału przyspieszającego, zdolność cechowania i rozproszenie lepsze niż w normalnym mikroskopie elektronowym. Układ daje dwie różne wartości powiększenia niezależnie od potencjału przyspieszającego.
- 129 C05z:D12w 681.17:621.253.6 B4 6—51  
 (Napier D. and Son Ltd.) **Badanie konturów i profilów.** „Contour and Profil Investigation“. Aircraft Production, London, mies., nr 139, maj 50, s. 161, A4, 6 str., 9 fot., 4 rys., 1 poz. bibl. — Opisano metody kontroli wykonania krzywek, stosowanych przy wykształcaniu łopatek maszyn wirnikowych jak również kształtów samych łopatek. Przedstawiono dwie zasadnicze metody otrzymywania ich wierne obrazy na zakopconym szkle, badanego z kolei na projektorze.
- 130 C05z:D12w 681.17:621.253.5 B4 6—51  
 Napier D. and Son Ltd.) **Badanie konturów i profilów.** „Contour and Profil Investigation“. Aircraft Production, London, mies., nr 141, lip. 50, s. 232, A4, 2,6 str., 5 fot., 1 rys. — Artykuł stanowi zakończenie opisu techniki i rozwoju przyrządów do kontroli wykonywania łopatek turbin lub innych profilów. Opisano bardzo praktyczny epidiaskop, umożliwiający obserwację przebiegu wykonywania ręcznego szablonów do kontroli profilów. Zastosowanie opisanego epidiaskopu ułatwia i skraca czas na ich wypylowanie. Podano również proste środki kontroli wykonania i selekcji choinkowych stopek łopatek.
- 131 C05z:D15z:Z02 621—79:621—55:621.036 B4 6—51  
 Hase R., prof. dr. **Przyrządy pomiarowe i regulacyjne w technice cieplnej.** „Mess und Regelinrichtungen in der Wärmetechnik“. VDI, Düsseldorf, tyg., t. 92, nr 19, 1 lip. 50, s. 517, A4, 2 str., 2 rys. — Opis nowych zdobywcy w dziedzinie urządzeń pomiarowych i regulacyjnych. Na szczególne wyróżnienie zasługuje platynowy termometr oporowy do pomiarów temperatur do 750°C (dotychczas nie przekraczano 550°C) i komórka fotoelektryczna do pirometrycznych pomiarów przedmiotów prędko poruszających się.
- 132 C05z:Z02 662.613:621—79 B4 6—51  
 Dobrinskaja A. A., Nejman M. B. i Andrejew E. A. (Inst. Chim. Fiziki Akad. Nauk SSSR). **Przyrząd do mikroanalizy gazów.** „Pribor dla mikroanaliza gazow“. Zawodskaja Laboratorija, Moskwa, mies.,

t. 16, nr 8, sierp. 50, s. 934; B5, 5,5 str., 3 rys., 4 tab., 5 poz. bibl. — Podano opis konstrukcji ulepszonego przyrządu do mikroanalizy gazów. Konstrukcja przyrządu zapewnia wygodne jego użycie w laboratoriach przyfabrycznych. Jako pochłaniacze składników mieszanin gazowych użyto ciał stałych (suchych), zaś jako czynnika zamykającego gaz w rurce kapilarnej — rtęci, zamiast dotychczas stosowanych płynnych pochłaniaczy i wody. Przyrząd pozwala na analizę małych ilości gazów (ok. 0,5 mililitra) i daje błąd pomiarowy nie większy od 1%. Wskazano na możliwość użycia przyrządu do badania kinetyki reakcji gazów, analizy mieszanin gazowych lub analizy gazów rozpuszczonych w metalach.

133 C05z:Z025 621—79:621.036.2 B4 6—51  
Hooper F. G., Lepper F. R. **Aparat dla wyznaczenia przewodnictwa za pomocą krótko trwającego przepływu ciepła.** „Transient Heat Flow Apparatus for the Determination of Thermal Conductivities“. Heating Piping and Air Conditioning, Chicago, mies., t. 22, nr 8, sierp. 50, s. 129, A4, 6 str., 2 rys., 5 wykr., 5 poz. bibl. — Przedstawiono schemat, zasadę działania, wprowadzoną z równań Fouriera, i opis wykonanego przez uniwersytet w Toronto i z powodzeniem użytkowanego, przenośnego przyrządu z potencjometrem i baterią, opartego na zasadzie sondy elektrycznie ogrzewanej, dla określania w przeciągu 10 minut przewodnictwa ciepła ciał stałych suchych lub mokrych. Przyrządem tym można mierzyć m. in., np. naturalne cechy gleby. Warunki wilgotności materiału w czasie stosunkowo krótko trwającej próby można uważać jako nieulegające zmianie i tym należy tłumaczyć dużą precyzję pomiaru opisywanego przyrządu. Matematyczne uzasadnienie zasady działania przyrządu zostało przedstawione w załączonym dodatku.

134 C052z 551.51.018 B4 6—51  
Nottage H. B. **Prosty anemometr z podgrzewaną temperaturą.** „A simple Heated-Thermocouple Anemometer“. Heating Piping and Air Conditioning, Chicago, mies., nr 9, wrzes. 50, s. 146, A4, 5 str., 1 rys., 3 wykr., 8 poz. bibl. — Opisano anemometr elektryczny dla pomiarów małych prędkości spotykanych w instalacjach klimatyzacyjnych. Podano szczegóły konstrukcji, opracowanie teoretyczne i wyniki dotychczasowych pomiarów. Anemometr umożliwia wskazania szybkości i temperatury na odległość.

135 C052z:Z04 536.5:621.6 B4 6—51  
Dunning J. E. P. **Pomiar temperatur przepływającego gazu o małej gęstości.** „The Measurement of the Temperature of Low Density Moving Gases“. Proceedings of the Sev. Internat. Congr. for Appl. Mech., London, 1948, t. 3, s. 252, A5, 14 str., 2 rys., 2 wykr., 3 poz. bibl. — Opisano przyrząd firmy Armstrong Siddeley do pomiarów temperatury w przepływie gazu o małej gęstości i przeanalizowano zasadę jego działania oraz sposób pomiarów. Gaz wprowadzany jest na termoelement z prędkością dźwięku, co umożliwia dokładne oznaczenie poprawek.

136 C054z 551.51.018 B4 6—51  
Kovasznay L. S. C. **Anemometr z drucikiem żarowym w przepływie naddźwiękowym.** „The Hot-wire Anemometer in Supersonic Flow“. Journal of the Aeron. Sciences, New York, mies., wrzes. 50, s. 565, A4, 8 str., 3 rys., 7 wykr., 7 poz. bibl. — Omówiono zasadnicze problemy związane z rozszerzeniem zakresu pomiarów anemometrem z drucikiem żarowym na szybkości naddźwiękowe i tak: dostosowywanie częstotliwości układu kompensującego, podwyższenie techniki stosowania znacznie cieńszych drucików, ustalanie zależności rządzących oddawaniem ciepła przez drucik przy szybkościach do wartości liczby Macha 2, wreszcie problem interpretacji wskazań anemometru, otrzymanych przy przepływie ściśliwym, określonym przez trzy parametry, zamiast jednego (szybkości) przy przepływie nieściśliwym.

## Z — ZAGADNIENIA TEORETYCZNE I BADAWCZE

137 Z01 658.54 B4 6—51  
Berg S. Dr (VDI). **Istota i zastosowanie liczb znormalizowanych.** „Die Normzahl — Wesen und Anwendung“. V. D. I., Düsseldorf, tyg., t. 92, nr 6, luty 50, s. 135, A4, 7,5 str., 9 tab. — Szersze omówienie normy DIN 323, dotyczącej szeregów liczb znormalizowanych, opartej na wytycznych I. S. A., które powstają przez podział geometryczny zakresów dzielących poszczególne potęgi dziesięciu: 1, 10, 100 itd. Praca omawia cel, budowę, rodzaj oznaczania, wskazówki i przykłady praktycznych zastosowań i racunków opartych na szeregach znormalizowanych. Odbitkę tej pracy można otrzymać w cenie 0,30 DM w VDI, Düsseldorf, Prinz-Georg Strasse 77.

138 Z02 621.036 B4 6—51  
Cope W. F. **Wymiana ciepła przy wielkich prędkościach.** „Heat Transfer at High Speeds“. Proc. of the VII-th Intern. Congr. for Appl. Mech., t. 3, London, 1948, s. 120, A5, 7 str., 6 poz. bibl. — Przedstawiono sposób obliczania przechodzenia ciepła pomiędzy płaską płytką a strumieniem gazu o dużej prędkości przepływu i wykazano, że wymiana ciepła jest proporcjonalna do różnicy pomiędzy temperaturą płytki a temperaturą gazu, którą miałyby gaz bez upływu ciepła.

139 Z02 621.036.7 B4 6—51  
Kreitner J. Dr, Nettel F. **Ogólny optymalny obieg siłowni cieplnych.** „Allgemeiner optimaler Kreisprozess für Kraftanlagen“. V. D. I., t. 92, nr 4, 1 luty 50, s. 102, A4, 1 str., 2 rys. — Fragment odczytu autorów, wygłoszonego na dorocznym zebraniu ASME w r. 1947, dotyczący patentów USA 2—407.166 i 2.407.165. Porównanie obiegu Brayton'a, złożonego z dwóch izentrop i dwóch izobar, i obiegu Ericsona, złożonego z dwóch izoterm i dwóch izobar, z obiegiem heksagonalnym (sześciobocznym) proponowanym przez autorów. Obieg heksagonalny zapewnia najwyższą sprawność, w wypadkach gdy następuje częściowa wymiana ciepła w wymiennikach. W wypadku pełnej wymiany ciepła między gazami opuszczającymi turbinę i gazami opuszczającymi sprężarkę obieg heksagonalny przejdzie w obieg Ericsona.

140 Z02 621.036.7 B4 6—51  
Hoyle R. D. **Nieustalony przepływ ciepła w dużym nie-regularnym ciele stałym.** „Unsteady Heat Flow in a Large Irregular Solid“. Proc. of the VII-th Intern. Congr. for Appl. Mech., t. 3, London, 1948, s. 64, A5, 15 str., 3 rys., 3 tab., 5 wykr. — Opisano badanie laboratoryjne rozkładu naprężeń termicznych w wybrany do tego celu wirniku turbiny parowej. Pomiar wykazały, że temperatury nie muszą być mierzone wszędzie, ale dają się dość dobrze obliczyć metodą Southwell'a dla stanu ustalonego lub, w stanie nieustalonym, na podstawie teorii Maclaurina.

141 Z02 621.036.7 B4 6—51  
Schmidt E. prof. dr. **Trzecia zasada termodynamiki.** „Der dritte Hauptsatz der Wärmelehre“. V. D. I. Düsseldorf, tyg., t. 92, nr 1, stycz. 50, s. 24, A4, 5 str., 2 rys. — Omówienie pierwszej i drugiej zasady termodynamiki przy wprowadzeniu podstawowych pojęć mechaniki statystycznej i statystyki kwantowej oraz termodynamiki reakcji chemicznych. Metoda obliczania wartości bezwzględnych entropii. Sformułowanie i u-motywowanie trzeciej zasady termodynamiki, z której bezpośrednio wynika też i zjawisko nadprzewodności w pobliżu absolutnego zera. Errata do tego artykułu znajduje się w V. D. I., t. 92, nr 11, s. 272.

142 Z02 621.036.7 B4 6—51  
Gurney C. **Siły powierzchniowe w płynach i ciałach stałych.** „Surface Forces in Liquids and Solids“. Proc. of the VII-th Intern. for Appl. Mech., t. 3, London, 1948, s. 13, A5, 6 str., 1 rys., 5 poz. bibl. — Podano krytyce sposoby traktowania sił powierzchniowych w płynach, podając interpretację molekularną termodynamicznych zjawisk powierzchniowych.

- 143 Z02 621.036.7 B4 6—51  
Gundlach W. R. **Wprowadzenie do termodynamiki technicznej**. „Einführung in die technische Thermodynamik“. Zürich, 1947, Ernst Wurzel Verlag, D, A5, 23 + 262 str., 130 rys., 23 tab. — Podręcznik ten dotyczy techniki cieplnej, posiada oryginalny układ i sposób ujęcia treści, odbiegający od praktykowanego powszechnie podziału materiału na grupy zagadnień trzech zasad termodynamiki. Obejmuje zagadnienia obliczania parametrów stanu czynników, zagadnienia dotyczące przemian termodynamicznych i właściwości układów jednoskładnikowych występujących w jednej fazie (np. gazów, układów jednoskładnikowych wielofazowych (np. pary oraz układów wieloskładnikowych (łącznie z przemianami fizykalno-chemicznymi). Obszernie potraktowane i uwypuklone są różnice między czynnikami, przemianami, przebiegami i procesami wyidealizowanymi i rzeczywistymi oraz sformułowane są charakterystyczne założenia i uproszczenia stosowane w zagadnieniach technicznych. Ogólne wprowadzenie uzupełnia zestawienie przykładów charakterystycznych obiegów maszyn cieplnych. Dzięki poruszeniu pewnych zagadnień granicznych tzw. termodynamiki technicznej i chemii fizykalnej stworzony został pomost do zagadnień specjalnych, wchodzących w zakres zainteresowań i pracy konstruktorów i eksploataatorów nowoczesnych maszyn i urządzeń cieplnych, a pomijanych na ogół w podręcznikach klasycznych.
- 144 Z02:A04z 621.036.7:621.438 B4 6—51  
Rubbo V. prof. **Termodynamiczne podstawy turbiny gazowej**. „Fondamenti Termodinamici della Turbina a Gas“. L'Ingegnere, Mediolan, mies., nr 6, czerw. 50, s. 649, A4, 10 str., 8 rys., 5 tab., 5 wykr. — Rozważania ogólne, wyprowadzenie wzorów na sprawność w funkcji sprężu i temperatury przed turbiną oraz dyskusja zasadniczych, wyidealizowanych i rzeczywistych obiegów turbin gazowych w oparciu o obieg izobaryczno-adiabatyczny, z dodatkowym uwzględnieniem chłodzenia i przegrzewania międzystopniowego oraz rekuperacji ciepła.
- 145 Z02:C02 621.56 B4 6—51  
Grrotenhuis P., Moore N. P. W. **Pewne obserwacje nad mechanizmem chłodzenia przez pocenie się**. „Some Observations on the Mechanism of Sweat Cooling“. Proc. of the VII-th Intern. Congr. for Appl. Mech., t. 3, London, 1948, s. 106, A5, 14 str., 3 rys., 3 wykr., 4 poz. bibl. — Wyprowadzono równania różniczkowe określające przechodzenie ciepła do płynu przepływającego przez ciało porowate o pewnym gradientcie temperatur. Przeanalizowano wpływ wtrysku płynu do warstwy przyściennej płaskiej płytki ogrzewanej z jednej strony gorącym gazem.
- 146 Z04 532.1 B4 6—51  
Abody-Auderlik E. **Tarcie w cieczy o zmiennej gęstości**. „Friction in Variable Density Fluid“. Proc. of the VII-th Intern. Congr. for Appl. Mech., t. 3, London, 1948, s. 4, A5, 9 str., 5 wykr. — Autor proponuje modyfikację wzoru na siłę tarcia w cieczy rozszerzając zakres jego zastosowania np. na wypadki cieczy o zmiennej lub różnej gęstości. Jako przykład podaje obliczenie tarcia na styku dwóch cieczy o różnej gęstości, będących w ruchu płaskim laminarnym.
- 147 Z04 532.5 B4 6—51  
Milne-Thompson L. M. **Hydrodynamika teoretyczna**. „Theoretical Hydrodynamics“. 2 wyd., Londyn, 1949. Macmillan & Co, Ltd., St. Martins, D, B5, 600 str., 12 fot., 337 rys., 1 tab., 40 poz. bibl. — W drugim wydaniu tej książki znajdziemy obszerny kurs hydrodynamiki obejmujący wyłącznie teoretyczną stronę mechaniki cieczy. Autor nie wymaga jednak od czytelnika uprzedniej szerszej znajomości matematyki, ale pewne, potrzebne tu, uzupełniające wiadomości włącza do treści i wyczerpująco wyjaśnia. Metody teoretyczne, jakimi posługuje się autor, są przejrzyste i nowoczesne, również, jeśli chodzi o poruszone tematy, wiele z nich jest całkiem nowych lub w nowym ujęciu. Podano
- podstawowe wiadomości o własnościach cieczy i o rachunku wektorowym, omówiono ruch płaski, zastosowanie odwzorowania podobnego, metodę inwersji, przedstawioną tu po raz pierwszy, oraz teorię Schwarza i Christoffela. Rozpatrzono liczne przypadki tego ruchu, m. in. odplywy, strumienie wypływowe i przepływowe, ruchy cylindrów w cieczy, zjawiska kawitacji, rzędy wirów Karmanowskich. Dalsze rozdziały poświęcone są ruchowi falowemu cieczy, rozważaniom przestrzennym, posuwaniu się ciał stałych w cieczy, zastosowaniu metod odwzorowania do ruchów przestrzennych. W końcu opisano ciecz lepka, ujmując ją rachunkiem wektorowym, przy czym poruszono sprawę warstwy przyściennej i spływowej, ostatni rozdział jest próbą wprowadzenia w zagadnienia cieczy ściślej w ruchu pod i naddźwiękowym. Każdy z rozdziałów zaopatrzonej jest szeregiem zadań na omawiane tematy.
- 148 Z04 621.6 B4 6—51  
Barry F. W., Shapiro A. H., Neumann E. P. **Kilka dowiadceń nad wzajemnym oddziaływaniem fali uderzeniowej i warstwy przyściennej na płycie płaskiej**. „Some Eksperiments on the Inteaaction of Shock Waves with Boundary Layers on a Flat Plate“. Journal of Applied Mech. New York, mies., t. 17, nr 2, czerw. 50, s. 126, A4, 5 str., 8 fot., 14 rys., 10 poz. bibl. — Przedstawiono szereg fotografii przepływu naddźwiękowego, które pozwalają stwierdzić, że istnieje dużo więcej odmian oddziaływania niż pierwotnie przypuszczano. Duże gradienty ciśnienia bezpośrednio przy fali uderzeniowej deformują warstwę przyścienną. Te deformacje są propagowane z prądem i pod prąd i z kolei wpływają na warunki przepływu poza warstwą przyścienną.
- 149 Z04 621.6 B4 6—51  
Mac Gee R. **Działanie cieczy w rurze wirowej**. „Fluid Action in the Vortex Tube“. Refrigerating Engineering, New York, mies., t. 58, nr 10, paźdz. 50, s. 974, A4, 2 str., 6 fot., 3 rys. — Rura wirowa, zwana inaczej rurą Hilsha, wytwarza ze strumienia sprężonego powietrza dwie strugi: ciepłą i zimną. Omówiono obserwacje wizualne tego zjawiska, dotąd teoretycznie niewyjaśnionego w dwóch przypadkach: wypływu o zgodnych kierunkach i przeciwbieżnego.
- 150 Z04 621.6 B4 6—51  
Rimme A. M., Harris P. **Zastosowanie kaskady profilów w ostrych kolankach rur wodnych**. „The Use of Cascade at Sharp Elbows in Water Pipes“. Engineer, London, mies., nr 9, wrzes. 50, s. 232, A4, 3 str., 1 fot., 4 rys., 2 wykr. — Opisano stoisko pomiarowe dla badania przepływów przez kolanka rurowe zaopatrzone w kierownice. Przeprowadzono porównawcze pomiary oporów przepływu dla kilku typów kaskad oraz kolanek bez kaskad.
- 151 Z04 621.6 B4 6—51  
Erhast F. (CDK Praga). **Prawa nagłych zmian stanu gazów zastosowane do teorii fali nadciśnieniowej**. „Laws for Sudden Changes of the State of Gases Applied to the Theory of Overpressure Waves“. Proc. of the VII-th Intern. Congress for Appl. Mech., t. 3, London, 1948, s. 154, A5, 9 str., 1 rys., 1 wykr. — Przedstawiono przybliżoną metodę, która, za pomocą zależności termodynamicznych, pozwala na określanie stanu gazu w miejscu fali nadciśnieniowej. Załączono wykres stosunków temperatur i prędkości rozchodzenia się fali w funkcji sprężów.
- 152 Z04 533.601 B4 6—51  
Ducet E. (Ecole Polytechnique. Paris). **O rozkładzie pola wektorowego na sumę wektorów rotacji i gradientu**. „Sur la décomposition d'un champs de vecteurs en une somme d'un rotationnel et d'un gradient“. Proc. of the VIII-th Intern. Congr. for Appl. Mech., t. 2, cz. II, London, 1948, s. 330, A5, 10 str. — Przedstawiono studium formy różniczkowej i całkowitej równania wektorowego, przy pomocy którego można rozłożyć wektor na sumę wektorów rotacji i gradientu. Może to wg. autora znaleźć zastosowanie w rozwiązaniach równań dynamicznych cieczy lepkich.