

TECHNIKA LOTNICZA

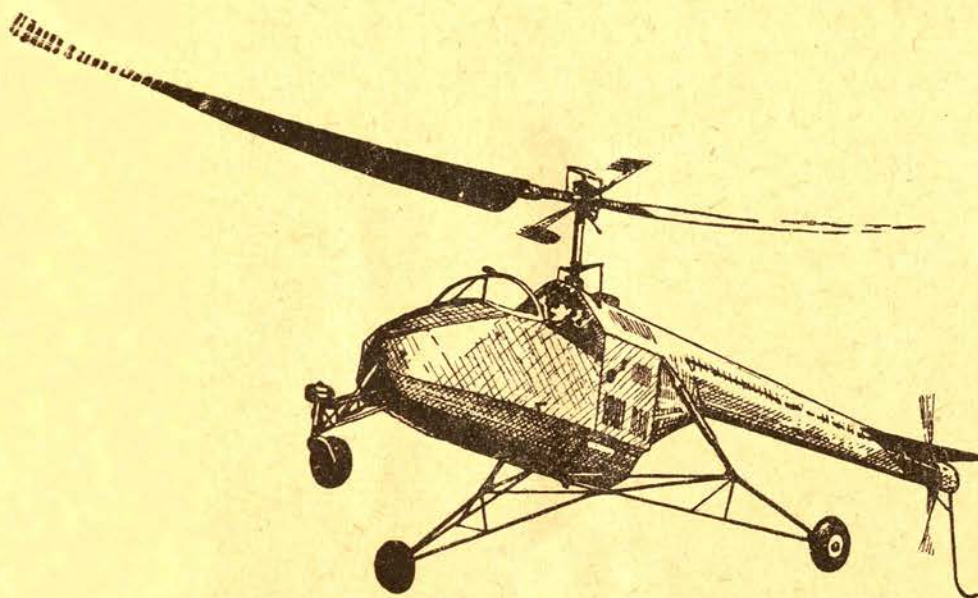
WRZESIEŃ-PAZDZIERNIK

5

1953 R.

ROK VIII

DWUMIESIĘCZNIK ZWIĄZKU POLSKICH INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW LOTNICZYCH
(SEKCJA LOTNICZA SIMP)



J.S.

TREŚĆ ZESZYTU

Nagroda zobowiązuje	125
L. KACZYŃSKI: Spalanie detonacyjne a silniki odrzutowe	126
Produkcja — J. GALĄZKA: Zastosowanie emisyjnej analizy widmowej w przemyśle metalowym . .	132
Przy rysownicy — K. GŁĘBICKI: Dobór i wykonanie rurek Bourdona przeznaczonych do ciśnieniowych przyrządów pokładowych .	140
Notatnik użytkownika	143
Lotnicze słownictwo techniczne — J. ROŚCISZEWSKI: Niektóre pojęcia z dynamiki gazów	145

Nowości techniczne	149
Przeglądamy usprawnienia — S. M. Na półkach księgarskich	151
Biuletyn Instytutu Lotnictwa — Z. BRZOSKA: Obroty krytyczne krótkich bębnow	152
Pomoce konstruktorskie — S. LAS-SOTA: — Nity i nitowanie w konstrukcjach lotniczych, część III. Blachy w konstrukcjach lotniczych część I	okl.

WYDAWNICTWO NACZELNEJ ORGANIZACJI TECHNICZNEJ

POMOCE KONSTRUKTORSKIE „TECHNIKI LOTNICZEJ”

NITY I NITOWANIA W KONSTRUKCJACH LOTNICZYCH Część III

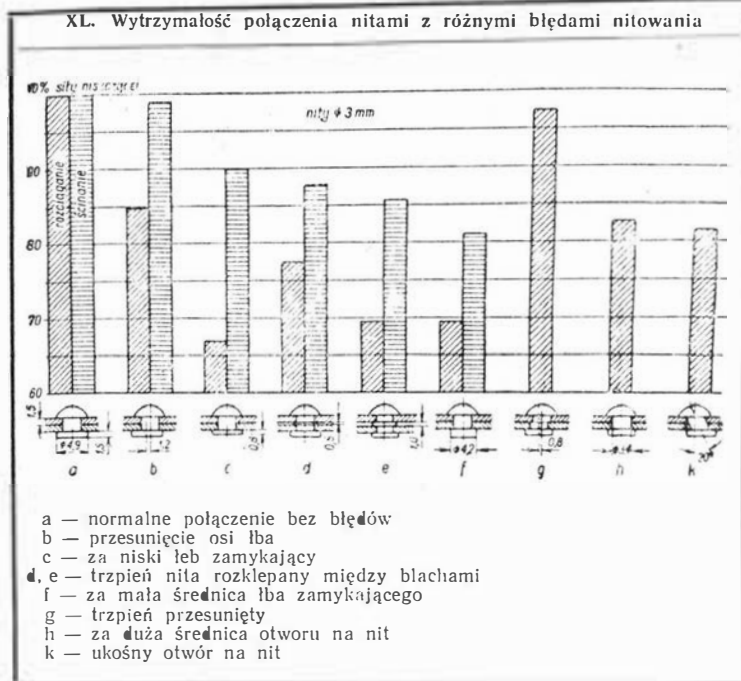
Jako uzupełnienie wytrzymałości połączeń nitowych służą załączone tabele: XXXIX, podająca procentowo zmianę wytrzymałości połączeń nitowych w zależności od sposobu wykonania otworów w blachach i kształtu łba nita; XL — podająca zmianę wytrzymałości połączenia nitowego na rozciąganie i ścinanie na skutek błędów nitowania.

Chcąc wyczerpać wszelkie dane, które należy uwzględnić przy projektowaniu połączeń nitowych, podano rozdział G. Technologia nitowania (tab. XLI — XLVI). Właściwe zaprojektowanie połączeń nitowych zależy jest od metod technologicznych wykonania nitowania, które decydują o doskonałości powierzchni zewnętrznej połączenia nitowego, w razie zaś konieczności zastosowania pewnych typów połączeń, wskazują na konieczność właściwego wyposażenia warsztatu. Ważne są tu również dane dotyczące nitowania ręcznego, jak i charakterystyki pracy młotkami pneumatycznymi i prasami.

Zebrał mgr inż. St. Lassota

XXXIX. Porównanie wytrzymałości szwów wykonanych różnymi metodami (nity wpuszczane)						
Typ wykonania	Ilość blach	Gniazdo	otwory rozwiercane	Łeb nita	ściananie %	rozrywanie %
A	trzy	tłoczono przyrządem	tak	półokrągły	100	100
				wpuszczany 90°	120	62
				wpuszczany 120°	116	88
				wpuszczany 120°R	117	82
B	dwie	wciągane łbem nita	nie	półokrągły	100	100
				wpuszczany 90°	105	79
				wpuszczany 120°	105	71
				wpuszczany 120°R	104	88
C	dwie	dolne z góry gzywnokowane, górne wciągane łbem nita	nie	półokrągły	100	100
				wpuszczany 90°	121	46
				wpuszczany 120°	79	57
				wpuszczany 120°R	94	58
D	dwie	wierzchnie gzywnokowane	nie	półokrągły	100	100
				wpuszczany 90°	75	58
				wpuszczany 120°	71	69
				wpuszczany 120°R	71	61

Uwagi: 1 — Nit wpuszczany 120° R — nit z łbem wpuszczano-wypukłym, stożek łba 120°.
2 — Próby porównawcze przeprowadzono na blasze duralowej 1 mm, R_r = 42...45 kG/mm² z nitami 3 mm o wytrzymałości na ścinanie R_t = 27 kG/mm².
3 — Wszystkie łby zamykające (nakuwki) — płaskie.



G. Technologia nitowania

XLT. Ciężary odbijaków i młotków przy nitowaniu.											
Nit		d mm	2	2,6	3	3,5	4	5	6	8	10
Odbijak do nitów z duralu		G _{min} kG	0,200	0,300	0,400	0,550	0,675	0,900	1,300	3,000	6,000
Odbijak do nitów ze stali		G _{min} kG	0,400	0,600	0,750	0,900	1,150	1,500	2,000	4,000	8,000
Najlepszy ciężar odbijaka		G kG	2,400	2,700	3,000	3,300	3,600	4,200	4,800	6,000	10,000
Ciężar młotka ręcznego		kG od do	0,100 0,125	0,125 0,150	0,150 0,200	0,200 0,250	0,250 0,300	0,400	0,500	0,700	1,000

СОДЕРЖАНИЕ

L. KACZYŃSKI: Детонационное сгорание и реактивные двигатели	126
J. GAŁĄZKA: Применение спектрального анализа в металлопромышленности	132
За чертёжной доской — K. GŁĘBICKI: Трубки Бурдона для авиাপриборов	140
Заметки по технической эксплуатации	143
Авиационный технический словарь — J. ROŚCISZEWSKI: Основные понятия из динамики газов	145
Технические новости	148
Обзор новаторских предложений	150
На книжных полках	151
Бюллетень Главного Института Авиации Z. BRZOSKA: Определение критических оборотов коротких вращающихся цилиндров	152
Конструкторские пособия — ST. LASSOTA: Заклёпки и применение клёпки в авиационной промышленности (часть III). Жест в авиационных конструкциях (часть I).	

обёртки

Contents

Reward obliges	125
L. KACZYŃSKI: Detonation and jet engine	126
Production — J. GAŁĄZKA: Application of spectral analysis in metal industry	132
At the Drawing Board — K. GŁĘBICKI: Selection and manufacture of Bourdon tubes for aircraft instruments	140
The User's Note-Book	143
Aeronautical Technical Glossary — J. ROŚCISZEWSKI: Some terms concerning gas dynamics	145
Technical News	148
Review of Rationalisation Projects — S. M.	150
On Booksellers' Shelves	151
The I. L. Bulletin — J. BRZOSKA: Critical revolutions of short drums	152
Designer's Data Sheets — S. LASSOTA: Rivets and riveting in aircraft construction (Part III). Sheet-metal in aircraft construction (Part I).	on cover

TECHNIKA LOTNICZA — Dwumiesięcznik Związku Polskich Inżynierów i Techników Lotniczych (Seksja Lotnicza SIMP) Wydawnictwo NACZELNEJ ORGANIZACJI TECHNICZNEJ

Redaguje Komitet Redakcyjny w składzie: Redaktor Naczelny — mgr inż. Jan Paczoski, Redaktorzy Działowi — mgr inż. St. Lassota, mgr inż. R. Lewandowski, mgr inż. St. Madeyski.

Adres Redakcji: Warszawa 1, Nowowiejska 24.

Redaktor Naczelny przyjmuje we wtorki i piątki godz. 18—19.

Adres Administracji: Administracja Czasopism Technicznych NOT. Warszawa, Mickiewicza 18, tel. 6-11-51 i 6-08-66.

Prenumeratę normalną przyjmują wyłącznie urzędy pocztowe oraz listonosze.

Cena pojedynczego zeszytu 9.— zł.

Prenumerata roczna 54.— zł.

Półroczna 27.— zł.

TECHNIKA LOTNICZA

DWUMIESIĘCZNIK ZWIĄZKU POLSKICH INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW LOTNICZYCH

(SEKCJA LOTNICZA SIMP)

ROK VIII

WRZESIEŃ-PAŹDZIERNIK 1953 R.

ZESZYT 5 (23)

Nagroda zobowiązuje

W dniu 22.7.1953 r., w dniu Święta Odrodzenia Polski, komunikaty podały listy pracowników nauki, techniki, literatury i sztuki, którym Prezydium Rządu Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej przyznało nagrody państwowe za rok 1953.

W dziale Postępu Technicznego nagrodzeni zostali liczni inżynierowie, technicy i robotnicy za prace i pomysły, których znaczenie docenia nasz rozrastający się przemysł, ponieważ pozwalają one nieraz na stworzenie nowych zupełnie, nigdy poprzednio w kraju naszym nie znanych, gałęzi wytwórczości i przyczyniają się do bojowego przedterminowego wykonywania zadań planu sześcioletniego.

W dziale tym mieści się Nagroda II stopnia, przyznana naszemu Koledze, inżynierowi Bronisławowi Żurakowskiemu, za skonstruowanie śmigłowca doświadczalnego. Wybór tej właśnie pracy, dokonany przez Komitet Nagród Państwowych, spośród wielu tematów mogących być, w dziedzinie lotnictwa, godnymi nagrody jest bardzo znamienity i wymaga zastanowienia, a co najważniejsze — zobowiązuje.

Podobnie jak w innych dziedzinach techniki, uczczony Nagrodą Państwową twórca wysiłek konstruktora musi przyczynić się bezpośrednio do realizacji planów państwowych; niekiedy zaś musi w właściwy sposób do tematyki tych planów wkroczyć i uzasadnić konieczność narzucenia konsekwentnej linii postępowania.

Konstrukcja śmigłowca doświadczalnego (SP-GIL) miała na celu potwierdzenie założeń teoretycznych twórcy oraz przeprowadzenie, po raz pierwszy w kraju, prób w locie ze sprzętem, którego znaczenie na łamach „Techniki Lotniczej” nie potrzeba właściwie uzasadniać. Od dawna bowiem pismo nasze starało się zapoznać Czytelników z perspektywami przyszłościowymi śmigłowca.

Zamieściliśmy w zeszycie 1/1952 r. artykuł mgr S. Dobrowolskiego pt. „Drogi rozwoju polskiego lotnictwa komunikacyjnego”, w którym Autor poruszył szereg zagadnień, dotyczących możliwości wykorzystania śmigłowców w komunikacji krajowej, wyraźnie określając, że przy odległościach miast w Polsce transport śmigłowcami od śródmieścia do śródmieścia przewyższa transport szybkimi nawet samolotami, ale z koniecznością dowozu pasażerów do i z lotniska za pomocą autobusów. Artykuł mgr inż. J. Rościszewskiego pt. „Zastosowanie napędu odrzutowego do śmigłowców” (zesz. 2 i 3/1953 r.) omawiał dotychczasowe osiągnięcia i możliwości silników odrzutowych do śmigłowców. Wzmianka o „Śmigłowcach do komunikacji lotniczej” (zesz. 3/1951 r.) zawierała porównanie szeregu konstrukcji zagranicznych. Notatki o radzieckim szybowcu-wiropłacie, przeznaczonym do wstępnego szkolenia lotów śmigłowcowych (zesz. 1/1950 r.) oraz o śmigłowcu czechosłowackim (zesz. 1/1950 r.) miały na celu wskazanie dróg, jakimi kroczy lotnictwo naszych przyjaciół — Związku Radzieckiego i Czechosłowacji.

Stale przeglądanie czasopism zagranicznych, z radzieckimi „Więstnik woźdusznowo flota”, czechosłowackimi „Letectví” a ostatnio „Křidla Vlasti”, węgierskim „Repüles” na czele — wyraźnie wskazuje na to, że Związek Radziecki i kraje demokracji ludowej coraz szerzej wykorzystują śmigłowce do wielostronnych zadań gospodarki narodowej. Opisy sprzętu doświadczalnego i użytkowego różnorodnej konstrukcji, sprawozdania z osiągnięć przy wykonywaniu zlecanych robót, omówienia metod szkolenia oraz usprawnień urządzeń służących do objaśnienia pracy wirników śmigłowców itp. — oto problematyka wielu artykułów i notatek, zawartych w tych czasopismach. Z publikacji naukowych, np. słynnego radzieckiego twórcy i teoretyka śmigłowcowego, akademika B. Juriewa możemy również przekonać się, jak daleko posunięte są prace z dziedziny wiropłatów i ich wykorzystanie w Związku Radzieckim.

Osiągnięcia naszego pierwszego polskiego śmigłowca, doświadczenia naszych przyjaciół i sąsiadów, potrzeby rodzimej gospodarki narodowej — nasuwają konieczność ustalenia szczegółowego programu prac z dziedziny śmigłowców w kraju.

Wydaje nam się, że należy:

1) stworzyć niezwłocznie doborowy zespół konstruktorski śmigłowcowy pod kierownictwem obecnego laureata Nagrody Państwowej inż. B. Żurakowskiego oraz równocześnie wydzielić biuro konstrukcyjne specjalnych silników, łokowych i odrzutowych, przeznaczonych do śmigłowców. Zespoły te mogłyby w sposób planowy wykonać potrzebne prace i stworzyć, wymagane najszybciej, typy śmigłowców w oparciu o konstrukcję dotychczasowego śmigłowca doświadczalnego;

2) ustalić program prac konstruktorskich, który powinien obejmować od razu, równoległe rozwiązanie konstrukcji śmigłowca, przeznaczonego dla leśnictwa — ochrona lasów przed pożarami i szkodnikami, dla rolnictwa — zwalczanie punktowych ognisk stonki ziemniaczanej, dla służby zdrowia — przewóz chorych z trudno dostępnych miejsc startu, dla komunikacji, dla poczty itd.;

3) w programach prac zespołów urbanistycznych planowania przestrzennego ustalić wytyczne budowy lotnisk śmigłowcowych dla nowych oraz przebudowywanych socjalistycznych miast Polski Ludowej;

4) na wyższych uczelniach lotniczych i ekonomicznych rozpocząć systematyczne naukowe badania i wykłady, poświęcone zagadnieniom śmigłowcowym, dla przygotowania kadr pracowników tej specjalności lotnictwa;

5) stworzyć w zainteresowanych resortach specjalne organa, których zadaniem byłoby przygotowanie naukowe i praktyczne użytkowników śmigłowców.

Pamiętać musimy, że Nagroda zobowiązuje, nie możemy więc cofać się (a nawet stać tylko) na drodze ku postępowi technicznemu.



Spalanie detonacyjne a silniki odrzutowe

Artykuł opisuje spalanie detonacyjne w mieszanke gazowej z punktu widzenia mechanizmu powstania detonacji oraz ze względu na zachodzącą w mieszanke przemianę termodynamiczną. Opisano zjawiska pulsacyjne spalania detonacyjnego. Rozważono zależność spalania detonacyjnego z punktu widzenia ewentualnego zastosowania w silnikach odrzutowych i opisano koncepcje silników o zapłonie od fali uderzeniowej.

Wstęp

Warunkiem zapoczątkowania procesu spalania w palnej mieszanke gazowej jest miejscowe podniesienie temperatury mieszanek powyżej temperatury zapłonu. Gdy w wyniku miejscowego podniesienia temperatury, np. od iskry elektrycznej, zapłon nastąpił, to ciepło wywiązane przez spalanie się mieszanek w danym miejscu podnosi temperaturę spalin i przez przewodnictwo przenika do mieszanek jeszcze nie palącej się, powoduje zapłon, spalanie i dalsze rozprzestrzenianie się płomienia. Strefa, w której następuje zapłon, stanowi czoło płomienia, które posuwa się na ogół ze stałą prędkością, charakterystyczną dla danej mieszanek. Jeśli wywiązana w spalaniu energia przekazywana jest mieszanke jeszcze nie palącej się nie przez przewodnictwo ciepła, lecz głównie przez falę zgęszczeniową (uderzeniową) — to spalanie nosi nazwę detonacyjnego. Towarzyszącą spalaniu falą uderzeniową jest wtedy czoło płomienia i nosi nazwę fali detonacyjnej.

Fala uderzeniowa czysta

W gazie niepalnym, chemicznie nieczynnym, falę uderzeniową można wywołać eksplozją np. prochu, albo ruchem jakiegoś ciała stałego, jeśli ruch ten odbywa się z prędkością naddźwiękową.

Istotę zjawiska powstania fali uderzeniowej można wyjaśnić w sposób elementarny. Jeśli wyobraźmy sobie rurę wypełnioną gazem i zamkniętą z jednej strony tłokiem, to gdy nieruchomemu tłokowi nadamy nagle prędkość w_1 , w gazie powstanie zgęszczenie. Czoło tego zgęszczenia (fala) będzie posiadać prędkość równą sumie prędkości tłoka w_1 i prędkości dźwięku a_1 . Prędkość dźwięku jest określona wzorem:

$$a_1 = \sqrt{g \cdot z \cdot R \cdot T_1}$$

gdzie g oznacza przyspieszenie ziemskie
 z — wykładnik adiabaty
 R — stałą gazową
 T_1 — temperaturę gazu.

Jeżeli prędkość fali oznaczyć przez c_1 , to ona wynosi:

$$c_1 = w_1 + a_1 = w_1 + \sqrt{g \cdot z \cdot R \cdot T_1}$$

Powstałe zgęszczenie w sposób symboliczny przedstawia rys. 1a.

Jeśli prędkość tłoka w_1 nagie powiększymy do wielkości w_2 , wywołane tym zgęszczenie gazu będzie się posuwało w postaci fali o prędkości równej sumie prędkości tłoka w_2 i prędkości dźwięku w gazie, którego stan, dzięki poprzednio wywołanemu zgęszczeniu, jest cdmienny od dawnego. Prędkość dźwięku w drugim przypadku jest:

$$a_2 = \sqrt{g \cdot z \cdot R \cdot T_2}$$

Z powodu powstałego sprężenia:

$$T_2 > T_1$$

więc

$$a_2 > a_1$$

Prędkość drugiej fali zgęszczeniowej jest:

$$c_2 = w_2 + a_2 > c_1$$

Druga i dalsze fale zgęszczeniowe, wywołane dalszym wzrostem prędkości tłoka, są pokazane na rys. 1b, c i d. Dzięki temu, że fale druga, trzecia itd. posiadają prędkości coraz większe, następuje doganianie fal przez następne, co prowadzi w wyniku do zsumowania się małych różnic ciśnienia występujących na czoło zgęszczeń i powstanie znacznie większego skoku ciśnienia

zwanego falą uderzeniową. Ruch fikcyjnego tłoka, wywołającego tę falę, może posiadać przyspieszenie stałe, wzrost zaś prędkości skokami przyjęto dla uproszczenia wywodu.

Związki termodynamiczne parametrów fali uderzeniowej

Zmianę stanu gazu, towarzyszącą powstaniu fali uderzeniowej, wyraża równanie adiabaty dynamicznej, tj. równanie *Hugoniota*. Równanie to wyraża przyrost energii wewnętrznej gazu w funkcji ciśnienia i objętości właściwych i ma postać następującą:

$$E_2 - E_1 = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (v_1 - v_2) \quad [1]$$

gdzie:

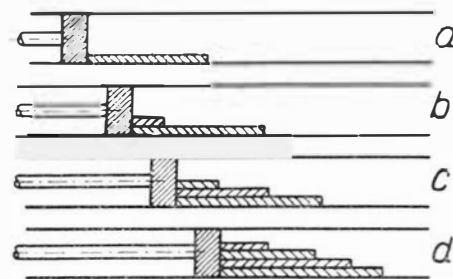
E — oznacza energię wewnętrzną

p — ciśnienie

v — objętość właściwą.

Indeksy 1 odnoszą się do stanu początkowego gazu, zaś in-

Rys. 1 — Schemat powstawania fali uderzeniowej



TL-102/52-R1

deksy 2 do gazu sprężonego w fali uderzeniowej.

Równanie *Hugoniota* wyprowadza się przez rozwiązanie układu trzech równań, wynikających z zasady zachowania masy, zachowania pędu i zachowania energii. Zasada zachowania masy przy założeniu stałego przekroju przewodu, w którym biegnie fala, daje równanie następujące:

$$u_1 \rho_1 = u_2 \rho_2 \quad \text{lub} \quad \frac{u_1}{v_1} = \frac{u_2}{v_2} \quad [2]$$

gdzie: u_1 i u_2 oznaczają prędkości gazu
 ρ_1 i ρ_2 gęstości (masowe).

Z zasady zachowania pędu:

$$\frac{u_1^2}{v_1} + p_1 = \frac{u_2^2}{v_2} + p_2 \quad [3]$$

Z zasady zachowania energii, przy założeniu, że gaz jest chemicznie nieczynnym i nie ma wymiany ciepła z otoczeniem:

$$E_1 + \frac{u_1^2}{2} + p_1 v_1 = E_2 + \frac{u_2^2}{2} + p_2 v_2 \quad [4]$$

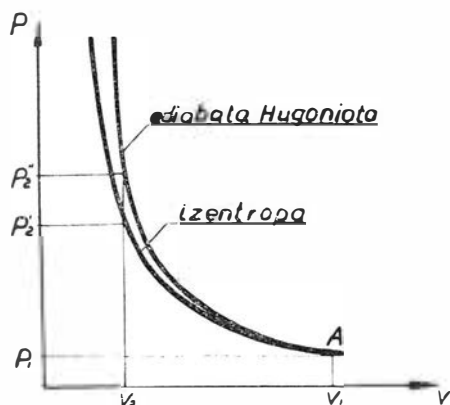
Przemiana termodynamiczna, towarzysząca powstaniu fali uderzeniowej, a zachodząca wg adiabaty dynamicznej tym się różni od sprężenia izentropowego, iż mamy tu do czynienia ze skończonymi wartościami przyrostów parametrów. Przemiana nie zachodzi w sposób quasi - statyczny i entropia układu rośnie. Położenie adiabaty dynamicznej w stosunku do adiabaty *Poissona* (izentropy) dla jakiegoś punktu A przedstawia w układzie „ $p-v$ ” rys. 2.

Ponieważ gaz, w którym rozchodzi się fala uderzeniowa z pewną prędkością, nie musi znajdować się w spoczynku, a może posiadać jakąś prędkość u_1 , zaś przemianę cieplną rozpatruje się dla będącej w ruchu fali — należy ustalić układ odniesienia dla rozważanych prędkości.

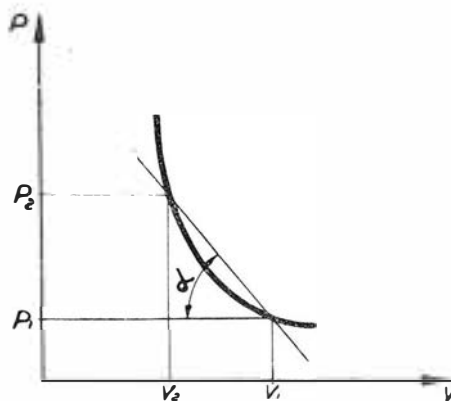
Rys. 3a przedstawia przewód rurowy, w którym fala uderzeniowa biegnie z prędkością D pod wpływem ruchu tłoka. Jeśli gaz będzie posiadał prędkość równą prędkości fali, ale przeciwnie skierowaną, to fala będzie nieruchoma względem ścianek rury (rys. 3b). Założenie, że:

$$u_1 = -D \quad [5]$$

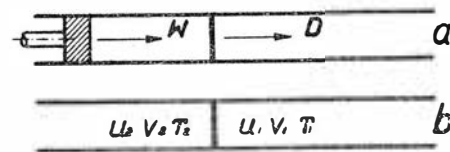
pozwała na rozpatrywanie prędkości gazu, odniesionych do nieruchomych ścianek rury, a jednocześnie na traktowanie punktów 1 i 2 o stanach (u_1, v_1, T_1) i (u_2, v_2, T_2) za nieruchome względem rury. W dalszych rozważaniach stałe przyjmuje się załączenie [5]. Znak minusa jest pomijany, aby nie komplikować wzorów.



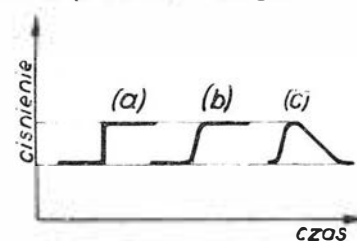
Rys. 2 — Izentropa i adiabatą Hugoniota w układzie „p, v”



Rys. 4 — Adiabatą dynamiczną (Hugoniota)



Rys. 3 — Ruch gazu w rurze i oznaczenie parametrów stanu gazu



Rys. 5 — Teoretyczny (a) i rzeczywisty (b i c) przebieg fal uderzeniowych

Z układu równań [2], [3] i [4] można obliczyć prędkość rozchodzenia się fali uderzeniowej. Prędkość ta wynosi:

$$D = u_1 = v_1 \sqrt{\frac{p_2 - p_1}{v_1 - v_2}} \quad [6]$$

Na wykresie adiabaty dynamicznej (rys. 4) wielkość prędkości rozchodzenia się fali uderzeniowej będzie ilustrował tangens pochylenia cięciwy, łączącej punkty (1) i (2), ponieważ:

$$\frac{p_2 - p_1}{v_1 - v_2} = \tan^2 \alpha$$

$$D = v_1 \sqrt{\tan^2 \alpha} \quad [7]$$

Fala uderzeniowa w układzie współrzędnych ciśnienia i czasu jest przedstawiona na rys. 5. Rys. 5a wyobraża falę teoretyczną o nagłym skoku ciśnienia, zaś rysunki (b) i (c) strukturę rzeczywistych fal uderzeniowych.

Tabela 1 podaje liczbowe wartości parametrów fali uderzeniowej, rozchodzącej się w powietrzu o temperaturze $T_1 = 273^\circ K$. Dla porównania podano temperatury, jakie dałoby sprężenie wg izentropy.

otrzymany stan przedstawiać będzie punkt B. Przechodząc przez punkt B krzywą Hugoniota otrzymamy na niej wszystkie stany gazu, jakie wyniknąć mogą ze spalania mieszanki przy różnych prędkościach. Punkt C przedstawia stan po spalaniu przy stałym ciśnieniu. Punkty leżące na gałęzi BEFN odnoszą się do spalania, któremu towarzyszy wzrost ciśnienia i zmniejszenie objętości właściwej. Spalanie takie jest właśnie spalaniem detonacyjnym.

TABELA 1

$\frac{p_2}{p_1}$	$\frac{v_1}{v_2}$	$T_2, ^\circ K$ wg adiabatę dynamiczną	$T_2, ^\circ K$ wg izentropę	D m/sek.
2	1,63	336	330	452
5	2,84	482	426	698
10	3,88	705	515	978
50	6,04	2260	794	2150
100	7,66	3860	950	3020

cyjnym. Falę uderzeniową, która w tym procesie dokonała sprężenia dynamicznego, nazywamy falą detonacyjną. Jeśli punkt F na rys. 6 określa stan gazu spalonego w sposób detonacyjny, to zgodnie ze wzorem (7), prędkość fali detonacyjnej wynosi w tym przypadku:

$$D = v_1 \sqrt{\tan^2 \alpha'}$$

gdzie α' jest kątem pochylenia cięciwy AF (rys. 6). Z rysunku widać, że dla gałęzi BEFN prędkości fali, a co jest w danym przypadku równoznaczne — i spalania — są znaczne. Kilka liczb, wziętych z doświadczeń dla różnych mieszanek, podaje tabela 2.

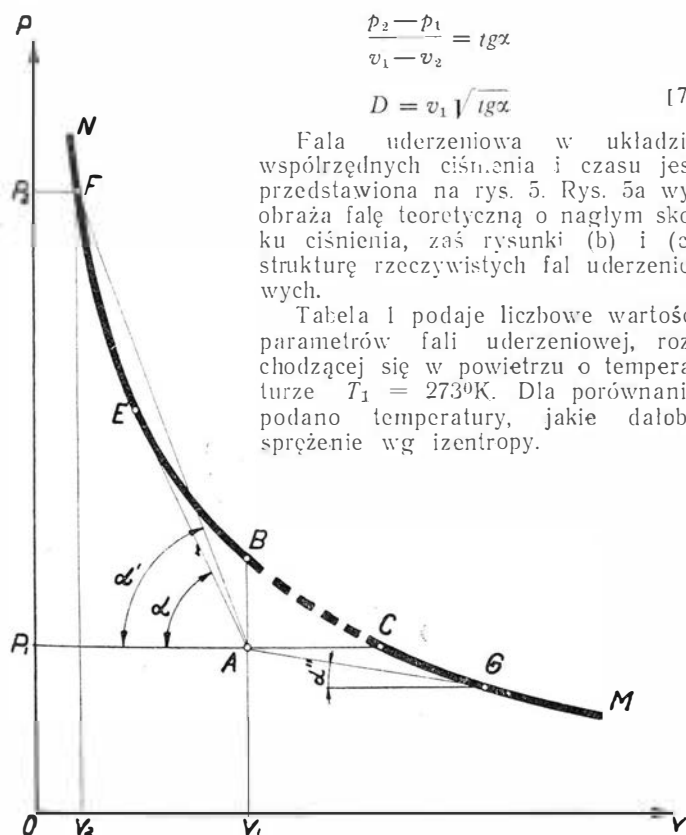
TABELA 2

mieszanka	D m/sek.
$2H_2 + O_2$	2821
$2CO + O_2$	1264
$C_2H_6 + 3,5O_2$	2363
$C_3H_8 + 3O_2$	2600

Na wykresie z rysunku 6 część BC krzywej nie posiada realnego znaczenia w interpretacji omawianych zjawisk spalania mieszanki, co jest widoczne ze wzoru 7. Tangens pochylenia cięciwy występujący pod pierwiastkiem przybiera dla części BC krzywej wartość ujemną i prędkość D staje się liczbą urojoną.

Gałąź CGM krzywej reprezentuje stany końcowe gazu, gdy spalanie dało w wyniku rozprężenie gazu, a więc spadek ciśnienia i zwiększenie się objętości właściwej.

Z wykresu widać, że pochylenie cięciwy AG jest małe, a więc i prędkości spalania (prędkości przesuwania się płomienia) dla gałęzi CGM są małe. Tak więc gałąź CGM krzywej zawiera punkty stanu końcowego mieszanki, gdy spalanie odbywało się w sposób powolny. Spalanie takie nazwiemy *powolnym* lub *zwykłym*.

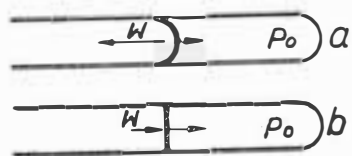


TL 102/52-86

Rys. 6 — Wykres spalania powolnego i detonacyjnego

Należy zaznaczyć, że dla spalania powolnego, w praktyce, nie można wyznaczać prędkości spalania opisaną metodą, ponieważ w spalaniu takim decydującą rolę odgrywają czynniki jak stan początkowy, przemieszanie mieszanki i in. Dla spalania detonacyjnego otrzymane z obliczeń prędkości detonacji są zgodne z liczbami doświadczalnymi.

Mimo, iż metodą wykreślenia adiabaty dynamicznej nie można oznaczyć ściśle wartości dla prędkości spalania powolnego, to jednak wykres z rys. 6 uzmysławia dobrze istnienie dwóch zakresów prędkości, z jakimi spalanie może zachodzić.



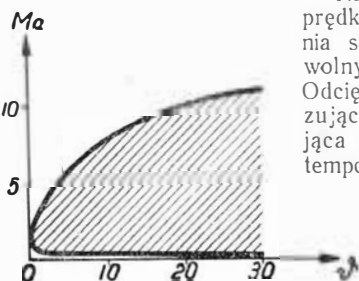
TL 102/52-R7

Rys. 7 — Spalanie powolne (a) i detonacyjne (b) w rurze z jednej strony zamkniętej

jest niższe od ciśnienia p_0 . W przypadku spalania detonacyjnego, z powodu wzrostu ciśnienia ponad ciśnienie p_0 , ruch palin odbywa się w kierunku do wnętrza rury. Oczywiście, w przypadku rury otwartej po pewnej chwili ciśnienie za falą detonacyjną zmniejsza, zmniejsza również prędkość palin i w pewnej odległości za falą zmienia one kierunek ruchu na przeciwny, tj. do wylotu rury.

Wykres z rys. 6 służy do wyznaczania prędkości detonacji, gdy znany jest stan początkowy mieszanki oraz jeden z parametrów stanu końcowego, np. ciśnienie. Aby wielkości te znaleźć opisaną metodą, dla danej mieszanki i danego stanu początkowego trzeba budować krzywą Hugoniota.

Zakresy prędkości, jakie można osiągnąć w procesach spalania przedstawia wykres na rys. 8.



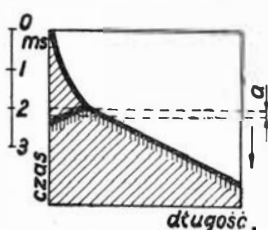
TL 102/52-R8

Rys. 8 — Zakresy prędkości spalania

przedstawia zakres prędkości, jakich nie można uzyskać w procesach spalania. Poniżej dolnej krzywej leży obszar spalania powolnego, powyżej górnej — obszar spalania detonacyjnego.

Doświadczalne metody badania detonacji

Trudności badania spalania detonacyjnego wynikają z dużej prędkości, z jaką zjawisko zachodzi oraz z eksplozywnego charakteru zjawiska. Aby móc fotografować przebieg spalania, spalanie przeprowadza się w rurkach szklanych, które na ogół od detonacji pękają. Ponieważ jednak rozpryskiwanie się szklanej rurki jest wolniejsze od prędkości detonacji, udaje się wykonać zdjęcia fotograficzne.



TL 102/52-R9

Rys. 9 — Zdjęcie fotograficzne detonacji wykonane na wirującym bębnie

wiadające prędkości obwodowej opisanego bębna 1000 m/sek.

Różnicę między spalaniem detonacyjnym a powolnym dobrze ilustruje przypadek spalania w rurze z jednej strony zamkniętej, przedstawionej na rys. 7. Rura napełniona jest palną mieszką o ciśnieniu p_0 . Przy spalaniu powolnym (rys. 7a) czoło płomienia posuwa się w prawo, zaś spaliny biegną w kierunku wylotu rury, ponieważ dzięki rozprężeniu ciśnienie ich jest niższe od ciśnienia p_0 . W przypadku spalania detonacyjnego, z powodu wzrostu ciśnienia ponad ciśnienie p_0 , ruch palin odbywa się w kierunku do wnętrza rury. Oczywiście, w przypadku rury otwartej po pewnej chwili ciśnienie za falą detonacyjną zmniejsza, zmniejsza również prędkość palin i w pewnej odległości za falą zmienia one kierunek ruchu na przeciwny, tj. do wylotu rury.

Na wykresie rzędną stanowi prędkość detonacji lub rozchodzenia się płomienia w spalaniu powolnym, wyrażona liczbą Macha. Odciętą stanowi liczba charakterystyczna daną mieszką, oznaczająca względną przyrost całkowitej temperatury mieszanki:

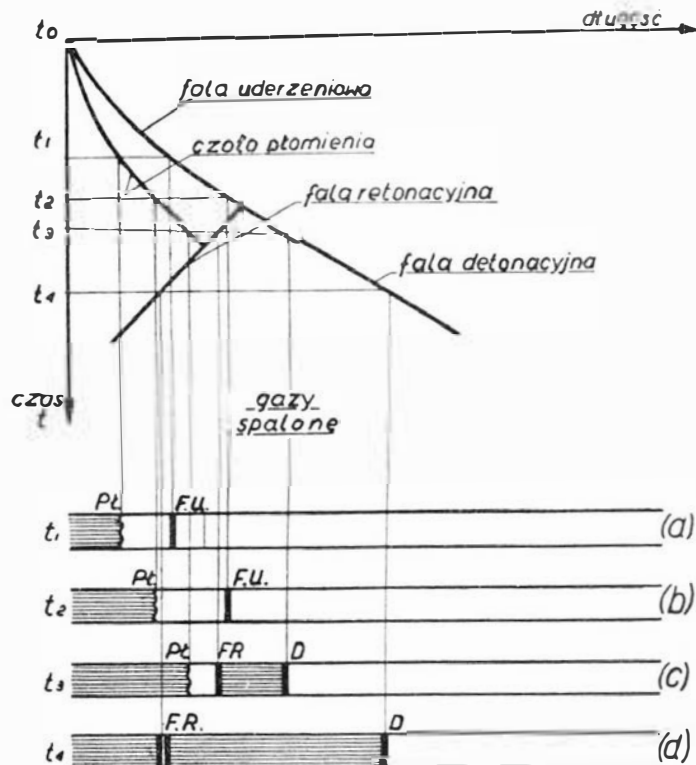
$$\vartheta = \frac{\Delta T_0}{T_1} = \frac{Q}{c_p T_1}$$

Wykres dotyczy wszystkich mieszanek, dla których można przyjąć wykładnik adiabaty równy 1,4. Obszar zakresowany

Rys. 9 wyobraża zdjęcie fotograficzne detonacji. Podstawa prostokąta odpowiada odcinkowi obserwowanej rury. Rzędna jest osią czasu. Odcinki drabinki odpowiadają czasom $\frac{1}{1000}$ sek (mili-

lisekundom). W danym momencie widok rury przedstawia wąski pasek „a”. Pasek ten należy uważać za poruszający się do dołu rysunku. Rysunek przedstawia ruch czoła płomienia, przy czym w pewnym momencie następuje detonacja. Pojawieniu się fali detonacyjnej towarzyszy powstanie fali o przeciwnym kierunku ruchu, którą nazwano falą „retonacyjną”. Gdy znana jest prędkość obrotu bębna, to pochylenie krzywych względem osi czasu pozwala obliczyć prędkość posuwania się fal w rurze.

Rys. 10 przedstawia powstawanie detonacji w fali uderzeniowej czystej.



TL 102/52-R10

Rys. 10 — Schemat powstawania detonacji w fali uderzeniowej czystej

W momencie t_0 zapalono mieszkę. Powstała fala uderzeniowa (F.U.), posuwająca się w prawo z prędkością większą niż prędkość czoła płomienia (P.L.). W pewnej chwili w fali uderzeniowej następuje zapłon. Odtąd fala uderzeniowa jest jednocześnie czołem płomienia. Jest więc to fala detonacyjna (D). Powstaniu detonacji towarzyszyło powstanie fali retonacyjnej (F.R.), która pobiegła w lewo, przechodząc początkowo przez świeżą mieszkę, następnie zaś przez gazy spalane. Gdy czoło płomienia dosięgnęło gazów spalanych w spalaniu detonacyjnym, powstała jedna strefa gazów spalanych (rys. 10d) z falą detonacyjną (D) na przodzie.

Mechanizm ustalania się prędkości detonacji

Jak już wspomniano, w spalaniu detonacyjnym gazy spalane posiadają kierunek ruchu zgodny z kierunkiem przesuwania się fali detonacyjnej (rys. 7b). Gazy spalinowe w tym przypadku odgrywają rolę analogiczną do roli tłoka, o którym mówiono na początku. Prędkość gazów spalinowych można wyznaczyć z układu równań [2], [3] i [4] jako różnicę prędkości początkowej i końcowej gazów:

$$w = u_1 - u_2$$

Różnica ta, obliczona z układu równań [2], [3] i [4] wynosi:

$$w = (v_1 - v_2) \sqrt{\frac{p_2 - p_1}{v_1 - v_2}} = (v_1 - v_2) \cdot \sqrt{\gamma g x} \quad [8]$$

Wracając do wykresu z rys. 6 można zauważyć, że dla danej mieszanki i danego stanu początkowego A, dla których to warun-

ków zbudowano wykres, prędkość detonacji może przybierać rozmaite wartości, cięciwą bowiem AF można poprowadzić pod różnymi kątami α . Szczególne własności posiada punkt E adiabaty dynamicznej, dla którego cięciwa staje się styczną. Można dowiedzieć, że adiabata *Poissona*, poprowadzona przez punkt E , jest styczna do adiabaty dynamicznej.

Prędkość dźwięku dla stanu gazu w punkcie E jest

$$a_2 = v_2 \sqrt{-\left(\frac{dp_2}{dv_2}\right)_{ad}} = v_2 \cdot \sqrt{\varphi}$$

gdzie
$$\varphi = -\frac{dp_2}{dv_2}$$

W punkcie E :

$$\varphi = \operatorname{tg} \alpha$$

czyli:

$$a_2 = v_2 \cdot \sqrt{\operatorname{tg} \alpha} \quad [9]$$

Jeśli punkt E przedstawia stan końcowy gazu, to prędkość detonacji wynosi:

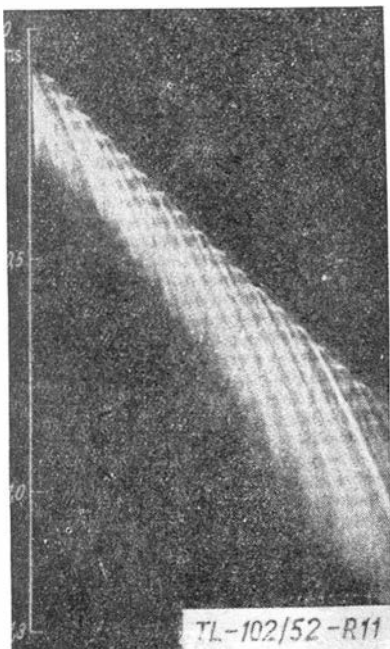
$$D = v_1 \cdot \sqrt{\operatorname{tg} \alpha} \quad [10]$$

Porównanie wzoru na prędkość spalin [wz. 8] ze wzorami [9] i [10] daje dla tego przypadku:

$$\begin{aligned} \omega &= D - a_2 \\ D &= \omega + a_2 \end{aligned} \quad [11]$$

Jak widać z rys. 6 prędkość detonacji odpowiadająca punktowi E jest minimalną prędkością detonacyjną dla danej mieszanki. Wielkość tej prędkości jest zgodna z wynikami doświadczeń i jest charakterystyczna dla danej mieszanki. Jeśli detonacja przebiega z prędkością większą, jest to stan nietrwały. Ustalona prędkość fali detonacyjnej jest jej prędkością minimalną, równą sumie prędkości spalin i prędkości dźwięku wg wzoru [11].

Dla punktów gałęzi *EFN* krzywej *Hugoniota* prędkość dźwięku jest większa niż prędkość detonacji im odpowiadająca. Fakt ten sprawia, że jakakolwiek fala powstała w gazach spalinowych, posuwająca się z prędkością dźwięku, dogoni falę detonacyjną. Istnieje hipoteza, że za falą detonacyjną zgęszczeniową posuwa się fala rozrzedzeniowa. Jako argument, przemawiający za istnieniem takiej fali rozrzedzeniowej, podawane bywa odginanie się jasnych smug gazów spalinowych w kierunku przeciwnym do kierunku fali detonacyjnej. Zmiana kierunku ruchu odbywać się musi pod wpływem spadku ciśnienia, a więc pewnej fali rozrzedzeniowej. Zmianę kierunku ruchu gazów spalinowych przedstawia fotografia z rys. 11.



Rys. 11 — Fotografia detonacji. Widoczne są odgięcia dróg (w prawo i do dołu) spalonych gazów

Skoro dla gałęzi *EFN* prędkość fali rozrzedzeniowej, równa prędkości dźwięku, jest większa od prędkości fali detonacyjnej, to fala rozrzedzeniowa dogania falę detonacyjną, osłabia ją i obniża prędkość detonacji aż do jej wartości minimalnej. Prędkość ta nie ulega już dalszej zmianie i detonacja zachodzi z prędkością stałą, określoną wzorem [11].

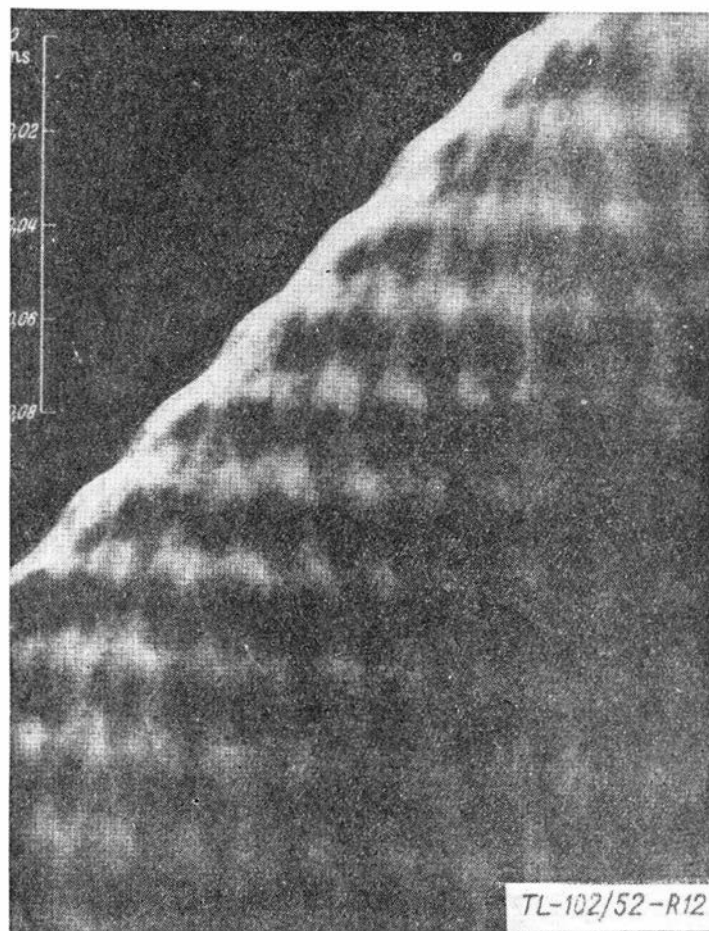
Zjawiska pulsacyjne w spalaniu detonacyjnym

Zaobserwowano, że spalaniu detonacyjnemu w rurach towarzyszą w pewnych warunkach zjawiska o charakterze pulsacyj-

nym. Na zdjęciach fotograficznych przebieg detonacji przedstawia zwykle prosta, pochylona do osi czasu pod kątem, odpowiadającym prędkości detonacji w danej mieszance (rys. 9). Prędkość ta jest stała, charakterystyczna dla mieszanki. Otrzymano tymczasem zdjęcia, na których linia fali detonacyjnej jest falista, z każdej zaś fali wybiegają dwie proste smugi pod stałym kątem względem siebie. Przedstawia to rys. 12.

Jeśli rurka szklana, w której zachodzi takie zjawisko, pokryta jest np. ołowiem, to w wyniku tego specyficznego spalania detonacyjnego pozostaje na rurce ślad w kształcie linii śrubowej. Ponieważ nasuwa to myśl, że gazy, które uległy spalaniu detonacyjnemu, posiadają ruch po linii śrubowej, zjawisko nazywano „*spinem detonacyjnym*”. Można by je nazwać „*detonacją wirową*”.

Wytłumaczenie zjawiska jest trudne, czego dowodem są liczne i całkiem ze sobą sprzeczne hipotezy. Z hipotez tych trzy wydają się być szczególnie godne rozważenia: 1) teoria o pulsacyjnym charakterze procesu chemicznego w spalaniu detonacyjnym; 2) teoria ruchu pulsacyjnego gazu w płaszczyźnie prostopadłej do osi rury; 3) teoria zakłóceń przepływu na skutek nierówności ścianki rury.

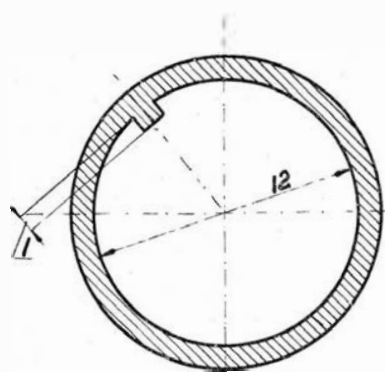


Rys. 12 — Fotografia detonacji wirowej (obraz przedstawia przebieg spalania w rurce o długości 25 cm w czasie ok. 10-4 sek.)

Gdyby detonacja wirowa polegała w istocie na ruchu gazów spalinowych po linii śrubowej, to występ w ściance rury (rys. 13), biegnący wzdłuż rury po tworzącej wałka, zakłóciłby zjawisko. Obserwacje zakłóceń jednak nie stwierdzają, a spin detonacyjny występuje również w rurce o przekroju kwadratowym.

Według pierwszej teorii reakcja chemiczna w przebiegu spalania zachodzi w sposób całkowicie nieciągły. Ponieważ zapłon mieszanki wymaga pewnego czasu, przyjmuje się, że spalanie zachodzi nie w czoło fali detonacyjnej, a w pewnej od niego odległości. Jeśli w przekroju A rury (rys. 14) czoło fali napotkało świeżą mieszankę, to zdąży ono dojść do przekroju B , zanim na odcinku AB zajdzie reakcja chemiczna.

Energia reakcji chemicznej zostaje udzielona fali i ją przyspiesza. Dopiero po pewnej chwili nastąpi ponowne spalanie.

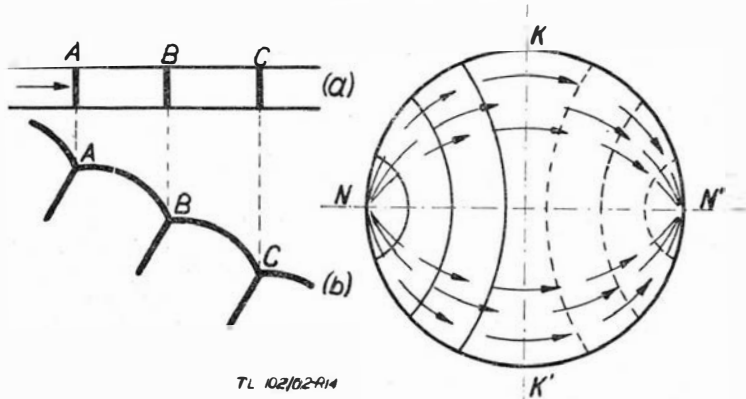


TL 102/102-R13

Rys. 13 — Rura z występem użytą do badania detonacji wirowej

ry jest taki, jak przedstawiono na rys. 15.

Na rysunku tym kolejne izobary w kierunku od N do N' przedstawiają ciśnienia malejące. Tego rodzaju rozkład ciśnień powoduje ruch gazu od N do N' , jak to wskazują strzałki. Z kolei sytuacja zmienia się na przeciwną i wyższe ciśnienia panują po stronie N' , a niższe po stronie N , co powoduje ruch od N' do N . Wahadłowy ruch gazu łącznie z ruchem postępowym przedstawia schematycznie rys. 16.



TL 102/102-R14

TL 102/102-R15

Rys. 14 — Spalanie nieciągłe

Rys. 15 — Rozkład ciśnień w rurze tłumaczący zjawisko detonacji wirowej

Opisane wahania ciśnienia mają wpływ na intensywność spalania, a w warunkach granicznych detonacyjności mieszanki mogą decydować o tym, czy w danym momencie spalanie zachodzi, czy też nie. Wzrastające i malejące jasności gazu, posiadającego ruch jak na rys. 16, dają na zdjęciach fotograficznych obraz podobny do obrazu linii śrubowej.

Opisany ruch daje się ująć rachunkiem. Obliczenia dają w wyniku szereg wartości na częstość drgań gazu w płaszczyźnie poprzecznej przekroju rury. Wartość najniższej częstości podaje wzór następujący [Lit. 3]:

$$N = a_2 \frac{1,841}{2\pi R} \quad [12]$$

gdzie N jest częstością drgań na sekundę
 a_2 — prędkość dźwięku
 R — promień rury.

Jest oczywiste, że pomiar częstości rzeczywistej drgań ze zdjęć fotograficznych nie przedstawia żadnych trudności. Zestawienie wartości liczby N , obliczonych ze wzoru [12], z wartościami doświadczalnymi podaje tabela 3.

TABELA 3

średnica (2R) cm	0,362	0,415	1,21	1,28	1,3	1,52	2,54
N zaobserwowane	148 000	132 000	47 500	44 800	44 400	39 800	23 900
N obliczone	168 500	147 000	50 300	47 600	46 800	40 000	24 000

Zgodność wyników teoretycznych z doświadczalnymi jest uderzająca. We wzorze [12] zwraca uwagę fakt zależności częstości drgań od średnicy rury.

Istnienie pewnej zależności między częstością drgań a średnicą rury można by starać się wyprowadzić również z trzeciej ze wspomnianych teorii interpretujących zjawisko spinu. Te-

oria ta podkreśla fakt, że detonacja wirowa ma miejsce w takich warunkach, które są bliskie granicy detonacyjności mieszanki. W zależności od wysokości ciśnienia w fali uderzeniowej, proces zapłonu mieszanki może trwać dłużej lub krócej. Jeśli czas, potrzebny do zapalenia warstewki mieszanki oznaczyć przez τ , to warunkiem aby detonacja mogła nastąpić jest:

$$\tau < \frac{d}{C} \quad [13]$$

gdzie d oznacza „grubość” fali uderzeniowej (rys. 17)

C — prędkość fali uderzeniowej.

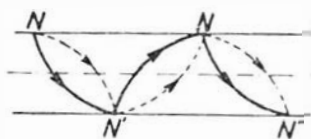
Ułamek $\frac{d}{C}$ przedstawia czas trwania podwyższonego ciśnienia w danym miejscu. Jeśli czas ten jest krótszy od czasu potrzebnego na zapłon, tj. od τ , zapłon nastąpić nie może. Gdy stan mieszanki jest bliski granicy detonacyjności, to szczególny wpływ na proces zapłonu wywierają nierówności na ściankach rury. Odbicie się płynącej mieszanki od nieznacznej nawet nierówności na ścianie powoduje znaczne miejscowe podniesienie ciśnienia i zmniejsza tym czas τ , potrzebny do zapłonu mieszanki. W danym miejscu zostaje spełniony warunek [13] i następuje detonacja. Takiej miejscowej detonacji przy ścianie rury towarzyszy powstanie fali retonacyjnej. Jak duży jest wpływ nierówności ścianki na podniesienie ciśnienia świadczy to, że

np. w fali uderzeniowej o spiętrzeniu ciśnienia $\frac{p_2}{p_1} = 12$: od-

powiadającej temu prędkości 800 m/sek. następuje zapłon, któ-

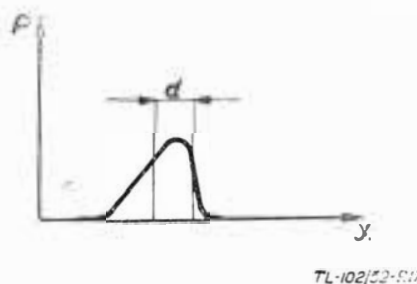
ry wymaga spiętrzenia $\frac{p_2}{p_1} = 32,6$.

Odbicie fali od nierówności ścianki spowodowało więc wzrost ciśnienia 2,7 raza.



TL 102/102-R16

Rys. 16 — Ruch cząstek gazu wywołujący zjawisko detonacji wirowej



TL 102/102-R17

Rys. 17 — Określenie „grubości” fali uderzeniowej

Spalanie detonacyjne a silniki pulsacyjne

Zjawiska pulsacyjne przy spalaniu detonacyjnym omówiono, ponieważ niektóre cechy tych zjawisk mogą się wydawać cenne w zastosowaniach silnikowych. Spalanie przy znacznych sprężach daje dużą sprawność cieplną silnika. Samorodne powstawanie spiętrzeń ciśnienia u wlotu do komory spalania pozwoliłoby uniknąć zaworów, które są słabym elementem silnika pulsacyjnego. Również rząd wielkości pulsacji w spalaniu detonacyjnym wzbudza zainteresowanie, bo częstości drgań leżą poza granicą „luzalności”, tj. powyżej 17 000 drgań na sekundę. Wady więc współczesnych silników pulsacyjnych o częstości 40 do 150 drgań na sekundę, w postaci hałasu i znacznych długości silnika — mogłyby być usunięte. Niestety, szczególnie dwie ostatnie z przytoczonych teorii pulsacji w spalaniu detonacyjnym nie dają podstaw do snucia nadziei o zastosowaniu w silnikach pulsacyjnych zjawisk pulsacyjnych detonacji. Natomiast stworzenie cyklu z zastosowaniem spalania detonacyjnego zwykłego wydaje się możliwe i specjalnie interesujące w odniesieniu do silników pulsacyjnych bezzaworowych.

Spalanie detonacyjne a silniki strumieniowe

W bieżącym stadium doświadczenia nad spalaniem detonacyjnym znajdują się jeszcze raczej w rękach fizyków i chemików, niż silnikowców — konstruktorów, jednak zainteresowanie tym zagadnieniem jest wywołane względami rozwoju silników lotniczych. Przyczyną tego zainteresowania są następujące właściwości spalania detonacyjnego:

- 1) duża prędkość czoła płamienia,
- 2) wysoki spręż mieszanki w czasie spalania, co daje dużą sprawność cieplną;

3) sprężanie mieszanki przez falę uderzeniową w silnikach strumieniowych jest równoznaczne z działaniem skomplikowanych mechanizmów sprężających jak tłok i sprężarka w silnikach tłokowych i turbinowych.

Zagadnienie prędkości spalania jest sprawą istotną dla silnika strumieniowego. W silniku takim na ogół prędkość powietrza w komorze spalania jest trzy do pięciu razy mniejsza od prędkości lotu i wynosi dla silnika poddźwiękowego np. 70 m/s. Jeżeli prędkość spalania mieszanki jest rzędu kilku czy kilkunastu m/s, trzeba tworzyć w silniku strefy o bardzo małej prędkości przepływu, co uzyskuje się przy pomocy stateczników płomienia. Powstałe przez to opory przepływu zmniejszają sprawność silnika.

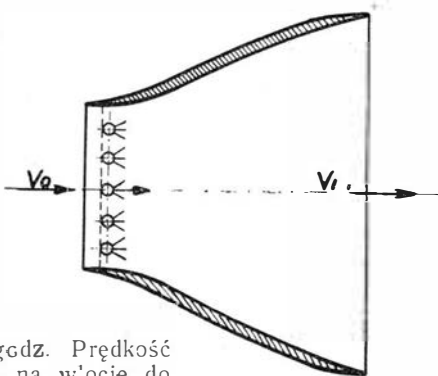
Wielka rozbieżność między rzędem prędkości spalania powolnego a spalania detonacyjnego nie pozwala na ulepszenie silnika strumieniowego przez zwykłe zastosowanie nowego rodzaju spalania, a wymaga całkiem nowych koncepcji silnika.

Pomysły silników odrzutowych o spalaniu detonacyjnym usiłują wykorzystać w procesie spalania fale uderzeniowe w powietrzu, które towarzyszą ruchowi ciała o prędkości naddźwiękowej. Fala zgęszczeniowa w odpowiednio ukształtowanym dyfuzorze silnika strumieniowego przy odpowiednim ustawieniu wtryskiwaczy może być źródłem zapłonu mieszanki. Rysunki 18 i 19 ilustrują pomysły silników o takim zapłonie.

Z podanych uprzednio opisów spalania detonacyjnego wynika, że prędkość z jaką biegnie fala detonacyjna w danej mieszance jest wielkością stałą, zależną od ilości ciepła wywołanego w czasie spalania w czole fali i za nią. W silnikach z rys. 18 i 19 fala zgęszczeniowa jest związana geometrycznie z silnikiem. Prędkość tej fali jest określona przez prędkość powietrza wpływającego do silnika i zależna od prędkości lotu. Innymi słowy — prędkość fali uderzeniowej wywołującej zapłon jest narzucona procesowi zapłonu. Jeśli spalanie w silniku ma mieć charakter detonacyjny, to tylko w szczególnym przypadku prędkości fali detonacyjnej i fali uderzeniowej byłyby jednakowe. Wielkości te są funkcjami różnych zmiennych niezależnych. Z tej przyczyny teorii spalania detonacyjnego nie można stosować bez zastrzeżeń przy rozważaniach nad zapłonem w fali uderzeniowej w dyfuzorze oraz nad spalaniem za czołem fali. Zagadnienie wymaga eksperymentów nad zapłonem przy różnych prędkościach naddźwiękowych. Doświadczeń takich przeprowadzono dotychczas niezmiernie mało. Doświadczenia te polegały początkowo na próbach zapalania mieszanki przez fale wywołane ruchem pocisku. Uzyskano zapłon w przedniej fali dźwiękowej dla mieszanki acetylen - powietrze. W dalszych badaniach wytwarzano falę uderzeniową w rurze przez nagłe usunięcie przesłony, oddzielającej rurę z mieszanką od zbiornika z gazem o dużym ciśnieniu. Zbadano różne mieszanki przy różnych prędkościach fali. Dla mieszanek paliwo - powietrze uzyskano zapłon przy liczbie Macha 3 do 10.

Rys. 18 — Naddźwiękowy silnik strumieniowy „detonacyjny” pomysłu M. Roya

Rys. 18 przedstawia naddźwiękowy silnik strumieniowy nazywany „detonacyjnym”, pomysłu Maurycego Roya. Silnik przeznaczony jest do pracy przy prędkości lotu rzędu 4600 km/godz. Prędkość ta powoduje powstanie na wlocie do silnika fali uderzeniowej o znacznym sprężu. Wtryskiwacze byłyby umieszczone tak, aby w miejscu spiętrzenia ciśnienia powietrze było już zmieszane z paliwem. Czoło fali jest miejscem nagłego spadku prędkości a wzrostu ciśnienia, które wywołuje zapłon. Zapłon miałby charakter detonacyjny. Ponieważ prędkość powietrza przed silnikiem jest większa od prędkości fali detonacyjnej, więc fala detonacyjna nie może biec do przodu silnika. Przy odpowiedniej ilości dostarczonego paliwa ostateczna prędkość spalin w końcu cylindrycznej części silnika osiągnie swą maksymalną prędkość, tj. prędkość dźwięku. W stożku wylotowym silnika, stanowiącym dyszę, następuje wzrost prędkości, dzięki czemu silnik winien dawać ciąg. Przewidywana prędkość powietrza na wlocie $v_0 \approx 1277$ m/s,

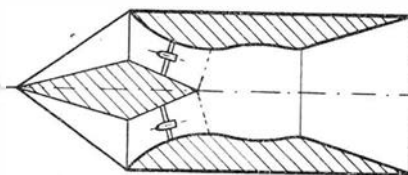


TL-102/52-R19

temperatura $T_0 = 216,5^\circ\text{K}$, na wylocie zaś z silnika $v_1 = 1450$ m/s i $T_1 = 830^\circ\text{K}$. Możliwość realizacji tego silnika zakwestionowano porównując ciąg obliczony z podanych wyżej liczb z przypuszczalnym oporem czołowym silnika. Ciąg okazał się mniejszy od oporu czołowego.

Rys. 19 przedstawia naddźwiękowy silnik strumieniowy, nazywany silnikiem o zapłonie od fali uderzeniowej. W silniku tym tylna fala dźwiękowa powstająca w dyfuzorze jest wykorzystana do zapłonu mieszanki. Wtryskiwacze umieszczone są w dyfuzorze tak, że w fali uderzeniowej w końcu dyfuzora powietrze jest już zmieszane z paliwem i tam następuje zapłon. Komora spalania stanowi dość dużą przestrzeń między końcem dyfuzora a początkiem dyszy wylotowej. Regulacja silnika pomyślana jest tak, że przez zmianę przekroju wylotowej dyszy zmienia się ciśnienie w komorze spalania. Zmiana ciśnienia w dyfuzorze i na ilość powietrza przepływającego przez silnik, która to ilość jest głównym czynnikiem decydującym o wielkości ciągu silnika w danej chwili. Aby porównać proces spalania w obu silnikach, należy w nich wyodrębnić następujące strefy:

- a) czoło fali uderzeniowej, w którym prędkość powietrza maleje od prędkości naddźwiękowej do poddźwiękowej, a ciśnienie i temperatura wzrastają, wywołując zapłon mieszanki;
- b) strefa spalania, w której ciśnienie spada, a prędkość rośnie do prędkości krytycznej, tj. prędkości dźwięku;
- c) strefa dyszy wylotowej, w której prędkość wzrasta nadal do pewnej wielkości naddźwiękowej.



Rys. 19 — Silnik strumieniowy naddźwiękowy o zapłonie od fali uderzeniowej

TL-102/52-R19

Najistotniejsza różnica między obu silnikami polega na odmiennym ukształtowaniu tej części silnika, która odpowiada strefie spalania. Pierwsza koncepcja zakłada spalanie bardzo szybkie przez co komorę spalania stanowi niezmiernie krótka cylindryczna część silnika. W konstrukcji drugiej istnieje komora spalania w ścisłym znaczeniu tego słowa, a więc założono, że wzrost prędkości spalin do prędkości krytycznej zachodzi wolniej.

Odnośnie różnicy nazw omawianych silników nasuwa się uwaga, że druga koncepcja jest późniejsza. Tworząc ją rozporządzano już liczniejszymi wynikami doświadczeń nad zapłonem od fali uderzeniowej i w nazwie silnika zaakcentowano pewną odmienną zjawiska zapłonu w fali uderzeniowej, wywołanej ruchem ciała o prędkości naddźwiękowej, od zjawiska detonacji swobodnie przebiegającej w mieszance.

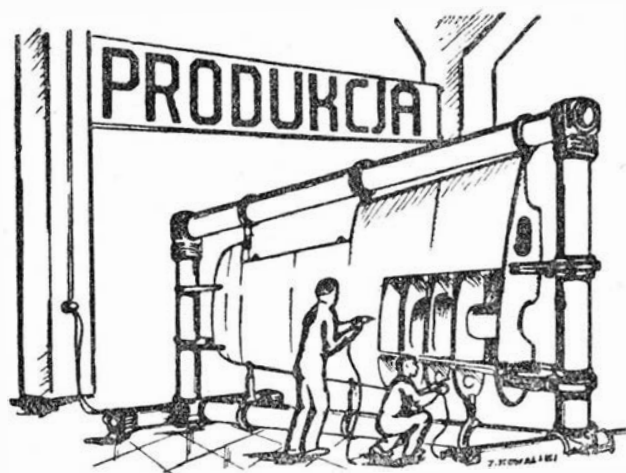
Realizacja pomysłów silników o spalaniu detonacyjnym czy też o zapłonie od fali uderzeniowej wymaga jeszcze ogromnej pracy o charakterze teoretycznym i ogromnej ilości doświadczeń. Trzeba badać zagadnienie wzmacniania fal uderzeniowych, rozpylanie paliwa przy prędkościach naddźwiękowych i szereg innych problemów.

Podane uwagi wykazują nikłość osiągnięć choćby teoretycznych nad stworzeniem silnika detonacyjnego, ale wydaje się rzeczą pewną, że w przyszłości w silnikach przystosowanych do naddźwiękowych prędkości lotu spalanie powinno zostać zastąpione spalaniem detonacyjnym. Powstaną niewątpliwie nowe koncepcje teoretyczne, a silnik zrealizowany może bardzo odbiegać od pierwszych pomysłów.

Artykuł wpłynął dnia 11 grudnia 1952 r.

LITERATURA

1. B. Zeldowicz: „Teoria udernych woli i wwidzenie w gazodinamiku”, Moskwa — Leningrad 1946.
2. W. Jost: „Explosion and Combustion Processes in Gases”. Transl. by H. O. Croft, New York and London 1946.
3. N. Manson: „Propagation des détonations et des déflagrations dans les mélanges gazeux” Ed. de l’Office National d’Etudes et de Recherches Aéronautiques et de l’Institut Français des Pétroles, Paris 1947.
4. G. N. Abramowicz i L. A. Wulis: „K mechanice rasprostranienija dietonacji i gorienja”, Doklady Akademii Nauk SSSR. Tom LV N 2. 1947.
5. A. S. Sokolik: „O mechanizmie priedietonacjonnowo uskorienija plamieni”, Żurnal eksperimentalnoj i teoreticzeskoj fizyki”. Tom 21, wyp. 10. 1951.
6. E. Herrera: „Les Réacteurs supersoniques. L’Aerotechnica”, Volume XXXII N 2, 15 Aprile 1952.
7. F. F. Rand: „The Shock Ignition Engine” Aeron. Eng. Review, Oct. 1952.



Mgr inż. JERZY GAŁĄZKA
Politechnika Warszawska

Zastosowanie emisyjnej analizy widmowej w przemyśle metalowym

W artykule podano zasadę analizy spektralnej jakościowej i ilościowej oraz możliwości zastosowania jej w przemyśle metalowym. Omówiono aparaturę spektralną, poddając szczegółowej analizie urządzenie wzбудzające i ich zastosowanie. Zestawiono wykaz niezbędnej aparatury dla analitycznych pracowni spektrograficznych.

1. WSTĘP

Szybkie określenie składu pierwiastkowego stopów i określanie zanieczyszczeń metali technicznie czystych, wysuwa się na czoło zagadnień w przemyśle metalowym.

Zwykła analiza chemiczna wagowa i miareczkowa przy obecnym tempie produkcji w wielu przypadkach nie może sprostać tym zadaniom. W takich przypadkach uciekam się do innych fizycznych lub fizykochemicznych metod analizy.

Emisyjna analiza spektralna zajmuje czołowe miejsce w fizycznych metodach określania składu chemicznego ciał. Metoda ta znana jest już od czasów Kirchhoffa i Bunsena (ok. 1860 r.), stosowano ją w pracowniach naukowych wyższych uczelni i instytutów. Ostatnio znajduje ona szerokie zastosowanie w przemyśle.

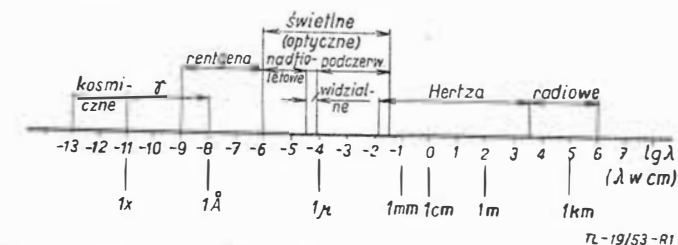
Analiza spektroskopowa i spektrograficzna jest obecnie szeroko rozpowszechniona za granicą w fabrykach i instytutach badawczych. W Polsce w wielu zakładach czynne są pracownie spektrograficzne, które z dostateczną dokładnością przeprowadzają analizy ilościowe stali, cynku, aluminium i innych stopów. Jednak jeszcze wiele naszych pracowni nie posiada skompletowanej aparatury, fachowej obsługi, opracowanych metod, próbek wzorcowych itp. Usunięcie tych trudności przyczyniłoby się znacznie do szybszego uruchomienia nie czynnych jeszcze pracowni, co wniosłoby znaczne oszczędności do gospodarki narodowej.

Dla szerokiego ogółu inżynierów i techników, nie znających bliżej analizy spektralnej, a którym warunki pracy narzucają konieczność zainteresowania się tą dziedziną, omówiona zostanie w niniejszym artykule zasada analizy spektralnej, zakres przydatności jej w przemyśle metalowym, oraz wykaz niezbędnych urządzeń i aparatów dla analitycznych pracowni spektrograficznych.

2. ZASADA ANALIZY SPEKTRALNEJ

Wszystkie substancje w dowolnym stanie skupienia są w pewnych warunkach źródłem emisji lub absorpcji energii w postaci promieniowania elektromagnetycznego.

Różne rodzaje promieniowania elektromagnetycznego różnią się od siebie długością fali. Obraz promieniowania elektromagnetycznego, rozłożonego na jego najprostsze elementy, scharakteryzowane długością fali, nazywamy widmem elektromagnetycznym (rys. 1).



Rys. 1 — Schemat widma elektromagnetycznego w skali logarytmicznej (Lit 4)

Dla celów analitycznych znaczenie posiada obszar widma optycznego i rentgenowskiego. Pierwszym z nich zajmuje się spektroskopia i spektrografia optyczna, a drugim spektrografia rentgenowska.

Wyromieniowanie energii przez materię nazywamy emisją, a widmo takiego promieniowania nazywamy widmem emisyjnym. Zjawisko związane z pochłanianiem tej energii przez materię nazywamy absorpcją. Widmo absorpcyjne otrzymujemy więc

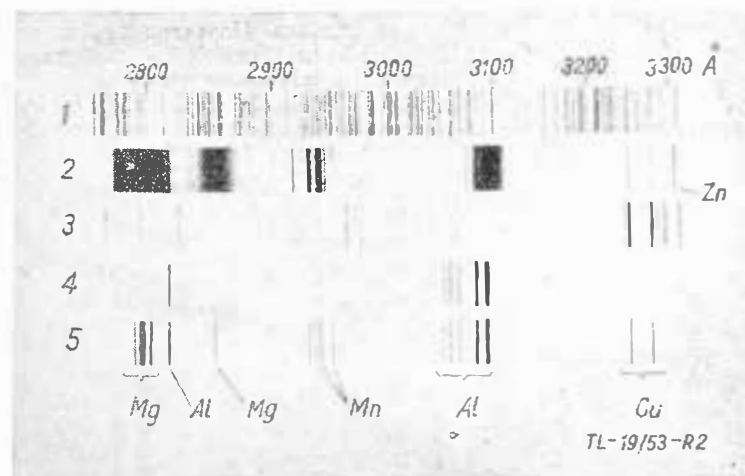
na tle widma emisyjnego w postaci zaniknięcia lub osłabienia pewnych odcinków widma emisyjnego. Rozróżniamy przy tym trzy zasadnicze grupy widm (tak emisyjnych jak i absorpcyjnych):

- 1) ciągłe,
- 2) pasmowe,
- 3) prążkowe (liniowe).

Emisja promieniowania elektromagnetycznego przez materię, zachodzi w wyniku zmian poziomów energetycznych elektronów wewnątrz atomów lub cząsteczek. Przyczynę wywołującą takie zmiany nazywamy wzbudzeniem. Może ono zajść na drodze:

- 1) termicznej,
- 2) przez bombardowanie elektronami i jonami,
- 3) optycznej.

Z pobudzonych swobodnych atomów otrzymujemy promieniowanie o widmie prążkowym. Natomiast cząsteczki, które w czasie pobudzania nie ulegają rozpadowi na swobodne atomy, dają widmo pasmowe. Promieniowanie pochodzące z rozgrzanych ciał stałych, cieczy oraz przy wyładowaniach elektrycznych w gazach pod dużym ciśnieniem, daje w pewnym obszarze widmo o charakterze ciągłym.



Rys. 2 — Odcinki widma prążkowego niektórych czystych pierwiastków i stopów.

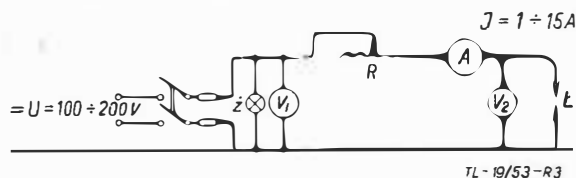
- 1 — stal miedziaka Mn-0,4%, Si-ślady, Cu-ślady,
- 2 — „Elektron” (stop Mg-Al-Zn), zaw. Al-9,2%, Zn-0,65%, Cu-0,1%, Mn-0,3%, Fe-0,05%, Si-0,04%, reszta Mg
- 3 — Miedź elektrolityczna
- 4 — Aluminium chemicznie czyste
- 5 — „Dural”, zaw. Cu-3,5%, Mg-1,1%, Mn-0,69%, Si-0,34%, Fe-0,33%, reszta Al.

W próbkę nr 2 i 5 linie Fe i Si są niewidoczne na fotografii, gdyż były zbyt słabe i zaniknęły podczas przedruku

Jak wyżej było wspomniane widmo prążkowe powstaje jako rezultat zmian poziomów energetycznych elektronów wewnątrz atomów. Możliwość zmian poziomów energetycznych elektronów jest bardzo wielka ale nie dowolna. Liczba i wielkość takich możliwych zmian jest jednakowa dla tego samego rodzaju atomów. Każdej określonej zmianie poziomu energetycznego elektronu towarzyszyć będzie emisja lub absorpcja światła o ściśle określonej długości fali świetlnej. Wobec tego obraz widma prążkowego zależy z jednej strony od budowy atomów, a z

drugiej od zmian poziomów energetycznych elektronów związanych z atomem. Budowa atomów tego samego pierwiastka w zasadzie jest jednakowa; a zmiany energetyczne elektronów w tych atomach, biorąc statystycznie powinny być stałe, w stałych warunkach wzbudzenia. Wobec tego widmo tego samego pierwiastka pobudzonego w stałych warunkach powinno być jednakowe. I tak jest istotnie. Zestawimy więc podstawowe założenie analizy widmowej: **Każdy pierwiastek pobudzany w stałych warunkach posiada stały, typowy dla siebie obraz widma prążkowego (rys. 2).** Jeżeli będziemy pobudzali substancję złożoną z kilku pierwiastków to w widmie wystąpią prążki wszystkich pobudzanych pierwiastków (rys. 2). Przy tym obraz widma każdego pierwiastka w widmie złożonym ulega na ogół tylko takim zmianom, jakie zostały spowodowane zmianami warunków wzbudzenia, wywołanymi obecnością innych pierwiastków. Uogólnione założenie analizy spektralnej możemy sformułować następująco: obraz widma prążkowego zależy od składu pierwiastkowego źródła światła i od warunków wzbudzenia.

Jak zobaczymy dalej warunki wzbudzenia na ogół nie są stałe, a więc i obrazy widma nawet jednej i tej samej próbki nie będą identyczne. Jednak to nie wyklucza możliwości analizy tak jakościowej jak i ilościowej. Przy analizie jakościowej zmiana w warunkach wzbudzenia wcale nie przeszkadza, gdyż ze zmianą warunków wzbudzenia zmienia się jedynie natężenie prążków, a długość fal pozostaje niezmienna (w założeniu, że nie zachodzą żadne zjawiska, które w normalnych warunkach pracowni analitycznych nie mają miejsca, jak zjawisko Dopplera, Zeemana itp.). Natomiast analiza ilościowa napotyka w związku z tym na znaczne trudności.



Rys. 3 — Schemat instalacji elektrycznej generatora łuku prądu stałego

Wszystkie czynności związane z przeprowadzeniem optycznej emisyjnej analizy widmowej można podzielić na cztery fazy.

1. Przygotowanie próbki.
2. Pobudzenie próbki do emisji światła.
3. Rozszczepienie wiązki promieni świetlnych na widmo.
4. Rozpatrzenie widma (właściwa analiza).
 - 4.1. Wyszukiwanie charakterystycznych prążków poszczególnych pierwiastków (analiza jakościowa).
 - 4.2. Pomiar intensywności odpowiednich prążków poszczególnych pierwiastków i wyliczenie stąd względnych procentowych zawartości (analiza ilościowa).

2.1. Przygotowanie próbki

Próbki należy pobierać z miejsca reprezentującego rzeczywisty skład badanego materiału. Kształt próbki związany jest ściśle z urządzeniem wzbudzającym. W technicznej analizie metali i stopów posługujemy się z reguły wzbudzeniem łukowym lub iskrowym. Wówczas materiałem pobudzonym są elektrody. Jeśli ilość lub postać badanej substancji nie pozwala na uformowanie z niej elektrod, użyć można wtedy elektrod pomocniczych z pierwiastków o ubogim widmie np. spektralnie czysty węgiel, miedź, srebro itp., na które nakłada się badaną substancję. W przypadku gdy badany materiał jest przedmiotem, którego nie wolno uszkodzić, stosujemy jedną elektrodę pomocniczą, a drugą elektrodę stanowi badany przedmiot. Cały proces przygotowania próbek, ich ukształtowania dla różnych materiałów jest bardzo obszernym tematem i nie może być w tym artykule omówiony. Należy tylko zaznaczyć, że dla celów analizy jakościowej kształt i wielkość próbek jest mało ważna. Natomiast przy ilościowej analizie o ile to jest możliwe, dobiera się specjalne kształty i wielkości próbek, przy których warunki wzbudzenia uzyskuje się możliwe stałe, a tym samym i poprawne wyniki analizy. Ogólnie biorąc spektralną analizę emisyjną można badać substancję o dowolnej postaci i dowolnej ilości, np. wielkość próbki o wymiarach ok. 0,1 mm³ wystarczy w zupełności do określenia jej składu jakościowego, a w pewnych przypadkach i ilościowego. Przy takich analizach szczególną uwagę należy zwrócić na czystość próbki i elektrod pomocniczych.

Dla emisyjnej analizy spektralnej nie jest ważne czy badana substancja jest związkiem czy mieszaniną pierwiastków. Bo przy wzbudzeniu łukowym i iskrowym otrzymujemy prawie za-

wsze (z wyjątkiem niektórych związków np. gazów, jak CaF) skład pierwiastkowy, gdyż większość cząstek w wysokiej temperaturze łuku lub iskry dysocjuje na swobodne atomy.

2.2. Pobudzenie próbki do emisji światła

Dla uzyskania promieniowania o widmie prążkowym musimy badaną substancję lub jej część przeprowadzić w stan lotny i pary te pobudzić do świecenia. Stosujemy przy tym cztery zasadnicze rodzaje wzbudzenia:

- 1) płomień gazowy,
- 2) łuk elektryczny,
- 3) iskra elektryczna,
- 4) rurka Geisslera.

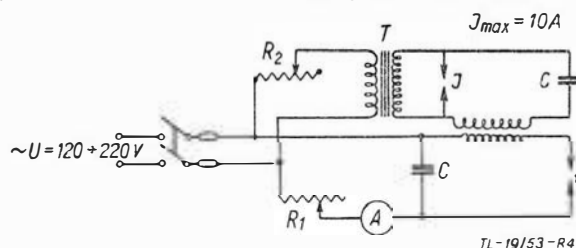
W płomieniu gazowym temperatury są stosunkowo niskie, dlatego w widmie możemy znaleźć prążki tylko części pierwiastków (o niskim potencjale wzbudzenia). W płomieniu gazowym możemy pobudzać pierwiastki: Ag, Au, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Na, Nd(Pr), Ni, Pb, Pd, Rb, Ru, Sr, Tl.

Rurka Geisslera ma większe zastosowanie przy analizie gazów. Dla analizy metali i rud największe zastosowanie znalazły wzbudzenia łukowe i iskrowe.

Podczas przepływu prądu pomiędzy elektrodami pojawiają się pary pierwiastków zawartych w elektrodach, które jako swobodne atomy (rzadziej cząsteczki) emitują światło, które po rozszczepieniu daje widmo prążkowe.

W celu uniknięcia dość częstych niejasności co do właściwego rozumienia pojęcia łuku i iskry elektrycznej, należy wyjaśnić chociażby w uproszczony sposób te zjawiska. Łuk i iskra jest zjawiskiem przepływu prądu pomiędzy elektrodami. W normalnych warunkach temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza z jakimi spotykamy się w spektrograficznych pracowniach analitycznych, łuk jest zjawiskiem przepływu prądu niskiego napięciowego (kilkadziesiąt do kilkuset woltów), iskra natomiast przy prądzie wysokonapięciowym (kilkaset do kilkunastu tysięcy woltów). Sam mechanizm „palenia” się iskry i łuku jest też różny. Łuk elektryczny jest zjawiskiem przepływu prądu przez zjonizowaną atmosferę międzyelektrodową. Jonizacja tej atmosfery jest utrzymywana głównie z powodu wysokiej temperatury rozgrzanych końców elektrod. Zapalenie normalnego łuku odbywa się przez zetknięcie obydwu elektrod. W miejscu styku na skutek znacznego oporu wywołuje się dużą ilość ciepła rozżarzając końce elektrod. Przy prądzie stałym specjalnym punktem o wysokiej temperaturze (ok. 5 tys. stopni) jest płamka katodowa, która jest głównym źródłem elektronów wywołujących tzw. jonizację lawinową.

Przy prądzie zmiennym pojęcie płamki katodowej nie istnieje, łuk pali się gorzej szczególnie na elektrodach metalowych. Dla podtrzymania łuku prądu zmiennego stosuje się różne urządzenia zapewniające jonizację atmosfery międzyelektrodowej. Schemat takiego urządzenia przedstawia rys. 4.



Rys. 4 — Schemat instalacji elektrycznej generatora łuku prądu zmiennego (Lit. 12)

Iskra elektryczna jest zjawiskiem przepływu prądu przez zjonizowaną atmosferę międzyelektrodową za pośrednictwem jonów wytworzonych przez elektrony wyrzucane z końców elektrod, na skutek odpowiednio wysokiego napięcia. Podczas wyładowania iskrowego szczególnie „iskry skondensowane”, przepływa prąd o natężeniu kilku tysięcy amperów w czasie bardzo krótkim, rzędu 10⁻⁶ sek., występują przy tym wysokie lokalne temperatury sięgające kilkunastu tysięcy stopni. Wskutek tego atmosfera nagle się ogrzewa, a powstająca gwałtowna fala zgęszczenia wywołuje silny trzask i podmuch.

Należy podkreślić, że w iskrze te wysokie temperatury są tylko lokalne, a całkowite rozgrzanie końców elektrod jest znacznie mniejsze niż w przypadku łuku. Wobec tego parowanie pierwiastków z elektrod jest silniejsze w łuku niż w iskrze, a co za tym idzie światło łuku jest silniejsze od światła iskry. Jednak jeśli chodzi o stopień pobudzenia atomów to jest on silniejszy w iskrze (wysokie temperatury lokalne). Na ogół silniejsze pobudzenie wywołuje większe zmiany energetyczne ato-

mu (aż do kilku lub nawet kilkunastokrotnego zjonizowania atomu). Wobec tego widmo iskrowe będzie miało zupełnie inny wygląd niż widmo lukowe. Silniejsze pobudzenie wywołuje promieniowanie o coraz mniejszej długości fali, stąd widmo iskrowe jest z reguły silniejsze w obszarze krótkofalowym od widma lukowego w tym obszarze.

TABELA 1. Porównanie własności wzbudzenia lukowego i iskrowego (Dla prostych generatorów wg schematów rys. 3, 4, 5)

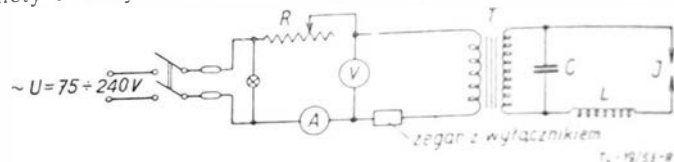
Łuk prądu stałego	Łuk prądu zmiennego	Iskra skondensowana
1. Aparatura		
dość prosta	skomplikowana	skomplikowana
2. Zapalanie		
niewygodne	wygodne	wygodne
3. Temperatura		
do ok. 5.000° C. Elektrody silnie się rozgrzewają i topią.	do ok. 5.000° C. Elektrody silnie się rozgrzewają i topią.	do kilkunastu tys. stopni (lokalne). Elektrody mało się rozgrzewają i nie topią.
4. Zużycie elektrod		
znaczące i nierówne	znaczące, bardziej równomierne	nieznaczące
5. Oksydacja elektrod		
duża, gasi łuk	duża, gasi łuk	nieznaczna
6. Światło		
bardzo silne, nierówne, spokojne, wędruje po elektrodach.	bardzo silne, nierówne, niespokojne	słabe, ciąg krótkotrwałych wyładowań, silny trzask i podmuch
7. Wzbudzenie		
silne, niestabilne	silne, niestabilne	bardzo silne, stabilne
8. Przydatność do ilościowej analizy próbek metalowych		
mała	mała	duża
9. Przydatność do ilościowej analizy proszków		
duża	mała	bardzo mała
10. Przydatność do analizy wzrokowej (spektroskopowej)		
duża	bardzo duża	mała
11. Przydatność do analizy śladowej		
duża	duża	mała
12. Przydatność do analizy małych ilości substancji		
bardzo duża	mała	bardzo mała
13. Dokładność oznaczeń z uwagi na ilość materiału biorącego udział w analizie		
niewielka	niewielka	bardzo mała
14. Niebezpieczeństwo porażenia prądem		
duże	duże	bardzo duże
15. Niebezpieczeństwo porażenia oczu światłem		
bardzo duże	bardzo duże	duże
16. Niebezpieczeństwo zatrucia parami metali i innych związków		
duże	duże	duże

Z punktu widzenia przydatności wzbudzenia lukowego i iskrowego dla celów analitycznych należy stwierdzić, że wzbudzenie lukowe bardziej nadaje się do analizy śladowej (przy analizie minimalnych zanieczyszczeń), granica wykrywalności śladów w łuku jest wyższa niż w iskrze. Natomiast dla celów analizy ilościowej iskra jest lepsza od łuku, gdyż przy wzbudzeniu iskrowym można utrzymać bardziej stałe warunki wzbudzenia.

Przy analizie drobnej ilości substancji np. w postaci proszku, substancję badaną nakłada się na pomocnicze elektrody.

Dla tych celów najlepszym urządzeniem jest generator łuku prądu stałego. Łuk prądu stałego pali się spokojnie i nie zrzuca badanej próbki z elektrod.

W celu lepszego zorientowania się w trudnościach poszczególnych urządzeń do analizy, podaliśmy w tabeli 1 określającą główne urządzenia do analizy, ich zalety i wady omówionych wyżej urządzeń wzbudzących.

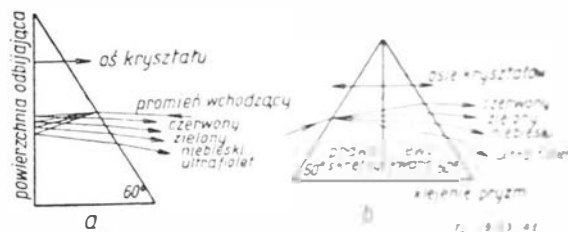


Rys. 5 — Schemat instalacji elektrycznej do wzbudzenia łuku prądu stałego

Opisane wyżej urządzenia do wzbudzenia łukowego i iskrowego posiadają wiele wad, a głównie niestabilne warunki wzbudzenia. W związku z tym w celu zautomatyzowania i poprawienia szeregu specjalnych generatorów do analizy, wyposażonych w stabilizatory napięcia, regulatory temperatury i odległości elektrod, stabilizatory wyładowań itp.

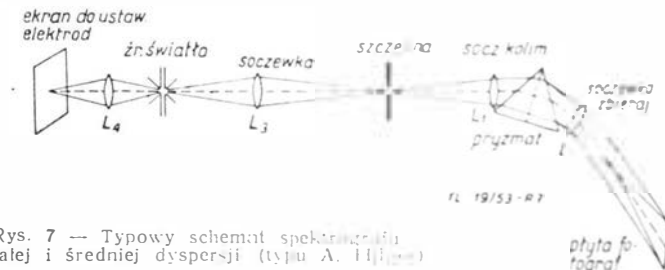
2.3. Rozszczepienie wiązki promieni na widmo

Do analizy metali i stopów wykorzystujemy rozszczepienie światła widma widzialnego 4 000 — 8 000 angstrémów i światła nadfioletu 2 000 — 4 000 angstrémów (1 angstrém = 10⁻¹⁰ m).



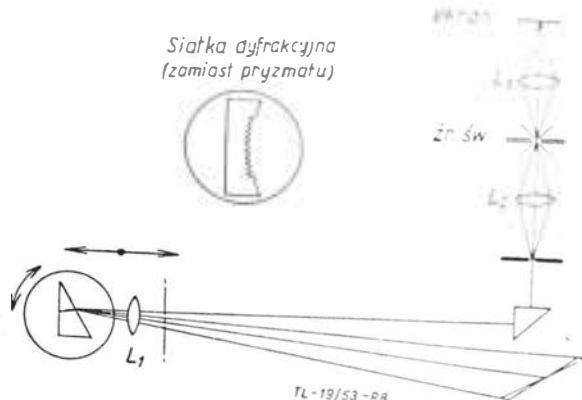
Rys. 6 — Pryzmaty rozszczepiające światło białe (a) i (b)

Naturalny obraz tych obszarów widma otrzymujemy po rozszczepieniu światła za pomocą pryzmatu lub siatki dyfrakcyjnej (rys. 6 i 8), przy czym dla nadfioletu niezbędne są pryzmaty i soczewki kwarcowe, gdyż szkło pułkujące to promieniowanie.



Rys. 7 — Typowy schemat spektrometru o małej i średniej dyspersji (typu A. Littrowa)

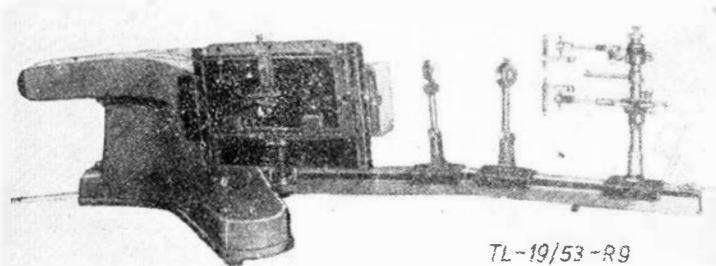
Natomiast dla promieniowania widzialnego pryzmat szklany jest lepszy od pryzmatu kwarcowego, gdyż daje większe rozszczepienie światła. Zdolność rozszczepiającą aparatu spektrometru nazywamy dyspersją, mierzymy ją w angstrémach na 1 mm długości widma. Im mniejsza liczba dyspersji, tym większe



Rys. 8 — Schemat spektrometru o dużej dyspersji (typu Littrowa)

rozszczepienie. Zdolność rozdzielczą siatki dyfrakcyjnej wzrasta z ilością rys lub nacięć, przypadających na jednostkę dłu-

gości siatki. W spektrografach technicznych stosuje się około 800 nacięć na 1 mm długości płytki; są to przeważnie siatki odbiciowe w kształcie wklęsłego lustra (siatki Rowlanda).

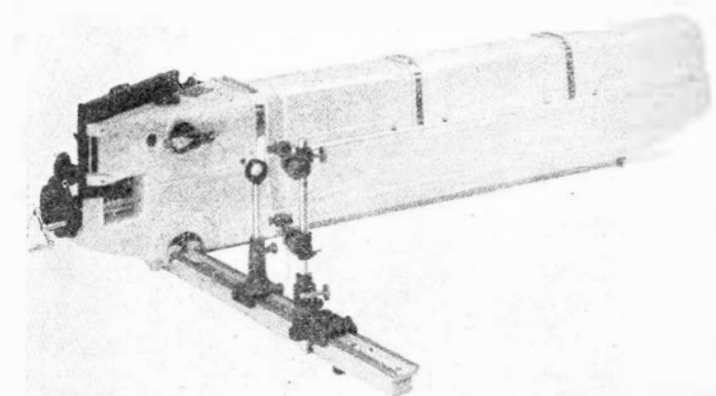


TL-19/53-R9

Rys. 9 — Spektrograf kwarcowy radziecki o średniej dyspersji typ ISP-22

Aparaty, w których przeprowadzamy proces rozszczepiania światła i rejestracji, względnie obserwacji, dzielimy na:

1. *Spektroskopy* — aparaty do wzrokowej obserwacji widma, przeważnie ze szklanymi częściami optycznymi. Aparaty tego typu przystosowane do analizy stali nazywane są często staloskopami lub „stiloskopami” (rys. 11 i 12).

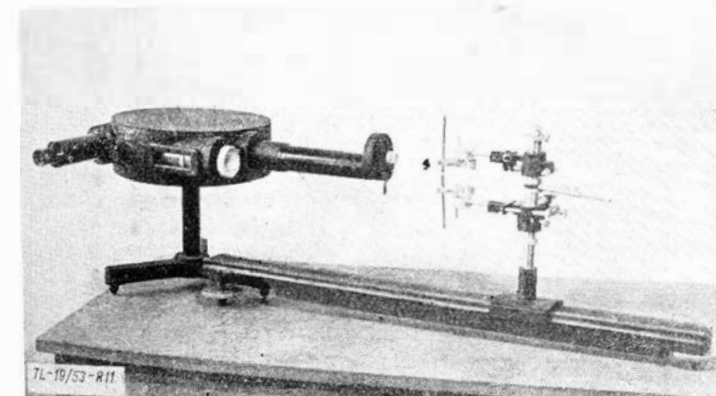


TL-19/53-R10

Rys. 10 — Spektrograf kwarcowy o dużej dyspersji (A. Hilger, typ E 492)

2. *Spektrografy* — aparaty z kamerą fotograficzną do fotografowania widma (rys. 7, 8, 9, 10),

a) szklane (dla obszaru widzialnego i bliskiej podczerwieni),
b) kwarcowe (dla bliskiego nadfioletu, obszaru widzialnego i podczerwieni).



TL-19/53-R11

Rys. 11 — Spektroskop polskiej konstrukcji według projektu inż. Z. Karlińskiego (nagroda państwowa 1952 r.); konstrukcja i wykonanie — Polskie Zakłady Optyczne (typ SP-2-1953 r.)

3. *Aparaty spektralne z urządzeniami fotometrycznymi*, mierzące bezpośrednio natężenie światła o określonej długości fali. Do tej grupy możemy zaliczyć:

a) proste fotometry, nie posiadające urządzeń rozszczepiających, a których żądane światło wyodrębnia się za pomocą filtrów optycznych,
b) spektrometry*) — są to spektroskopy, posiadające urządze-

*) Podział na spektrometry i spektrokwantometry jest tu nieco sztuczny. Właściwie te oba typy aparatów w polskim słownictwie uważa się za jeden typ i niektórzy nazywają je spektrometrami, inni spektrokwantometrami. W niniejszym artykule wyróżniono te dwa typy, dając im odrębne nazwy, a mianowicie takie jakie nadają im wytwórcy.

nie do pomiaru intensywności dowolnie obranego prążka, c) spektrokwantometry*) — aparaty z urządzeniami rejestrującymi jednocześnie natężenie światła wielu wybranych prążków, które po odpowiednim wycechowaniu dają od razu wynik analizy (rys. 13).



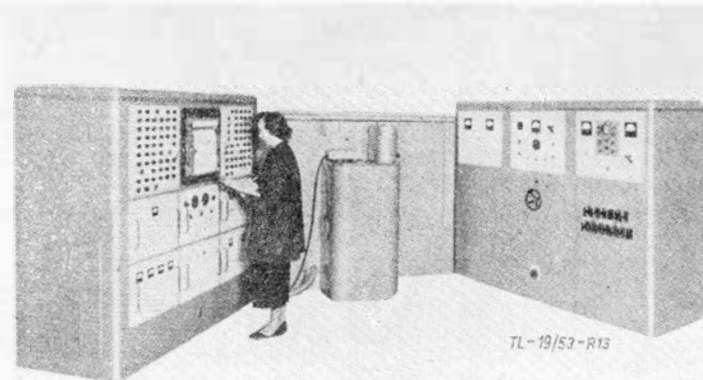
TL-19/53-R12

Rys. 12 — Staloskop radziecki przenośny, typ SLP. 1

W naszych warunkach do analizy technicznej metali, stopów i rud największe zastosowanie mają spektrografy kwarcowe i spektroskopy (staloskopy).

„Wielkość” aparatu spektralnego określa się przez jego zdolność rozszczepiającą (dyspersję). W spektroskopie rozszczepienie mierzy się kątem zawartym pomiędzy wybranymi monochromatycznymi promieniami świetlnymi. Najczęściej pomiędzy 4341 angstromów i 5893 angstromów, który to kąt w staloskopach wynosi przeciętnie ok. 6 stopni. Wielkość spektrografu pryzmatycznego określana jest przez dyspersję odnoszoną do określonej długości fali, lub w praktyce częściej podaje się długość widma na kliszy. Spektrografy pryzmatyczne kwarcowe do analiz przemysłowych stosowane są dwóch wielkości, o średniej i dużej dyspersji. Przeciętne długości odcinków widma na kliszy zawartego w granicach 2200 — 5000 angstromów dla takich spektrografów wynoszą:

1. spektrografy średnie ok. 160 — 240 mm,
2. spektrografy duże ok. 500 mm.



TL-19/53-R13

Rys. 13 — Spektrokwantometr

Regulacja i ustawianie poszczególnych aparatów podane jest przez dostawcę w załączonym opisie. Sprawdzeniem dobrego wyregulowania jest obraz widma prążkowego. Prążki widma winny być ostre w całym obszarze i posiadać stałą intensywność co najmniej na 2/3 wysokości prążka w środkowej jego części, przy całkowitym odsłonięciu szczeliny. Szerokość otwarcia szczeliny przeciętnie 0,005 — 0,025 mm. Szczelinę, porczsunięciu szczęk (przy pomocy śruby mikrometrycznej), czyścić można specjalnie przygotowanym miękkim drewnkiem (np. rdzeniem bzuwym), zastruganym ostrym nożykiem lub suchą czystą bibulką stołową złożoną na cztery części. Części optyczne można odkurzać miękkim czystym pendzelkiem bobrowym i przemywać miękką watą zwilżoną czystym spirytem.

2.4. Rozpatrzenie widma (właściwa analiza)

Analiza ma na celu stwierdzenie jakie pierwiastki występują w analizowanej próbce i jaki jest ich udział procentowy. Możemy więc ją podzielić na:

- 1) analizę jakościową,
- 2) analizę ilościową.

W zależności od sposobu obserwacji i pomiaru, rozróżniamy następujące metody analizy spektralnej:

1) Analiza bezpośrednia (spektroskopowa):
a) wzrokowa (subiektywna) — Obserwujemy bezpośrednio widmo przez lunetę i przez porównanie z atlasami lub widmem wzorca wnioskujemy o składzie jakościowym i ilościowym.

b) fotometryczna (obiektywna) — Urządzenia światłoczułe, np. fotokomórka z galwanometrem lub inne urządzenie, stwierdza obecność światła o danej długości fali (analiza jakościowa), a po odpowiednim wycechowaniu, mierząc natężenie tego światła określa skład ilościowy.

2) Analiza pośrednia (spektrograficzna) — przy użyciu kliszy fotograficznej.

a) Wzrokowa (subiektywna) — widmo sfotografowane na kliszy obserwujemy na ekranie rzutnika. Stwierdzając obecność prążków poszczególnych pierwiastków dokonujemy analizy jakościowej, a porównując intensywność lub inne cechy tych prążków ze zdjęciami próbek wzorcowych ustalamy zawartość procentową poszczególnych pierwiastków.

b) fotometryczna (obiektywna) — widmo otrzymane na kliszy analizujemy posługując się pomiarami fotometrycznymi.

2.4.1. Analiza jakościowa

Stwierdzenie obecności prążków jakiegoś pierwiastka w widmie świadczy o tym, że występuje on w analizowanej próbce. A więc analiza jakościowa sprowadza się do poszukiwania w widmie najbardziej charakterystycznych prążków każdego pierwiastka. Te najbardziej charakterystyczne prążki nazywamy „prążkami wykrywawczymi” lub „liniami wykrywawczymi”. Prążki wykrywawcze powinny odpowiadać następującym warunkom:

1) powinny należeć do tzw. „ostatnich linii” w analizowanym obszarze widma (liniami lub prążkami ostatnimi nazywamy takie prążki, które dadzą się jeszcze zaobserwować przy najmniejszych względnych zawartościach danego pierwiastka w badanej próbce),

2) powinny należeć do tzw. „linii stałych” (prążki, które w różnych warunkach wzbudzenia stale występują),

3) nie powinny pokrywać się z prążkami innych pierwiastków.

Gdyby te warunki były spełnione, wówczas analiza jakościowa ograniczałaby się do wyszukiwania tylko po jednym wykrywawczym prążku każdego pierwiastka. Jest to możliwe tylko w szczególnych przypadkach gdy analizowana substancja składa się z kilku pierwiastków o ubogim widmie. W ogólnym przypadku dobranie takich prążków wykrywawczych, spełniających warunków trzech, jest niemożliwe, dla tych rozszczepień światła jakie dają spektrografy przemysłowe. Dlatego też autorzy tabelic prążków wykrywawczych, podają zawsze po kilka najbardziej charakterystycznych prążków każdego pierwiastka, przy czym prążki te winny być tak dobrane, żeby przy wszelkich mieszaniach i stopach co najmniej jeden z tych prążków spełniał warunek trzech. W wielu przypadkach, szczególnie dla mieszanin pierwiastków o bogatym widmie jak W, Ni, Co, Fe, Ce jest to trudne, a nawet niemożliwe, wówczas uciekamy się do innych słabszych prążków danego pierwiastka, które spełniają warunek trzech. Przy małych zawartościach dodatków lub zanieczyszczeń, gdy ich słabe prążki nie występują, porównujemy wzrokowe lub fotometryczne intensywności prążka, pokrywającego się z prążkiem wykrywawczym z jakimś prążkiem sąsiednim o znanej intensywności. Jeżeli intensywność prążka pierwszego wzrasta w stosunku do sąsiedniego oznacza to, że został on wzmocniony przez prążek pierwiastka szukanego.

2.4.1.1. Jakościowa analiza spektroskopowa

Spotykamy dwa rodzaje spektroskopów:

- 1) spektroskopy ze stałym pryzmatem i przesuwym okularom,
- 2) spektroskopy z obracającym pryzmatem i stałym okularom.

W obydwu przypadkach możemy obserwować odcinkami cały obszar widma. Do staloskopów producenci często dołączają atlasy charakterystycznych odcinków widma. Wówczas ruchome części staloskopu są tak wycechowane, że odcinki te z łatwością można odszukać.

Przy pomocy spektroskopu można wykryć następujące pierwiastki: (Ag), (Al), Ba, Be, Ca, Cd, (Ce), Co, Cr, Cs, Cu, Fe, (Ga), Hg, (In), (Ir), K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, (Nb), Ni, (Pb), Pd, (Rt), Rh, (Ru), Sc, (Se), Sn, (Sr), Ta, (Th), Ti, Tl, U, V, W, Zn, (Zr). Pierwiastki podane w nawiasach są trudniejsze do wykrycia, ale przy odpowiednio większych ich koncentracjach z łatwością dają się analizować nawet ilościowo. Taką np. ilościową analizę stali na zawartość Si przy pomocy staloskopu opracował inż. W. Klimecki w Gliwicach.

2.4.1.2. Jakościowa analiza spektrograficzna

Jest najbardziej uniwersalną i najpewniejszą metodą określania składu jakościowego substancji. Głównym obszarem analitycznym jest bliski nadfiolet 2250 — 4500 angstrémów. Niektóre jednak pierwiastki takie jak Na, K, Li, łatwiej jest wykryć w obszarze widzialnym. Przy wzbudzeniu w łuku i w iskrze można spektrograficznie wykryć ok. 70 pierwiastków, są to wszystkie pierwiastki wymienione w rozdziale 2.4.1.1, a ponadto: As, Au, B, Bi, C, Dy, Er, Eu, Gd, Ge, Hf, Ho, La, Nd, Lu, Os, P, Pr, Pt, Re, Sb, Sm, Tb, Te, Tu, Yb, Y (Yt). Z pierwiastków ważniejszych dla przemysłu metalowego wykrycie węgla i fosforu w mniejszych ilościach wymaga specjalnych metod. Wykrycie siarki jest jak dotychczas bardzo trudne. Nie wszystkie pierwiastki są jednakowo łatwe do wykrycia. Granice wykrywalności w emisyjnej analizie spektrograficznej przedstawiają się następująco:

TABELA 2

Granice wykrywalności ważniejszych pierwiastków w emisyjnej analizie spektrograficznej [lit. 1]

	Pierwiastki	Granica wykrywalności w
1.	Cs, Rb, K, Li, Na,	$10^{-6} - 10^{-5}$
2.	Ba, Sr, Ca,	$10^{-5} - 10^{-4}$
3.	Cr, In, Al, Tl, Ru, Rh, Ni, Cu, Ag, Bi, Co, Os, Mg, Fe, Pd, Pb	$10^{-4} - 10^{-3}$
4.	V, Mn, Mo, Ti, Re, Sn, Pt, Ge, Si, Au, Ir, Cd, Zn, Te, Sb, Hg	$10^{-3} - 10^{-2}$
5.	Zr, B, As, W, Ta, U, Se, P, S	$10^{-1} - 1$

Oczywiście granice te mogą się zmieniać różnie dla różnych pierwiastków w zależności od obszaru widma w jakim przeprowadzamy analizę oraz od sposobu pobudzenia. I tak np. dla spektrografu kwarcowego i wzbudzenia łukowego granice wykrywalności najmniejszych zawartości procentowych ważniejszych pierwiastków przedstawia tabela 3.

TABELA 3

Granice wykrywalności ważniejszych pierwiastków w emisyjnej analizie spektrograficznej przy wzbudzeniu łukowym [lit. 2]

L. p.	Pierwiastki	Granica wykrywalności w
1.	Ag, Cu, Mg, Na, Be,	10^{-4}
2.	Al, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Ga, Ge, Hg, In, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Pt, Sc, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, V, Y, Yb, Zr,	10^{-3}
3.	As, C, Hf, La, Nb, Re, Rh, Sb, Th, Te, W, Zn	10^{-2}
4.	Cs, Ir, K, Os, P, Pd, Rb, Ru, Se, Ta, U,	10^{-1}
5.	Ce, Pr,	1

Jakościowa analiza spektrograficzna polega na sfotografowaniu widma na kliszy, a następnie przeanalizowaniu tego widma na ekranie rzutnika. Zwanego spektroprojektorem (rys. 14). Rozpatrywanie widma na ekranie powiększalnika jest bardzo łatwe przy pomocy specjalnie do tego celu przystosowanych atlasów. Są to z reguły fotografie widma żelaza z zaznaczonymi miejscami, w których występują prążki wykrywawcze innych pierwiastków. Widmo żelaza jest podstawowym widmem w analizie spektrograficznej, z uwagi na bogate widmo prążkowe i częste występowanie w przyrodzie.



Rys. 14 — Spektroprojektor radziecki, typ PS-18

Powiększenie obrazu należy dostosować do wielkości atlasu lub odwrotnie.

Takim pierwszym krajowym atlasem spektrograficznym jest „Atlas widma żelaza w łuku” opracowany przez autora na Politechnice Warszawskiej w Zakładzie Technologii Lotniczej (rys. 15).

Jest to uniwersalny atlas przystosowany do spektrograficznej analizy jakościowej wszelkich substancji ze szczególnym uwzględnieniem metali i stopów. W przypadkach trudniejszych, bardziej złożonych widm, posługujemy się dodatkowo szczegółowymi tablicami liczbowymi prążków spektralnych.

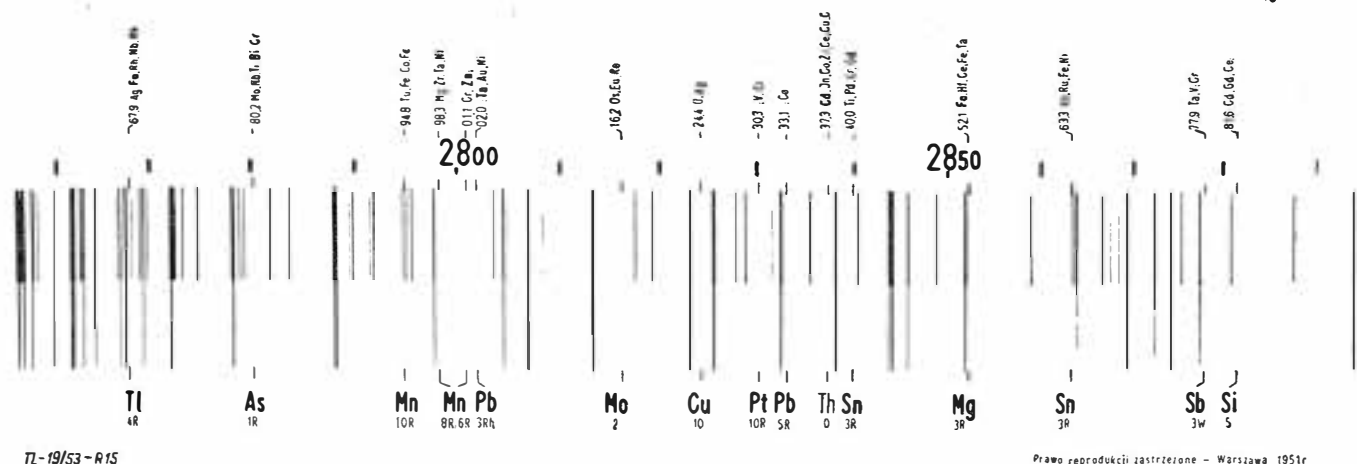
w analizie ilościowej; winny one odpowiadać następującym warunkom:

- 1) nie powinny pokrywać się z prążkami innych pierwiastków wchodzących w skład analizowanych próbek,
- 2) prążki pierwiastka analizowanego powinny być czule na zmiany ilościowe tego pierwiastka,
- 3) prążki porównywane (pierwiastka analizowanego i standardu wewnętrznego) winny być jednakowo czule na zmiany warunków wzbudzenia, takie prążki nazywamy homologicznymi,
- 4) intensywności ich powinny być tego samego rzędu dla śred-

POLITECHNIKA WARSZAWSKA
Pracownia Spektrograficzna
Zakładu Technologii Lotniczej

WIDMO ŻELAZA ($\lambda_{\text{uk}} \sim U = 220 \text{ J} = 4A$)

7



Prawo reprodukcji zastrzeżone — Warszawa 1951r

Rys. 15 — Fotografia siódmej strony pierwszego polskiego atlasu spektrograficznego

Spektrograficzna analiza jakościowa jest szybką na ogół, łatwą i pewną metodą, należy zachować tylko dużą czystość. Warunki wzbudzenia są mniej ważne. Klisze fotograficzne stosuje się o średniej lub wysokiej czułości. Wzbudzenie najczęściej łukowe. Jednak często przy elektrodach łatwotopliwych i w przypadku, gdy nie zależy nam na wykrywaniu minimalnych zawartości zanieczyszczeń; a tylko interesują nas dodatki stopowe, stosujemy wzbudzenie iskrowe. W praktyce analitycznej przy analizie jakościowej przeprowadza się jednocześnie orientacyjną ocenę ilościowej zawartości składników. Dokładność takich oznaczeń półilościowych zależy od rodzaju stopu i doświadczenia wykonującego analizę.

W początkach spektrografii i do niedawna jeszcze sądzono, że analiza spektralna jest najbardziej przydatna do wykrywania śladów zanieczyszczeń. Obecnie jednak znajduje coraz szersze zastosowanie do ilościowego określania składników nie tylko prostych stopów metali, ale i ciał bardziej trudnych do analizy jak rudy, skały, ziemie rzadkie, oraz innych dziedzin jak np. badania zanieczyszczeń powietrza w zakładach przemysłowych itp.

2.4.2 Analiza ilościowa

W ilościowej analizie spektralnej należałoby wykorzystać zależność pomiędzy ilością pobudzanego pierwiastka, a natężeniem promieniowania wybranego jego prążka. Nie wiemy jednak nigdy jaka ilość substancji została pobudzona, a zatem taka zależność nie będzie miarą zawartości procentowej pierwiastka w próbce. Porównano wiele sposobów dla znalezienia właściwej zależności. Powszechne zastosowanie znalazła metoda „standardu wewnętrznego”, często nazywana metodą względnych natężeń. W metodzie tej ustalamy zależność pomiędzy zawartością procentową pierwiastka w próbce, a stosunkiem intensywności dwóch prążków, z których jeden należy do pierwiastka analizowanego, a drugi do pierwiastka, który we wszystkich porównywanych próbkach jest w tej samej procentowej ilości. Taki pierwiastek nazwano „standardem wewnętrznym”. Może to być pierwiastek dodawany w stałej ilości do próbek wytwarzanych syntetycznie, lub co najczęściej ma miejsce w metalach i stopach, jest to pierwiastek podstawowy. W tym drugim przypadku dopuszczalne są wahania zawartości standardu wewnętrznego w takich granicach, przy których (w możliwych stałych warunkach wzbudzenia) nie widać zmian zerzenia prążków analitycznych tego pierwiastka, np. w stali przy zawartości żelaza ok. 90% wahania jego w granicach 5 — 10%, a niekiedy i więcej, na ogół są dopuszczalne. Prążkami analitycznymi nazwiemy prążki, którymi posługujemy się

niej zawartości procentowej pierwiastka analizowanego w danym typie stopu.

- 5) powinny leżeć w widmie blisko siebie.

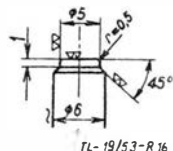
Wymienione żądania nie zawsze dają się spełnić, wówczas o ile to jest możliwe idziemy na pewne kompromisy. I tak odnośnie punktu 3 — jeśli prążki analityczne nie są homologiczne (wypadek ten ma najczęściej miejsce); analiza jest możliwa jeśli warunki wzbudzenia są stałe. Stałe warunki wzbudzenia będą wtedy, kiedy pobudzana substancja w określonej ilości i składzie, daje w tym samym czasie ten sam efekt promieniowania. Przy analizie ilościowej metali jak dotychczas najbardziej stabilnym urządzeniem wzbudzającym jest iskra skondensowana. Podamy tu pewne ważniejsze wskazówki niezbędne dla uzyskania stałych warunków wzbudzenia w iskrze:

- 1) utrzymać możliwie stałe i jednakowe napięcie prądu podczas wzbudzenia dla wszystkich porównywanych próbek,
- 2) zachować te same czasy przediskrzenia i iskry przy naświetlaniu,
- 3) nie dopuszczać do nadmiernego rozgrzewania uchwyty elektrod i instalacji (oporników),
- 4) zapewnić dobre połączenie instalacji elektrycznej (końcówki lutowane) i dobrą izolację (żeby nie było przebiecia iskry),
- 5) zabezpieczyć źródło światła przed szybkimi ruchami powietrza. W tym celu często obudowuje się statyw, wraz z całą drogą promieni, w drewnianą skrzynkę. Zabezpiecza to nieuważną obsługę przed porażeniem prądem i światłem, a drogę optyczną od par i dymów np. z papierosa,
- 6) ciśnienie, temperatura i skład chemiczny powietrza w normalnych czystych pracowniach nie mają prawie żadnego wpływu, ale przy pracy w specjalnych warunkach należy je mieć na uwadze,
- 7) kształt i wielkość wszystkich porównywanych próbek powinny być jednakowe,
- 8) powierzchnie iskry o znormalizowanym kształcie i gładkości (nie dopuszczalne zadziory i niewskazane ostre krawędzie, które skupiają wyladowania iskry),
- 9) odległość elektrod, wzajemne ich ustawienie jak również ustawienie ich na osi optycznej powinno być ściśle takie same dla wszystkich próbek. Odległość elektrod jest jednym z bardzo ważnych czynników wpływających na stabilność warunków wzbudzenia,
- 10) Uchwyty elektrod i połączenie ich ze statywem powinny być również znormalizowane,
- 11) skład chemiczny porównywanych próbek winien być podobny. Większe różnice w składzie zmieniają topliwosć próbek, stopień oksydacji, intensywność parowania oraz wzajemny

wplyw pierwiastków na emisję promieniowania. Stwierdzono, że szczególnie duży wplyw mają pierwiastki łatwo wzbudalne jak: Na, K, Li, Ca.

Znaczny wplyw mogą mieć również właściwości fizyczne próbki jak: struktura, porowatość, segregacja itp.

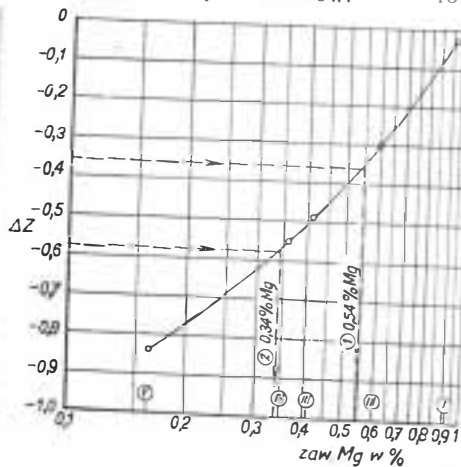
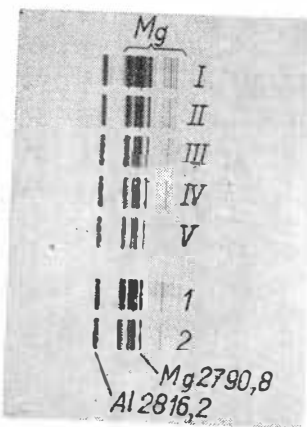
Rys. 16 — Wymiary końcówek elektrod, stosowanych przy spektrograficznej analizie stopów Al-Si w Zakładzie Technologii Lotniczej Politechniki Warszawskiej



TL-19/53-R16

W praktyce nie wszystkie podane wyżej uwagi są uwzględniane, gdyż w zależności od metody i rodzaju analizy mogą one mieć różny wplyw. Należy więc do każdego rodzaju analizy opracować metodę postępowania. Gdy wyniki są za mało dokładne, należy szczegółowo przebadać wplyw wszystkich czynników metodą kolejnych prób i bardziej szkodliwe ograniczać lub eliminować. Np.: często zalecane jest przez literaturę zaostżanie końców elektrod metalowych na stożek o kącie 135°. Przy próbkach wykazujących pewną niejednorodność lub różne struktury wyniki będą rozbieżne, gdyż ostrza tych elektrod będą się różnie wytapiać i różnie utleniać, co pociąga za sobą zmianę w warunkach wzbudzenia nie mówiąc już o tym, że analiza wtedy jest prawie punktowa, nie reprezentująca rzeczywistego składu próbki. Zalecane w literaturze ra-

dzieckiej zataczanie kuliste końców elektrod zmniejsza nieco wplyw tych czynników, jednak otrzymanie każdorazowo tego samego kształtu próbki nastręcza trudności. W pracowni Zakładu Technologii Lotniczej Politechniki Warszawskiej najlepsze wyniki otrzymywaliśmy przy próbkach okrągłych zatoczonych na płasko i zaokrąglonych na krawędzi promieniem ok. 0,5 mm (rys. 16).



Pierwszą zależność otrzymujemy na podstawie wzorców. Drugą natomiast z tzw. krzywej kalibracji kliszy, którą często nazywa się krzywą cechowania kliszy. Postać krzywej cechowania zależy głównie od rodzaju emulsji, długości fali świetlnej i procesu wywoływania klisz. Zagadnienie to jest obszernym tematem i wymaga oddzielnego omówienia.

Zależność pomiędzy względnym natężeniem promieniowania, a procentową zawartością pierwiastków, jest na ogół funkcją wykładniczą i przedstawienie jej w formie matematycznej sprawia pewne trudności. Daleko prościej rozwiązuje się to zagadnienie wykreślnie.

W celu uzyskania wykresu w postaci linii prostej, przyjmuje się z reguły logarytmiczne skale współrzędnych.

W praktyce analitycznej bardzo często pomija się zagadnienie cechowania klisz i ustala na podstawie wzorców związek pomiędzy względnymi zaczernieniami (względne zaczernienie linii jest to wartość zaczernienia danej linii odniesiona do zaczernienia linii standardu wewnętrznego), a procentowymi zawartościami pierwiastka w próbkach. Tę zależność również przedstawiamy na wykresach logarytmicznych (rys. 17). W dość wąskich zakresach dla tzw. „normalnych zaczernień” możemy odcinki wykresu przyjmować za linie proste.

Spektralna analiza ilościowa, a więc i spektrograficzna jest metodą porównawczą. Możemy więc analizować przy jej pomocy tylko stopy dla których mamy odpowiednio wzorce o podobnym składzie i postaci, co próbka badana.

Jak z poprzednich rozwiązań wynika, zależność pomiędzy względnym zaczernieniem, a zawartością procentową pierwiastka może być nieco różna na każdej kliszy, gdyż zależy od rodzaju emulsji i procesu wywoływania. Może być jednak stała w przypadku użycia tych samych emulsji i ściśle ustalonego procesu wywoływania (te same odczynniki, temperatura, czas wywoływania, utrwalania, płukania, suszenia itp.). Ponieważ cały ten proces jest dość trudny do ustalenia, woląc tego najczęściej fotografujemy na każdej kliszy widma wzorców. Ta okoliczność pociąga za sobą znaczne zużycie wzorców. W związku z tym opublikowano cały szereg specjalnych metod i sposobów analizy ilościowej pozwalających zaoszczędzić wzorce. Omówienie jednak tych sposobów przekracza ramy niniejszego artykułu.

Pomiary zaczernień dokonujemy na aparatach zwanych mikrofotometrami. Dla tych celów najwygodniejsze są mikrofotometry nierejestrujące pośpieszne (rys. 18). Mikrometry re-

Próbki	% Mg	Zaczern. linii Z(Mg 2790,8)	Zaczern. linii Z(Al 2816,2)	ΔZ = Z _{Mg} - Z _{Al}
I	0,92	1,97	2,00	-0,03
II	0,60	1,62	1,92	-0,30
III	0,41	1,41	1,90	-0,48
IV	0,35	1,30	1,85	-0,55
V	0,16	0,96	1,80	-0,84
VI		1,44	1,80	-0,36
V		1,20	1,78	-0,58

TL-19/53-R17

Rys. 17 — Przykład ilościowego oznaczania magnezu w stopach Al-Si (silumin) metodą spektrograficzną. Fotografia przedstawia odcinek spektrogramu, na którym widoczne są prążki Al i Mg. Widma oznaczone nr od I do V należą do próbek wzorcowych. I i 2 próbki analizowane. Wykres sporządzono na podstawie wyników uzyskanych przy pomiarze prążków Al 2816,2 i Mg 2790,8. Wyniki pomiarów podane są w tabelce.

2.4.2.1. Ilościowa analiza spektroskopowa

Polega na wzrokowym porównywaniu natężeń wybranych prążków analitycznych (pierwiastka podstawowego i analizowanego), a stąd przy pomocy uprzednio przygotowanych fotografii lub innych wskaźników tych prążków opracowanych na podstawie wzorców, wnioskujemy o ilościowej zawartości poszczególnych pierwiastków. Metoda spektroskopowa na ogół jest mało dokładna, ale w niektórych przypadkach zupełnie wystarczająca. Znalazła ona dość duże zastosowanie przy oznaczaniu niektórych składników stopowych stali jak: Mo, Cr, Ni, Mn, W, V, Co.

2.4.2.2. Ilościowa analiza spektrograficzna

W metodzie tej wchodzi w grę pośredni czynnik jakim jest klisza fotograficzna. Dlatego mamy tu podwójną zależność:

- 1) pomiędzy względnym natężeniem promieniowania, a procentową zawartością pierwiastka w próbce;
- 2) pomiędzy natężeniem promieniowania, a zaczernieniem powstałym na kliszy.

jestrujące mają również szerokie zastosowanie w analizie np. przy metodach opartych na pomiarze szerokości prążka.

W analizie spektrograficznej średni błąd względny, oblicza się wg wzoru: $m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n-1}}$

gdzie:

n — całkowita ilość oznaczeń przeprowadzonych w celu określenia błędów,

Δ_i — odchylenie przy każdorazowym pomiarze obliczone od średniej arytmetycznej wartości wyników. Błąd względny waha się na ogół w naszych warunkach dla większości pierwiastków, w granicach 3 — 10%, jeżeli zawartość pierwiastków w próbce mieści się w granicach 0,01% — 15%. Błąd ten może się zmniejszyć z chwilą uzyskania lepszych gatunków klisz, wzorców, lepszych urządzeń wzbudzających, oraz przy bardzo starannym opracowaniu i wykonywaniu analiz. Szczególnie lepsze wyniki można uzyskać przy większej normalizacji procesu analitycznego.

gc w laboratoriach fabrycznych, przy masowych analizach jednego gatunku stopu.

Dla mniejszych zawartości sięgających tysięcznych części procenta, metoda spektrograficzna jest szeroko stosowana, pomimo iż względny błąd średni przekracza nawet 10%, gdyż inne techniczne metody analizy są o wiele trudniejsze i nie dają dokładniejszych wyników.

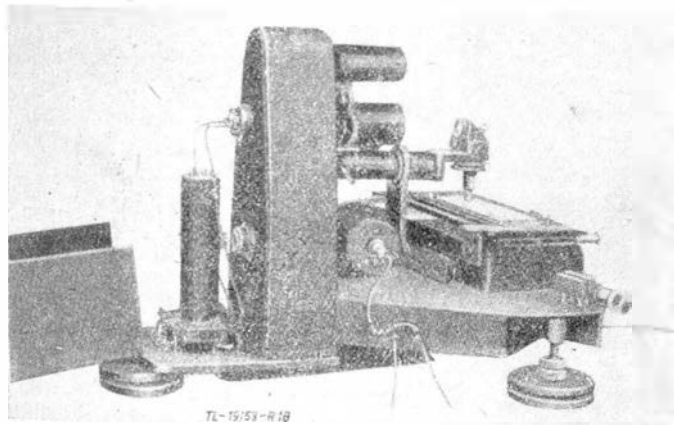
Przy kilkunastoprocentowej i wyższej zawartości pierwiastka rzadziej stosuje się metody spektrograficzne, gdyż oznaczenia są za mało dokładne i inne metody dają lepsze wyniki. W szczególnych przypadkach np. przy analizie skał i rud, gdzie analizy chemiczne trwają nawet kilkanaście dni, analiza spektrograficzna jest metodą lepszą. Wówczas próbkę odpowiednio się „rozcieńcza” czystą substancją dodatkową. Przy takich preparatach można ilościowo określić pierwiastki nawet do 100%.

3. ZAKOŃCZENIE

3.1. Uwagi ogólne

Należy podkreślić, że analiza spektralna jest b. wygodną i opłacalną metodą. W naszych warunkach największe zastosowanie winna znaleźć analiza spektrograficzna. Jest ona możliwa do zastosowania w pracowniach przemysłowych, daje szczególne oszczędności na czasie i kosztach materiałowych. Przy opracowanej metodzie, czas analizy jednej próbki wynosi przeciętnie 15 — 30 minut. Dla większej liczby próbek czas ten niewiele wzrośnie, gdyż większą część zajmuje proces wywoływania, utrwalania i suszenia kliszy. Przy specjalnych urządzeniach skracających proces „obróbki” kliszy, analiza jednej próbki może być skrócona do kilku minut. Dokładność oznaczeń na ogół wcale nie jest gorsza od innych metod, a przynajmniej w zupełności wystarcza dla potrzeb przemysłu metalowego. Żądanie dla tych celów większej dokładności jest przesadą. Tym bardziej, że jak wiemy z praktyki, fabryczne laboratoria chemiczne dają wyniki wcale nie z mniejszym błędem pomimo, że pozornie oznaczają wyniki z dokładnością do drugiego znaku po przecinku. A wyniki te rzadko są sprawdzane przez inne laboratoria i sami wykonawcy nie są świadomi wielkości popełnianych błędów i tkwią w upartym przekonaniu, że ich wyniki są aż tak dokładne.

Zasadniczą trudnością w ilościowej analizie spektralnej jest opracowanie metody postępowania z czego najwięcej czasu zajmuje przygotowanie odpowiednich wzorców. Główną wadą wzorców metalowych jest niejednorodność materiału. Wada ta jest do usunięcia i dla wielu stopów została już pokonana, przez odpowiednio staranne przeprowadzenie wytopu i sposobu odlewania.



Rys. 18 — Mikrofotometr pośpieszny radziecki, typ MF-2.

Dalszą również poważną wadą analiz spektrograficznych jest koszt aparatury (wydatek doraźny). Obecnie komplet średniej aparatury do analizy jakościowej i półilościowej kosztuje około 70 tys. zł. Natomiast do analizy ilościowej około 100 tys. zł.

3.2. Wyposażenie analitycznej pracowni spektrograficznej

Należy rozróżnić dwa zasadnicze typy spektrograficznych pracowni analitycznych do analizy metali:

- 1) pracownie analityczne naukowe (instytuty, wyższe uczelnie),
- 2) pracownie analityczne przemysłowe (fabryki, huty).

3.2.1. Zalecane wyposażenie dla pracowni naukowej

A. Wyposażenie podstawowe.

1. Spektrograf kwarcowy o średniej dyspersji
2. Spektrograf kwarcowy o dużej dyspersji

3. Generator łuku prądu stałego (220V do 15A)
4. Generator łuku prądu zmiennego (220V do 10A)
5. Generator iskry 220/10 000 — 15 000V moc około 1/4 kVA
6. Spektroprojektor o około 20-krotnym powiększeniu
7. Mikrofotometr nierejestrujący (rejestrujący tylko dla celów specjalnych)
8. Staloskop
9. Ciemnia fotograficzna.

B. Wyposażenie dodatkowe.

1. Obrabiarka do zataczania elektrod
2. Komparator o dwóch obiektywach (mniej ważny)
3. Automatyczny zegar — wyłącznik do dokładnych czasów naświetlania (220 V do 10 A od 1 sek. do 3 min.) lub stoper
4. Stabilizator napięcia
5. Migawka fotograficzna
6. Suszarka do klisz
7. Uniwersalny atlas oparty na widmie żelaza do analizy jakościowej (niezbędny)
8. Obszerne tablice liczbowe prążków spektralnych (niezbędne)

3.2.2. Wyposażenie pracowni przemysłowej:

A. Do analiz jakościowych

1. Spektrograf o średniej lub dużej dyspersji
2. Urządzenie wzbudzające (łuk, iskra, w zależności od potrzeb)
3. Spektroprojektor
4. Uniwersalny atlas do analizy jakościowej oparty na widmie żelaza
5. Szczegółowe tablice liczbowe linii spektralnych
6. Staloskop (w przemyśle stalowym)
7. Ciemnia fotograficzna

B. Do analizy ilościowej dochodzą dodatkowo:

1. Generator iskry
2. Mikrofotometr
3. Automatyczny zegar — wyłącznik
4. Stabilizator napięcia (przy wahaniach napięcia sieciowego)
5. Obrabiarka do zataczania elektrod (można korzystać z warsztatowej)
6. Migawka fotograficzna
7. Suszarka do klisz.

Spektroprojektory spotykane u nas w kraju są za mało uniwersalne. Niektóre z nich (radziecki i niemiecki) dają stałe 20-krotne powiększenie co jest niepotrzebną wadą. Spektroprojektor angielski można ustawiać na dowolne powiększenie, ale ustawienie go jest bardzo uciążliwe i zajmuje dużo czasu. Konieczność regulacji powiększenia występuje szczególnie w pracowniach posiadających spektrografy różnej wielkości, gdyż atlasy dostosowane są na ogół do spektrografów o średniej dyspersji. Dyspersja spektrografów dużych dla tego samego odcięcia jest zmienna zależnie od ustawienia przyzmatu. Dla analitycznych pracowni przemysłowych wygodniejszy jest spektrograf o średniej dyspersji. Spektrografy o dużej dyspersji należy stosować do analizy substancji o skomplikowanym widmie np. stale wysokostopowe, rudy itp.

W niniejszym artykule nie mogliśmy umieścić zestawienia katalogowego aparatury spektrograficznej, gdyż wymagałoby to omówienia ich zalet i wad co znacznie wykracza poza ramy tej pracy. W celu racjonalnego projektowania spektrograficznych pracowni analitycznych i zamawiania aparatury zaleca się porozumiewanie się z pracownikami analitycznymi posiadającymi większą w tej dziedzinie praktykę analityczną. Dobór właściwych typów aparatów to szybsze i dokładniejsze wyniki, to oszczędniejsza gospodarka inwestycjami.

Artykuł wpłynął dnia 12 lutego 1953 r.

LITERATURA

1. S. Mandelstam: „Wiedzenie w spektralnej analizy”, Moskwa 1946 r.
2. S. Kalinin: „Atlas spektralnych linii”, Moskwa 1952 r.
3. W. Klimecki: „Zastosowanie spektrografii w analitycznych laboratoriach przemysłowych”, Przemysł Chemiczny 1951 r.
4. A. Piekara: „Elektryczność i budowa materii”, Kraków 1948 r.
5. J. Gałazka: „Analiza metali i stopów metodą widmową”, Warszawa 1952 (skrypt).
6. W. Brode: „Chemical Spectroscopy”, New York 1947 r.
7. G. Harrison: „Wavelength Tables”, New York 1948 r.
8. W. Klimecki: „Spektrografia”. Rozdział w książce prof. A. Krupkowskiego „Analiza techniczna metali i rud”.
9. W. Prokofiew: „Fotograficzskie metody koliczestwiennowo spektralnowo analiza metallow i splawow”, Moskwa 1951 r.
10. Rusanow: „Spektralnyj analiz rud i mineralow”, Moskwa 1948 r.
11. E. Siebel: „Die Prüfung der metallischen Werkstoffe”.
12. J. Swiencicki: „Stiloskop”, Moskwa 1948 r.



Mgr inż. KAZIMIERZ GŁĘBICKI

629.13.05.531.7.11

Dobór i wykonanie rurek Bourdona przeznaczonych do ciśnieniowych przyrządów pokładowych

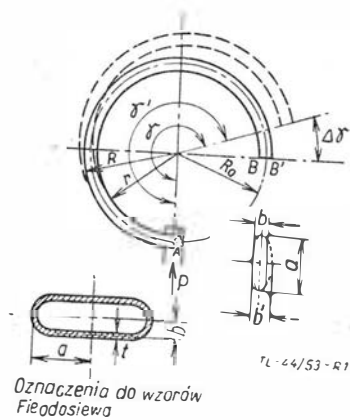
Autor podaje wzory służące do obliczenia ugięcia swobodnego końca rurek Bourdona, zakres ich stosowności i wpływ poszczególnych parametrów rurki na zakres proporcjonalności oraz metody stosowane w seryjnej produkcji i kontroli rurek Bourdona.

Ciśnieniowe przyrządy pokładowe posiadają sprężyste elementy pomiarowe, których odkształcenia, będące funkcją mierzonego ciśnienia, są powiększane przez mechanizm przyrządu, uruchamiający wskazówkę. Stosowane są trzy rodzaje elementów sprężystych, a mianowicie:

Membrany — do pomiaru małych ciśnień — poniżej 1 kG/cm². Rurki Bourdona — do pomiaru ciśnień średnich i dużych — do kilkuset kG/cm².

Mieszki sprężyste — do pomiaru średnich i małych ciśnień. Są one stosowane wówczas, gdy zachodzi potrzeba otrzymania dużych ugięć dla uruchomienia dalszych zespołów przyrządu. Wymiarowo zajmują one więcej miejsca niż membrany oraz rurki Bourdona i są najczęściej stosowane jako elementy sprężyste przekładników hydraulicznych lub elektrycznych.

W niniejszym artykule zostaną omówione zagadnienia doboru parametrów rurek Bourdona oraz technologii ich wykonania. (Zagadnienie technologii membran zostało omówione w artykule inż. A. Styrzuli pt. „Uwagi o wytwarzaniu przepon do manometrów”, „Przegląd Mechaniczny” nr 2, 1953 r.).



Rys. 1 — Schemat rurki Bourdona

cia swobodnego końca pod wpływem działającego ciśnienia, co pozwala na stosowanie prostych mechanizmów o małym przełożeniu i otrzymanie zwartej konstrukcji przyrządu.

Rurka Bourdona jest spłaszczoną rurką o przekroju eliptycznym lub płaskoowalnym, zwinięta po łuku koła (rys. 1). Dla wyjaśnienia działania rurki przyjmuje się trzy założenia zgodne z rzeczywistością, a mianowicie: 1) pod działaniem ciśnienia wewnątrz rurki mała oś przekroju zwiększa się. 2) długość rurki pozostaje bez zmiany, przy czym $AB = A_1B_1$ oraz 3) po odkształceniu rurka zachowuje kształt kołowy.

Promienie powierzchni wewnętrznej i zewnętrznej przed odkształceniem r i R , po odkształceniu r' i R' . Zgodnie z założeniem drugim mamy: $ry = r'y'$; $Ry = R'y'$. Odejmując stronami otrzymujemy: $(r - R) \gamma = (r' - R') \gamma'$ co można napisać $b\gamma = b'\gamma'$.

Ponieważ zgodnie z założeniem pierwszym $b' > b$ to $\gamma' < \gamma$. a więc koniec rurki przesunie się kątowno o kąt $\Delta\gamma$. Ponieważ $b' = b + \Delta b$ i $\gamma' = \gamma - \Delta\gamma$ to:

$$b\gamma = (b + \Delta b) \cdot (\gamma - \Delta\gamma); \text{ skąd } \Delta\gamma = \frac{\Delta b}{b + \Delta b} \cdot \gamma$$

Kąt ugięcia swobodnego końca rurki jest proporcjonalny do początkowego kąta zwinięcia i zwiększenia małej osi przekroju, odwrotnie zaś proporcjonalny do małej osi. Dlatego też czułość λ na małe ciśnienia mają płaskie przekroje o małej wartości b .

Ustalenie zależności między kątem ugięcia końca rurki a działającym ciśnieniem było przedmiotem wielu prac, między innymi Lorentza, Karmana i Fiedosiewa.

Wzory ujmujące zależność $\Delta\gamma = f(p)$ ustalone przez Lorentza, szczególnie dla małych ciśnień, dawały znaczne rozbieżności z wynikami prób. Karman, uwzględniając zmianę momentu bezwładności przekroju rurki wskutek zmiany kształtu przekroju pod obciążeniem, wprowadził do wzorów Lorentza współczynniki ujmujące tę zmianę, dzięki czemu wyniki obliczeniowe dawały większą zgodność z doświadczeniem. Dla rurek Bourdona o płaskim przekroju jakie są stosowane w przyrządach

lotniczych, wzór ten ma postać: $\gamma - \gamma' = \gamma \frac{1.16pR_0^2}{Etb}$ gdzie:

p — ciśnienie, R_0 — średni promień początkowego zwinięcia rurki, E — moduł sprężystości materiału, t — grubość ścianki rurki, b — połowa małej osi przekroju.

Najbardziej zgodne z rzeczywistością wyniki daje wzór opublikowany w r. 1940 przez Fiedosiewa.

$$\frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} = p \frac{1 - \mu^2}{E} \frac{R_0^2}{bt} \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \frac{x}{\beta - x^2} \quad (1)$$

gdzie: μ — współczynnik Poissona, a i b — połowy dużej i małej osi przekroju liczone według środkowej linii grubości ścianki, α i β — współczynniki liczbowe różniące dla przekroju eliptycznego i płaskoowalnego podane w tabeli 1 i zależne od

stosunku $\frac{a}{b}$, $x = \frac{R_0 t}{a^2}$ — stały parametr rurki. Pozostałe ozna-

czenia jak poprzednio. Równanie to jest ważne dla rurek cienkościennych. Dla rurek grubościennych (w których grubość ścianki jest współmierna z małą osią przekroju) wzór Fiedosiewa ma postać:

$$\frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} = p \frac{1 - \mu^2}{E} \frac{R_0^2}{bt} \cdot \frac{1 - x}{12b^2 x} \quad (2)$$

gdzie: $x = \frac{1}{ca} \cdot \frac{sh^2 ca + \sin^2 ca}{ch ca sh ca + \cos ca \cdot \sin ca}$ zaś $ca = \sqrt{\frac{3}{x}}$, a x

jak poprzednio, jest stałym parametrem rurki.

Linijowe przesunięcie λ swobodnego końca rurki jest określone wzorem

$$\lambda = \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} R_0 [(\gamma - \sin \gamma)^2 + (1 - \cos \gamma)^2]$$

Dla rurek o kącie zwinięcia $\gamma = 270^\circ$, które są najczęściej

stosowane w przyrządach lotniczych, $\lambda = 5.8 R_0 \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma}$

Przesunięcie końca rurki w kierunku promieniowym

wynosi: $\lambda_r = \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} R_0 (1 - \cos \gamma)$ w kierunku zaś stycznym

$$\lambda_t = \frac{\gamma - \gamma'}{\gamma} R_0 (\gamma - \sin \gamma).$$

W celu najkorzystniejszego ustawienia cięła mechanizmu przyrządu powinno ono być skierowane w kierunku maksymalnego przesunięcia końca rurki. Kąt między kierunkiem przesunięcia λ i styczną do rurki, a więc kierunkiem λ_t , może być określony na podstawie poprzednich zależności i wynosi:

$$\cos \varphi = \frac{\gamma - \sin \gamma}{\sqrt{(\gamma - \sin \gamma)^2 + (1 - \cos \gamma)^2}}$$

Dla kąta zwinienia $\gamma = 270^\circ$, $\varphi = 100^\circ$.

W niektórych przypadkach, np. gdy rurka Bourdona jest stosowana do uruchomienia przełącznika zidalnego lub zamknięcia obwodu elektrycznego przy określonym ciśnieniu lub w przyrządach samopiszących, potrzebna jest znajomość siły dysponowanej na swobodnym końcu rurki pod działaniem ciśnienia. Dla cienkościennej rurki o przekroju eliptycznym składowa siły w kierunku promieniowym ma wartość:

$$P_r = pab \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \frac{48S_2}{\xi + x^2} \cdot \frac{1 - \cos \gamma}{\gamma - \sin \gamma \cdot \cos \gamma}$$

w kierunku zaś stycznym:

$$P_t = pab \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \frac{48S_2}{\xi + x^2} \cdot \frac{\gamma - \sin \gamma}{3\gamma - 4\sin \gamma + \sin \gamma \cdot \cos \gamma}$$

gdzie: p — ciśnienie, ξ i S_2 współczynniki podane w tabeli 1. Siła na końcu rurki jest więc proporcjonalna do ciśnienia i nie zależy od własności materiału rurki.

Dla rurek grubościennych zależności te są następujące:

$$P_r = 8pab(1-x) \frac{1 - \cos \gamma}{\gamma - \sin \gamma \cdot \cos \gamma}; \quad P_t = 8pab(1-x) \frac{\gamma - \sin \gamma}{3\gamma - 4\sin \gamma + \sin \gamma \cdot \cos \gamma}$$

W przypadku, gdy rurka Bourdona jest zastosowana jako element sprężysty termometru ciśnieniowego, może być potrzebne określenie zmiany objętości wewnętrznej rurki. Zwiększenie malej osi przekroju jest określone wzorem:

$$\Delta b = p \frac{1 - \mu^2}{E} \cdot \frac{R_0^2}{t} \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \frac{6}{\beta + x^2}$$

zmiana zaś objętości wynosi:

$$\Delta v = 12p \frac{1 - \mu^2}{E} \cdot \frac{R_0^3}{t} a \gamma \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right)^2 \frac{n}{\beta + x^2}$$

Współczynniki m i n są podane w tabeli 1.

W przyrządach lotniczych najczęściej spotyka się rurki Bourdona o stosunku $\frac{a}{b}$ zawartym między 3 i 8.

Przytoczone wzory na kątowne ugięcie swobodnego końca rurki Bourdona dają wyniki o dobrej zgodności z rzeczywistością dla rurek cienkościennych. Wzór [1] dla stosunku $\frac{t}{b} < 0,3$

daje wyniki obliczeniowe mniejsze od doświadczalnych, zaś dla $\frac{t}{b} > 0,3$ — większe i do wartości $\frac{t}{b} = 0,6$ do 0,7 różnica ta

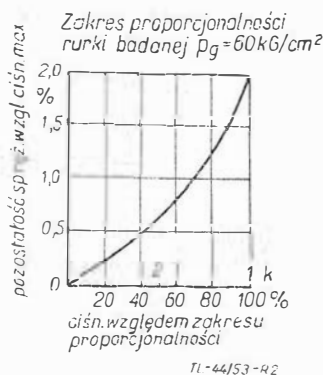
nie przekracza 25%. Dla wartości $\frac{t}{b} > 0,7$ dokładniejsze wyniki daje zastosowanie wzoru [2].

Rurki Bourdona, jak wszystkie sprężyste elementy pomiarowe posiadają histerezę i pozostałość sprężystą. We wskazaniach przyrządu właściwości te wyrażają się tym, że przy obciążeniu i odciążeniu ugięcia rurki, a więc i wskazania przyrządu, są różne i charakterystyka rurki tworzy pętlę histerezy. Przy obciążeniach krótkotrwałych, zjawisko to występuje w niewielkim stopniu i różnica wskazań mieści się w granicach tolerancji przyrządu. Obciążenie długotrwałe powoduje wzrost ugięcia przy obciążeniu granicznym, rozszerzenie pętli charakterystyki po odciążeniu zaś koniec rurki nie powraca do położenia początkowego, a więc i wskazówka nie wraca na działkę zerową. Powrót nieobciążonego przyrządu do wskazania zerowego może trwać kilka, a nawet kilkanaście godzin. Wielkość pozostałości sprężystej zależy od czasu obciążenia i na przykład dla rurki obciążonej ciśnieniem 10 kg/cm^2 w czasie 15 minut średnia wartość pozostałości sprężystej przy próbach pewnej rurki wyniosła 0,09%, w czasie zaś 5 godzin — 0,28%. Zmniejszenie tych szkodliwych zjawisk uzyskuje się przez obróbkę cieplną, tak zwaną stabilizację rurki, oraz ograniczenie ciśnienia roboczego do pewnej wartości. Charakterystyka rurki, jak to wynika, ze

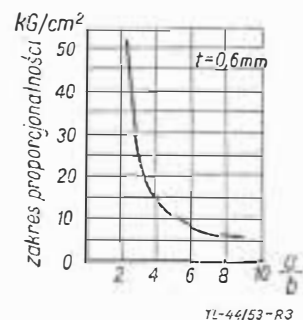
wzorów [1] i [2], jest linią prostą. Jednakże po przekroczeniu pewnego ciśnienia proporcjonalność między ugięciem a ciśnieniem nie zachodzi nadal i charakterystyka zakrzywia się. Każda rurka ma więc zakres proporcjonalności, w którym musi mieścić się zakres mierniczy przyrządu, przy czym jeżeli ozna-

czymy współczynnik obciążenia jako stosunek $\frac{p_{gr}}{p_{max}} = k$, gdzie:

p_{gr} — zakres proporcjonalności, zaś p_{max} — zakres mierniczy przyrządu, to współczynnik ten powinien mieć wartość $k > 1$. Zwykle stosuje się $k = 2$.

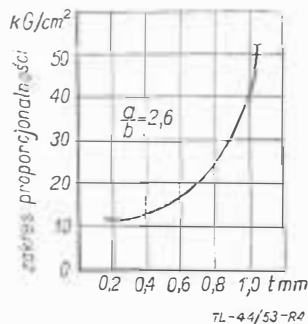


Rys. 2 — Zależność między pozostałością sprężystą a współczynnikiem k

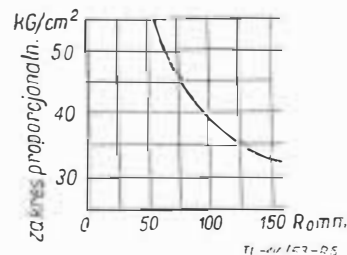


Rys. 3 — Zależność zakresu proporcjonalności od stosunku osi przekroju poprzecznego rurki

Na rys. 2 podany jest wykres charakteryzujący zależność między pozostałością sprężystą i współczynnikiem k . W rurkach posiadających k bliskie jedności, w czasie eksploatacji, powstają zwiększające się z czasem odkształcenia trwałe, dyskwalifikujące przyrząd.



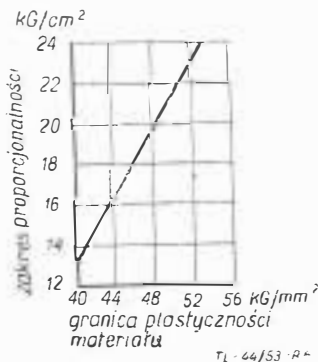
Rys. 4 — Zależność zakresu proporcjonalności od grubości ścianki rurki



Rys. 5 — Zależność zakresu proporcjonalności od średnicy rurki

Na wielkość zakresu proporcjonalności rurki Bourdona mają duży wpływ jej wymiary, grubość ścianki i rodzaj materiału. Na rys. 3 do 6 podane są wykresy doświadczalne, ilustrujące wpływ poszczególnych parametrów rurki na zakres proporcjonalności.

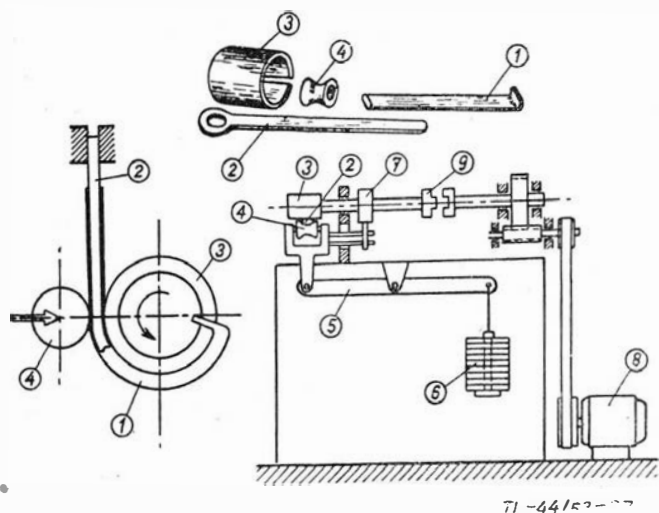
Z wykresów tych wynika, że dla zwiększenia zakresu proporcjonalności należy zmniejszać stosunek a/b i grubość ścianki. W przyrządach lotniczych najczęściej spotykane są rurki cienkościennie o płaskich przekrojach, a więc o niskim zakresie proporcjonalności. Natomiast stosowanie rurek o malej średnicy zwinienia, która w przyrządach lotniczych jest najczęściej rzędu 40 mm, jest korzystne.



Rys. 6 — Zależność zakresu proporcjonalności od granicy plastyczności materiału rurki

nie stosunku $\frac{a}{b}$ oraz zmniejszenie grubości ścianki zwiększa ugięcie końca rurki.

Zmiany temperatury otoczenia wskutek zmiany modułu sprężystości wpływają na ugięcie, zwiększając je przy temperaturach wysokich. W przyrządach ciśnieniowych z rurkami Bourdona błędy cieplne są uwzględniane w dopuszczalnych odchyłkach i przyrządy te na ogół nie posiadają kompensacji cieplnej.



Rys. 7 — Schemat półautomatu do produkcji rurek Bourdona

Ciśnienie dopuszczalne dla danej rurki jest ograniczone względami wytrzymałościowymi. Ciśnienie to jest określone

$$\text{wzorem podanym przez Lorentza } p = \frac{a^2}{b^2} R_r \cdot t \quad \text{gdzie: } R_r = \frac{R_0 \left(\frac{a^2}{b^2} - 1 \right)}{k}$$

wytrzymałość doraźna materiału. Ponieważ $p_{dop} = \frac{p}{k}$ gdzie k — współczynnik przyjmowany zazwyczaj jako $k = 2$, a więc

$$p_{dop} = \frac{R_r}{2} \frac{t}{R_0 \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right)}$$

Dla manometrów pracujących w warunkach szybkiej zmiany ciśnień mierzonych, oraz narażonych na uderzenia hydrauliczne, przyjmuje się $k = 2,5$, dla manometrów zaś pracujących w temperaturze wyższej jak 50°C — $k = 3$.

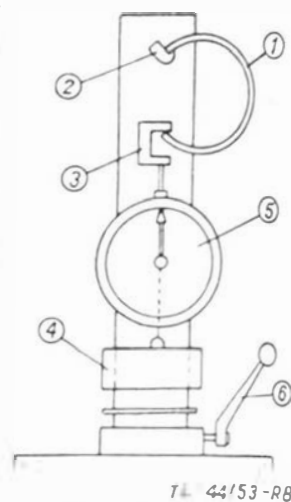
Materiałem stosowanym do produkcji rurek Bourdona jest dla niskich ciśnień (do 1 kg/cm^2) mosiądz i brąz fosforowy, dla ciśnień zaś wysokich — stal.

Technologia wykonania rurek Bourdona musi zapewniać równomierność grubości ścianek, gładkość powierzchni bez śladów i wgnieć, oraz kołowy kształt po zwinieniu.

Produktem wyjściowym są rurki okrągłe lub też profilowane, posiadające przewidziany kształt przekroju poprzecznego i grubość ścianek. Rurki są cięte na odcinki, wyżarzane w temperaturze $450 - 600^\circ\text{C}$ (dla mosiądzu) a następnie zwiniane po łuku koła. Dla zachowania kształtu przekroju poprzecznego rurki jest wypełniona wkładką, odpowiadającą przekrojowi wewnętrznej rurki, wykonaną ze stopu (50% Bi, 10% Cd, 13% Sn, 27% Pb) o niskiej temperaturze topnienia (70°C). Wkładki są powleczone parafiną, aby w czasie wytapiania wkładki w gorącej wodzie nie pozostała wanstwa stopu przyklepiona do wewnętrznej powierzchni rurki. Wkładki są odlewane w formach metalowych, następnie podgrzewane do 50°C i powoli studzone wraz z formą, co zapewnia im dostateczną plastyczność. Wypełnianie rurki drobnym piaskiem nie jest wskazane ze względu na konieczność zagładzenia końców rurki, trudności dokładnego usunięcia piasku po wyjęciu i długotrwałość tej operacji. Rurka jest zwiniana na przyrządzie między dwoma profilowanymi rolkami.

W produkcji seryjnej stosowane są półautomaty (rys. 7) o wydajności do 150 rurek na godzinę. Rurka 1 z zagiętym końcem jest nasunięta na stalowy rdzeń 2, którego koniec jest zamocowany do uchwyty na podstawie maszyny. Zagięty koniec rurki jest uchwycony zaciskiem znajdującym się wewnątrz kształtowej rolki 3. Rolka 4 jest dociskana do rurki dwuramienną dźwignią 5, obciążoną ciężarem 6. Mimośród 7 pozwala na opuszczenie rolki 4 dla założenia i zdjęcia rurki. Automat jest napędzany silnikiem elektrycznym 8 i wyłączany sprzęgłem 9. Po wykonaniu obrotu o kąt 200° automat zatrzymuje się samoczynnie. Zgniót rurki przy zwinianiu może być regulowany przez zmianę ciężaru 6.

Ważnym etapem produkcyjnym rurek Bourdona jest ich stabilizacja, mająca na celu usunięcie naprężeń wewnętrznych, powstałych w czasie zwiniania rurki. Stabilizacja może odbywać się na drodze cieplnej — przez sezonowanie, lub mechanicznie. Sezonowanie odbywa się przez ogrzanie rurki do temperatury niższej od temperatury rekrytalizacji materiału (dla trązu fosforowego — od 100 do 200°C) w ciągu jednej godziny i powolnym chłodzeniu. Stosowane bywa również sezonowanie rurek obciążonych ciśnieniem równym zakresowi mierniczemu. Sposób ten jest stosowany najczęściej dla rurek pracujących w podwyższonej temperaturze.



Rys. 8 — Schemat stoiska do kontroli ugięcia rurek Bourdona

TABELA 1

Współczynniki liczbowe α , β , m , n , ξ , S_2 w zależności od stosunku długości półosi przekroju $\frac{a}{b}$ rurki Bourdona

Rurki o przekroju eliptycznym								
a/b	2	3	4	5	6	7	8	9
α	0,566	0,493	0,452	0,430	0,416	0,406	0,400	0,395
β	0,053	0,045	0,044	0,043	0,042	0,042	0,042	0,042
m	0,124	0,108	0,100	0,096	0,093	0,092	0,091	0,090
n	0,142	0,121	0,111	0,106	0,102	0,100	0,098	0,097
ξ	0,548	0,499	0,459	0,439	0,429	0,423	0,416	0,410
S_2	0,0662	0,0565	0,0515	0,0480	0,0465	0,0460	0,0455	0,0450
Rurki o przekroju płaskoowalnym								
a/b	2	3	4	5	6	7	8	9
α	0,548	0,480	0,437	0,408	0,388	0,372	0,360	0,350
β	0,115	0,121	0,121	0,121	0,121	0,120	0,119	0,119
m	0,166	0,152	0,140	0,132	0,126	0,121	0,118	0,115
n	0,144	0,131	0,122	0,115	0,110	0,107	0,105	0,103
ξ	0,652	0,591	0,552	0,524	0,504	0,488	0,476	0,467
S_2	0,0815	0,0743	0,0690	0,0652	0,0624	0,0602	0,0585	0,0571

Stabilizacja mechaniczna jest przeprowadzana przez wielokrotne poddanie rurki cyklowi obciążenie — odciążenie. Liczba cykli potrzebnych jest rzędu kilkuset, co stanowi uciążliwy i długotrwały proces.

Przed przekazaniem rurek do dalszych operacji produkcyjnych wszystkie rurki partii powinny być sprawdzone przez kontrolę techniczną. Rurki nie powinny mieć śladów rys, sfalowań i innych skaz powierzchni, powinny posiadać żądany przekrój poprzeczny i być zwinięte po łuku koła. Charakterystykę rurki sprawdza się w umowny sposób przez pomiar ugięcia jej swobodnego końca, pod obciążeniem w postaci obciążnika. Schemat urządzenia pomiarowego jest podany na rys. 8.

Rurka 1 jest oparta jednym końcem na nieruchomej podstawie 2. Drugi koniec jest oparty o jarzmo 3, obciążone obciążnikiem 4. Jarzmo opiera się o trzpień pomiarowy czujnika

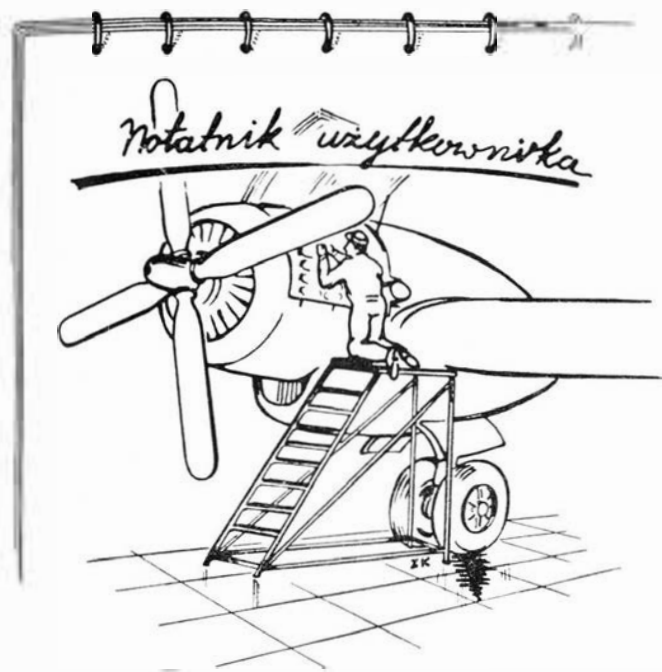
5, z którego została wyjęta sprężyna w celu wyeliminowania nacisku mierniczego czujnika. Przez obrót dźwigni 6 obciążnik zostaje zwolniony i wówczas czujnik wskazuje ugięcie końca rurki.

Wielkość obciążenia jest dobierana doświadczalnie według rurki c sprawdzonej charakterystyce. Metoda ta nie daje charakterystyki rurki, lecz pozwala w szybki i prosty sposób selekcjonować rurki przed dalszymi operacjami produkcyjnymi.

Artykuł wpłynął dnia 12 maja 1953 r.

LITERATURA

1. W. I. Fieodosjew, „Ugrugije elementy tocznawo priborostrojenja“, Oborongiz, 1949.
2. M. K. Żochowski, „Technika izmierienia dawlenja i razrieżenja“, Masz. giz, 1952.
3. A. N. Gawrilow, „Technologja awiacjonnawo priborostrojenja“, Oborongiz, 1951.



Mgr inż. JERZY PINDERA

Usuwanie rys i zmętnień z szyb wykonanych z żywic metakrylowych

W bieżącym zeszycie „Notatnik użytkownika“ przynosi dwie odrębne zupełnie prace.

Jedną jest zapowiedziany już w poprzednim zeszycie artykuł w sprawie usuwania rys z szyb samolotowych, wykonanych ze sztucznych żywic. Zawiera on zwięzłe wskazówki, dotyczące pielęgnacji, szlifowania i polerowania takich szyb oraz wyjaśnia mechanizm powstawania zmętnień i rys.

Druga praca podaje ciekawy opis drobnego na pozór niedopatrzenia ze strony wykonawców samolotu, jaki znaleźliśmy w jednym z czasopism zagranicznych. Zamieszczony rysunek objaśnia istotę błędu i pozwoli wnikliwemu Czytelnikowi na wyciągnięcie właściwych wniosków dla własnej pracy zawodowej.

Charakter rys występujących na szybach z żywic metakrylowych

Szyby samolotu wykonywane są obecnie zwykle z żywic metakrylowych (plexiglas, perspex, lucite, organiczeskoje stiekło).

Na powierzchni takich szyb samolotowych występują w trakcie eksploatacji rysy i zmętnienia, powodujące częściowe lub całkowite zmniejszenie przejrzystości szyby. Wyodrębnić można dwa rodzaje rys: rysy spowodowane uszkodzeniem mechanicznym przez ciała twarde (piasek, ostry pył, ostre narzędzie), oraz pęknięcia spowodowane działaniem cieczy rozpuszczających lub zmniejszających sztywność. Rysy spowodowane uszkodzeniem mechanicznym powstają zwykle w wyniku niewłaściwego czyszczenia szyby lub nieostrożnego obchodzenia się z szybą. Rysy takie zwykle nie są głębokie — głębokość ich wynosi na ogół kilka setnych do jednej dziesiątej milimetra. Większość takich rys daje się usunąć przez polerowanie. Usunięcie, nielicznych na ogół, głębszych rys wymaga zebrania grubszej warstwy materiału z powierzchni szyby — operację taką zwie my szlifowaniem.

Pęknięcia odróżniają się od rys tym, iż są bardzo wąskie a jednocześnie drążą w głąb materiału oraz, że są krótkie — długość ich nie przekracza na ogół kilku milimetrów. Pęknięcia tworzą się na powierzchni szyby w postaci mozaiki o średnicach oczek, zawierających się w granicach od ułamka milimetra do kilku milimetrów, lub w postaci zorientowanego układu krótkich kilkumilimetrowej długości rys. Ten ostatni przypadek zachodzi, gdy powierzchnia rysy wykazuje obecność rozciągających naprężeń — powstające pęknięcia są prostopadłe do większego z naprężeń rozciągających.

Pęknięcia pogłębiają się z upływem czasu, sięgając do pół milimetra w głąb materiału lub czasem więcej. Są one bardzo wyraźnie widoczne przy skośnym ustawieniu szyby względem obserwatora. Pęknięcia powstają szczególnie szybko przy zwiłżaniu szyby następującymi rozpuszczalnikami: spirytusem, ska-

żonym, octanem etylu, acetonem, alkoholem izopropylowym, alkoholem metylowym, alkoholem etylowym.

Nieszkodliwe są takie ciecze jak: gliceryna, benzyna, nafta, woda. Odporność żywic metakrylowych na powstawanie pęknięć zależy również w znacznym stopniu od rodzaju żywicy.

Czas pracy szyby z żywicy metakrylowej można mechanicznie przedłużyć, zachowując odpowiednią ostrożność oraz staranność przy usuwaniu brudu i kurzu, oraz dobierając właściwy skład cieczy, którymi szyby są zwilżane tak podczas mycia jak i podczas odladzania. Przede wszystkim niedopuszczalne jest:

1. Usuwanie kurzu i brudu z szyb przy pomocy nieodpowiednich środków, w nieodpowiedni sposób oraz w nieodpowiednich warunkach (kurz, wiatr).
2. Stosowanie cieczy do zmywania i odladzania rozpuszczających lub zmniejszających materiał szyby.
3. Szlifowanie i polerowanie szyb przy pomocy niezbadanych proszków lub past.

Pielęgnacja szyb z żywic metakrylowych

W trakcie normalnej eksploatacji sprzętu, szyby z żywicy metakrylowych mogą ulec zabrudzeniu lub lekkiemu porysowaniu. Głębsze porysowanie szyby zdarza się rzadziej.

Szybę zabrudzoną i porysowaną należy najpierw starannie umyć. Dokonywać należy tego w takich warunkach, aby na czyszczonej szybie nie osiadał kurz i pył z powietrza. Myć szyby należy wyłącznie zimną lub letnią wodą, do której — w przypadku konieczności — dodać można nieco obojętnego mydła. Szybę należy myć przy użyciu gąbki lub ściereczki zamszowej; można też użyć kilkakrotnie pranej ściereczki lnianej. Po zmyciu szyby wyciera się ją do sucha czystą ściereczką zamszową. Jeśli szyba posiada drobne rysy lub drobne zmętnienia, spowodowane zespołem drobnych rysek, wówczas bezpośrednio po umyciu należy ją wypolerować.

Szyba do polerowania winna być wilgotna. Szyby poleruje się wygodnie przy pomocy tlenku glinu lub tlenku żelaza. Wiel-

kość ziarna proszku stosowanego do polerowania nie powinna przekraczać około pół mikrona, ze względu na to, iż pozo-
stałe po polerowaniu rysy nie powinny być widoczne gołym
okiem, oko zaś nieuzbrojone normalnie zauważa rysy głębo-
kości ułamka mikrona. Poleruje się przy użyciu ściereczki zam-
szowej, przeznaczanej wyłącznie do tego celu. Ściereczkę tę,
po zwilżeniu, posypuje się proszkiem do polerowania, lub po-
lewa się zawieszoną proszku do polerowania w wodzie. W bra-
ku ściereczki zamshowej użyć można ściereczkę z miękkiego
filcu wysokiego gatunku (filc kapelusznicy). Ściereczkę po-
krytą proszkiem do polerowania prowadzi się po szybie ru-
chem okrężnym, dociskając lekko do szyby. Po zakończeniu
polerowania należy szybę zmyć i wytrzeć do sucha ścierecz-
ką z zamszu przeznaczoną wyłącznie do tego celu.

Mechaniczne usuwanie rys

Głębsze lub liczniejsze rysy i zmechnienia, powstałe na po-
wierzchniach szyb z żywicy metakrylowych, usuwamy mecha-
nicznie przy pomocy szlifowania i polerowania. Obie te ope-
racje polegają na usunięciu zewnętrznej, porysowanej war-
stwy materiału przy użyciu proszków ściernych. Szlifowanie
usuwa rysy głębsze — od 0,01 do około 0,1 mm. Nierówności
na powierzchni po szlifowaniu wynosić winny około 0,01 mm.
Polerowanie usuwa rysy i nierówności powierzchni mniejsze
niż 0,01 mm; nierówności powierzchni po polerowaniu wyno-
szą ułamek mikrona.

Usuwanie pęknięć na szybach przy pomocy szlifowania
i polerowania nie jest celowe, chyba że pęknięcia są jeszcze
bardzo płytkie, rzędu setnych milimetra. Usuwanie pęknięć
głębokich wymaga usunięcia grubszej warstwy materiału, jest
więc kosztowne i długie.

Gdy rysy są płytkie — mniej niż 0,01 mm — wówczas sto-
sujemy samo polerowanie. Przy rysach głębszych szybę naj-
pierw szlifujemy, aż do zniknięcia rys, a następnie polerujemy.

Szlifowanie ręczne oraz ręczne polerowanie po szlifowaniu
jest bardzo mozolne, dlatego stosujemy do tego celu tarcze na-
pędzane poprzez giętke walki silnikiem elektrycznym. Tarcze
te pokryte są odpowiednimi okładzinami, pomiędzy tarczą
a okładziną umieszczone są podkładki elastyczne (guma pian-
kowa) grubości kilkudziesięciu milimetrów. Wygodnie jest uży-
wać tarcze o średnicach w granicach 100 — 200 mm.

Tarcze do szlifowania pokrywa się płótnem lub miękkim fil-
cem, zależnie od tego, czy szlifuje się przy użyciu płótna ściernego,
czy proszków ściernych. Do szlifowania stosuje się prosz-
ki karborundowe lub korundowe o numerach 200 do 260(400).

Tarcze do polerowania pokrywa się zamszem lub miękkim
filcem. Do polerowania najwygodniej jest używać tlenku glinu
ewentualnie tlenku żelaza. Wielkość ziaren tlenku glinu, uży-
wanego do mechanicznego polerowania, wynosi poniżej jed-

nego mikrona, z tym, że do dokładnego polerowania koniecz-
ne jest stosowanie najmniej dwóch rodzajów proszków o róż-
nych wielkościach ziaren. Proszki ściernie rozrabia się z wodą
na rzadką pastę. Naczynia z proszkami powinny posiadać
szczelne zamknięcia.

Tarcza do szlifowania lub polerowania powinna pracować
stałe na jednym rodzaju proszku. Nie można używać tej sa-
mej tarczy do pracy proszkiem o mniejszych ziarnach.

Po każdej operacji obróbowej szybę należy starannie umyć
i wysuszyć.

Szlifowanie

Numer proszku do szlifowania początkowego dobieramy
w zależności od głębokości rys. Przy płytszych rysach można
szlifować bezpośrednio proszkiem nr 400, lub nr 360. Przy
rysach głębszych należy szlifować początkowo proszkiem od-
powiednio grubszym, a następnie przechodzić na proszki drob-
niejsze. Proszków o ziarnach większych niż proszek nr 200
nie stosuje się.

Szlifowanie proszkiem o danym numerze można uważać
za skończone, jeśli powierzchnia obrabianej płyty jest jedno-
stajnie matowa, bez rys i wyróżniających się kierunków. Po
zakończeniu jednej operacji szlifowania należy szybę dokład-
nie umyć i wysuszyć, po czym należy skontrolować stan po-
wierzchni. Po pozytywnym wyniku kontroli należy szybę zwil-
żyć wodą i szlifować proszkiem drobniejszym. Należy uważać,
aby w trakcie zmieniania tarcz szlifowniczych nie zabrudzić
proszkiem ściernym uchwytu tarczy — jedno ziarno proszku
grubszego, które dostanie się na tarczę z proszkiem drobniej-
szym, może zniweczyć jeden lub kilka etapów pracy.

Podczas szlifowania szyba winna być stałe wilgotna. Ilość
proszku ściernego na tarczy nie może być za mała — należy
uzupełniać w miarę potrzeby. Temperatura obrabianej szyby
nie może się podnosić. Wzrost temperatury szlifowanej szyby
powoduje jej deformację.

Tarczę szlifierską prowadzi się po powierzchni szyby płyn-
nie, bez zbytniego docisku, ruchem kołowym.

Polerowanie

Polerowanie przeprowadzamy analogicznie do szlifowania.
Pożądane jest polerować trzema lub dwoma numerami prosz-
ków, wielkość ziarna proszku najgrubszego wynosić winna oko-
ło mikrona, zaś najdrobniejszego — nie więcej niż pół mi-
krona. Polerowanie płyty uprzednio szlifowanej, przy użyciu
tylko jednego numeru proszku nie daje się na ogół nadzwyczaj-
nych wyników.

Polerowanie można uważać za zakończone, jeśli powier-
chnia szyby nie wykazuje żadnych rys, oraz gdy przedmioty
oglądane przez szybę nie ulegają zniekształceniu.

Artykuł opłynął dnia 14 marca 1953 r.

Powód do wypadku lotniczego

Rys. 1 przedstawia szczegół prowadzenia napędów w sa-
molocie. Rura skrętna z przegubem służy do uruchamiania
klap do lądowania, a linka należy do układu sterowania.

Jak powstała sytuacja uwidoczniiona na rys. 2? Linka ste-
rowa nie była należycie prowadzona, wykazując zbyt duży
zwis, zaś sworznie przegubu był za długi. Obracając się przy

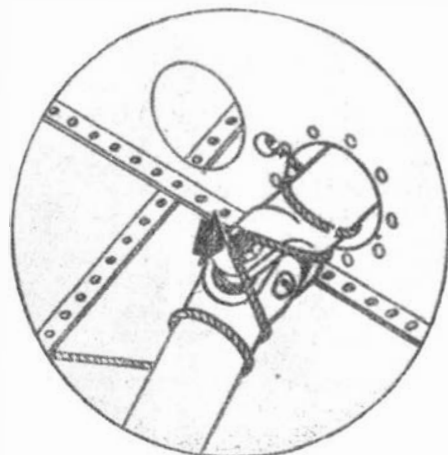
zamykaniu klap rura schwyciła długim końcem sworznia lin-
kę, nawinęła ją — blokując tym samym ster. Do wypadku
nie doszło — pilot zamykając kłapy po starcie skojarzył fakt
blokowania steru z zamykaniem klap, przestawił natychmiast
mechanizm klap na otwarcie i zwolnił tym samym ster.

Z zamieszczonego przykładu można wysnuć szereg wnio-

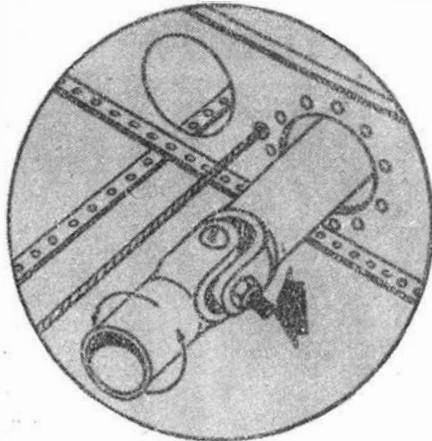
sków. Dla konstruktora: nie należy zbyt bli-
sko siebie prowadzić napędów, mogących
wzajemnie źle oddziaływać; linki winny być
prowadzone tak, aby nie mogły tworzyć się
zbyt duże zwisy. Dla obsługi i kontroli trze-
ba przestrzegać właściwego napięcia linek,
montaż wszelkich elementów ruchomych
winien być taki, by miały one zapewniony swo-
bodny ruch i nie mogły zawadzać o inne
elementy, zwłaszcza wszelkie sworznie nie
powinny być za długie.

Dla pilota: w razie powstania jakiegol-
wiek nieprawidłowości działania należy sobie
natychmiast uświadomić związek między nie-
prawidłowością a innymi funkcjami pozosta-
łych urządzeń. W tym celu pilot musi znać
i dokładnie rozumieć działanie wszelkich
urządzeń swego samolotu.

R. L.



Rys. 2



Rys. 1

Lotnicze słownictwo techniczne

Mgr inż. J. ROŚCISZEWSKI

Niektóre pojęcia z dynamiki gazów

Poniżej podajemy w formie projektu kilkadziesiąt podstawowych pojęć z dynamiki gazów wraz z odpowiednikami w innych językach. Ma to na celu ujednolicienie słownictwa, które dotychczas często było niewłaściwe (patrz np. recenzja książki J. Lewinsona „Aerodynamika dużych prędkości“, „Technika Lotnicza“ nr 3/53). Wypowiedzi szerokich rzesz Czytelników pozwolą na bardziej wszechstronne i wnikliwe zanalizowanie chociaż części pojęć z dynamiki gazów. Sprawa ta jest obecnie bardzo aktualna, gdyż Państwowe Wydawnictwa Techniczne są w trakcie przygotowywania słownika pojęć z mechaniki teoretycznej, w ramach którego znajdzie się również słownictwo z aerodynamiki.

1. Małe zaburzenie przepływu

Zaburzenie dźwiękowe.

Znaczenie pojęcia: zaburzenie przepływu zmieniające prędkości, ciśnienia itp. w przepływie o wielkości b. małe w porównaniu z odpowiednimi wielkościami wyjściowymi. Małe zaburzenia rozchodzą się w ośrodku z prędkością bliską prędkości dźwięku.

- (ang.) — sonic disturbance
small disturbance (of flow)
small perturbation (of flow)
- (fr.) — perturbation (f) infiniment petite
- (niem.) — kleine Störung (f) (der Stroemung)
- (ros.) — малое возмущение течения
звуковое возмущение течения

2. Prędkość krytyczna przepływu

Znaczenie pojęcia: prędkość w punkcie pola przepływu, w którym jest ona równa lokalnej prędkości dźwięku (odpowiadającej stanowi gazu w tym punkcie)

$$V_{kr} = a_d = \sqrt{\kappa g R T} \quad \text{gdzie } \kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

- (ang.) — critical speed of flow
- (fr.) — vitesse (f) critique (d'écoulement)
- (niem.) — kritische Geschwindigkeit (f)
- (ros.) — критическая скорость течения

3. Całkowita temperatura w przepływie

Znaczenie pojęcia: suma temperatury bezwzględnej ośrodka i temperatury wynikającej z energii kinetycznej ośrodka

$$T_o = T + A \frac{V^2}{2gc_p}$$

- gdzie A — ciepł. równ. pracy
 V — prędkość przepływu
 g — przyspieszenie ziemskie
 c_p — ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu.
- (ang.) — total temperature
stagnation temperature
 - (fr.) — temperature d'impacte
 - (ros.) — температура торможения

4. Przepływ naddźwiękowy

Znaczenie pojęcia: przepływ odznaczający się tym, że lokalne liczby Macha są większe od jedności w całym obszarze przepływu.

- (ang.) — supersonic flow
- (fr.) — écoulement (m) supersonique
- (niem.) — Ueberschallstroemung (f)
- (ros.) — сверхзвуковое течение

5. Przepływ przydźwiękowy

Znaczenie pojęcia: przepływ odznaczający się tym, że w części obszaru przepływu lokalne liczby Macha są większe od jedności, a w pozostałej części mniejsze od jedności.

- (ang.) — transsonic flow
- (fr.) — écoulement (m) transsonique
- (ros.) — (транззвуковое течение,*)

6. Przepływ poddźwiękowy

Znaczenie pojęcia: przepływ odznaczający się tym, że w żadnym punkcie przepływu nie zostaje osiągnięta lokalna prędkość dźwięku.

- (ang.) — subsonic flow
- (fr.) — écoulement (m) subsonique
- (niem.) — Unterschallstroemung (f)
- (ros.) — дозвуковое течение

7. Liczba Macha

Znaczenie pojęcia: stosunek prędkości przepływu niezakłóconego do prędkości dźwięku w przepływie niezakłóconym.

- (ang.) — Mach number
Baird number
- (fr.) — nombre (m) de Mach
nombre de Sarrau
nombre de Moisson
- (niem.) — Machzahl (f)
- (ros.) — число М
число Маха
число Берстоу

8. Krytyczna liczba Macha

Znaczenie pojęcia: liczba Macha, której odpowiada wystąpienie w dowolnym punkcie przepływu lokalnej liczby Macha równej jedności.

- (ang.) — critical Mach number
- (fr.) — nombre (m) de Mach critique
- (niem.) — kritische Machzahl (f)
- (ros.) — критическое число М

9. Lokalna liczba Macha

Znaczenie pojęcia: stosunek prędkości w pewnym punkcie przepływu do lokalnej prędkości dźwięku (odpowiadającej stanowi gazu w danym punkcie).

- (ang.) — (local) Mach number
- (fr.) — nombre (m) de Mach (locale)
- (ros.) — (локальное) число М

10. Linia Macha

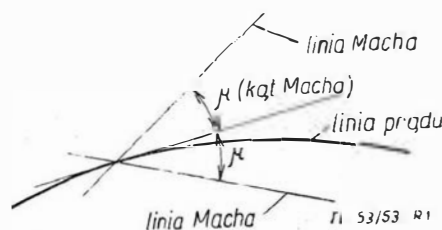
Znaczenie pojęcia: jedna z dwóch linii, które ograniczają obszar zaburzeń, wywołanych w pewnym punkcie dwuwymiarowego przepływu naddźwiękowego. Linia Macha tworzy kąt (μ) w przepływie potencjalnym z liniami prądu (kąt Macha). Linie Macha tworzą dwie rodziny linii (tzw. siatkę Macha), przecinających się pod kątem 2μ .

- (ang.) — Mach line
- (fr.) — ligne (f) de Mach
- (niem.) — Machsche Linie (f)
- (ros.) — линия возмущений
линия Маха

11. Kąt Macha μ

Znaczenie pojęcia: kąt między linią Macha a linią prądu.

- (ang.) — Mach angle
- (fr.) — Mach angle
- (niem.) — Machscher Winkel (m)
- (ros.) — угол возмущений
угол Маха

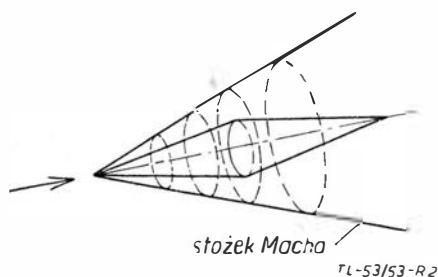


Rys. 1

*) Termin spotykany tylko w pracach tłumaczonych.

12. Stożek Macha

Znaczenie pojęcia: powierzchnia stożkowa utworzona przez linie Macha, wychodzące z ostrza opływanej bryły geometrycznej.



Rys. 2

- (ang.) — Mach cone
(fr.) — Mach cône (m)
(niem.) — Machscher Kegel (m)
(ros.) — конус возмущений
конус Маха

13. Zgęszczenie uderzeniowe

Sprężenie uderzeniowe

Znaczenie pojęcia: nieciągła zmiana ciśnień, gęstości, temperatury, zachodząca przy przejściu fali uderzeniowej przez ośrodek.

- (ang.) — shock compression
(fr.) — compression de choc
(niem.) — Verdichtungstoss (m)
(ros.) — ударное сжатие

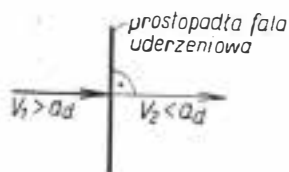
14. Fala uderzeniowa

Znaczenie pojęcia: fala silnej nieciągłości — nieciągłości niektórych parametrów przepływu (gęstości, ciśnienia, temperatury) występującej w postaci skoku przy przejściu czoła fali.

- (ang.) — shock wave
(fr.) — onde de choc (f)
(niem.) — Verdichtungsstelle (f)
(ros.) — ударная волна

15. Prostopadła fala uderzeniowa

Znaczenie pojęcia: fala uderzeniowa, której czoło leży w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku przepływu.

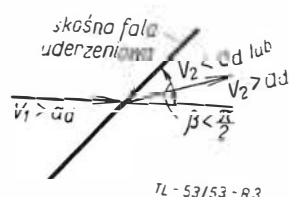


Rys. 3a

- (ang.) — normal shock wave
normal shock compression
(fr.) — normale compression (n) de choc
(niem.) — senkrechter Verdichtungsstoss (m)
(ros.) — нормальная ударная волна
нормальное ударное сжатие
прямой скачок уплотнения

16. Skośna fala uderzeniowa

Znaczenie pojęcia: fala uderzeniowa, której czoło leży w płaszczyźnie skośnej w stosunku do kierunku przepływu.



Rys. 3b

- (ang.) — oblique shock compression
(fr.) — oblique compression de choc

- (niem.) — schiefer Verdichtungsstoss (m)
(ros.) — косая ударная волна
косое ударное сжатие

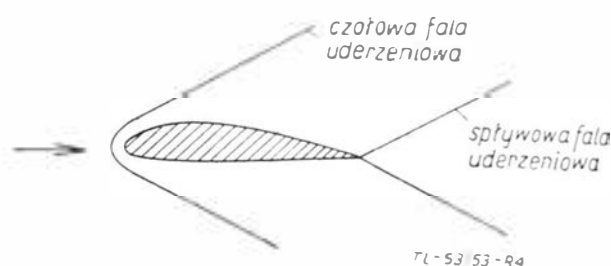
17. Czołowa fala uderzeniowa

Znaczenie pojęcia: fala uderzeniowa, powstająca przed przeszkodą przy przepływie naddźwiękowym.

- (ang.) — bow wave
headwave
(fr.) — onde de choc (f) du bord d'attaque
(niem.) — Kopfwelle (f)
(ros.) — носовая волна
головная волна

18. Spływowa fala uderzeniowa

Znaczenie pojęcia: fala uderzeniowa, powstająca za przeszkodą w przepływie naddźwiękowym (patrz rys. 4).



Rys. 4

- (ang.) — tailwave
rear shock line
(niem.) — Schwanzwelle (f)
hintere Stoßlinie (f)
(ros.) — хвостовая волна

19. Opór falowy

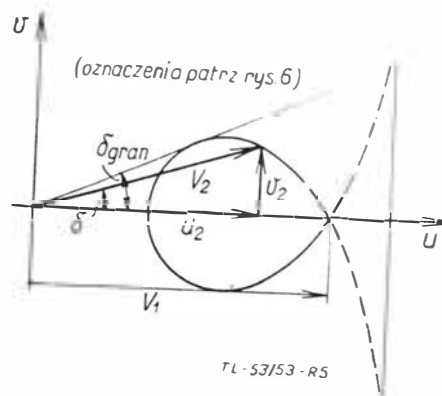
Znaczenie pojęcia: opór przepływu, towarzyszący powstawaniu fali uderzeniowych (występujący w przepływie przydźwiękowym i naddźwiękowym).

- (ang.) — wave drag
(fr.) — resistance ondulatoire
(niem.) — Wellenwiderstand (m)
(ros.) — волновое сопротивление

20. Biegunowa uderzenia

Znaczenie pojęcia: wykres (w układzie współrzędnych prostokątnych, w którym jedna oś pokrywa się z kierunkiem prędkości przed falą uderzeniową) wiążący składowe prędkości przepływu (normalną i styczną do prędkości przed falą uderzeniową) zaraz za czołem fali uderzeniowej.

- (ang.) — shock polar
(fr.) — polaire de choc
(niem.) — Stoßpolare (f)
(ros.) — ударная поляра

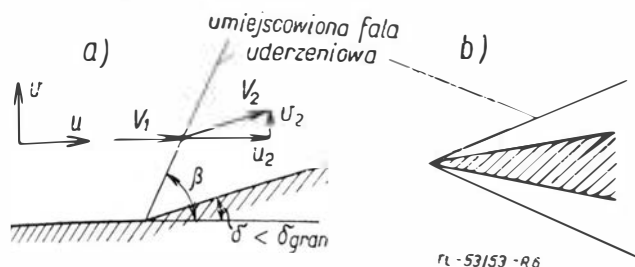


Rys. 5

21. Umiejscowiona fala uderzeniowa

Znaczenie pojęcia: fala uderzeniowa, powstająca wskutek zmiany kierunku przepływu o kąt δ mniejszy od kąta granicz-

nego (rys. 6). Linia czołowa takiej fali wychodzi z punktu załamania ciała opływającego.

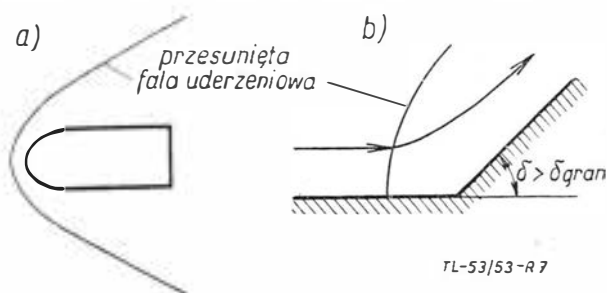


Rys. 6

- (ang.) — attached shock
(fr.) — choc (f) attaché
(ros.) — присоединенный скачок

22. Przesunięta fala uderzeniowa

Znaczenie pojęcia: fala uderzeniowa, która powstaje w przypadku, gdy kąt załamania przepływu (ob.) jest większy od kąta granicznego. Linia czołowa takiej fali przesunięta jest do przodu względem punktu załamania ciała opływającego.



Rys. 7

- (ang.) — detached shock
(fr.) — choc (f) détaché
(ros.) — отсоединенный скачок

23. Ką uderzenia

Znaczenie pojęcia: kąt (ostry) pomiędzy kierunkiem przepływu przed falą uderzeniową a czołem fali uderzeniowej (patrz rys. 6 kąt β).

- (ang.) — shock angle
(fr.) — angle de choc
(niem.) — Stosswinkel (m)
(ros.) — угол ударной волны
наклон линии разрыва

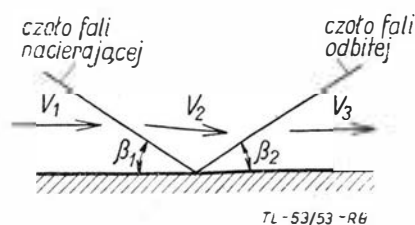
24. Kąt załamania przepływu

Znaczenie pojęcia: kąt, o jaki zmienia się kierunek przepływu w punktach linii czoła fali uderzeniowej (patrz rys. 6 kąt δ).

- (ang.) — deflection angle
(fr.) — deviation angle
(niem.) — Ablenkungswinkel (m)
(ros.) — угол отклонения течения (и)

25. Odbicie regularne (fali uderzeniowej)

Znaczenie pojęcia: odbicie fali uderzeniowej od powierzchni ciała stałego, w którym występuje tylko fala nacierająca i odbita (których czolami w pl. rysunku są linie proste), przecinające się w punkcie powierzchni ciała stałego (rys. 8).

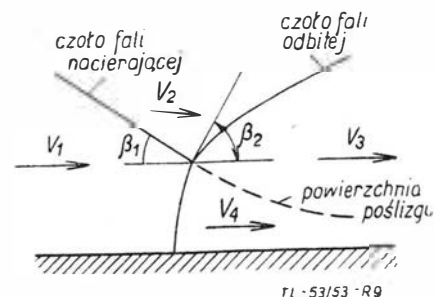


Rys. 8

- (ang.) — regular reflection (of shock wave)
(ros.) — регулярное отражение

26. Odbicie Macha (fali uderzeniowej)

Znaczenie pojęcia: odbicie fali uderzeniowej od powierzchni ciała stałego, przy którym powstaje układ trzech fal uderzeniowych (patrz rys. 9) i powierzchnia poślizgu (nieciągłości prędkości stycznej); odbicie takie zachodzi w przypadku, gdy kąt padania fali uderzeniowej jest zbyt duży lub natężenie fali jest zbyt duże.



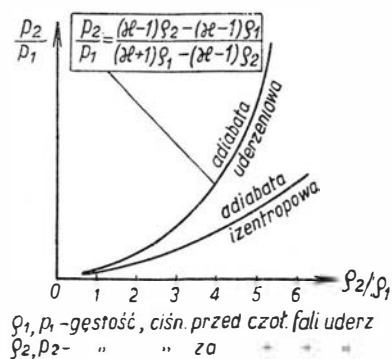
Rys. 9

- (ang.) — Mach reflection (of shock wave)
(ros.) — маховое отражение

27. Adiabata Hugoniota

Adiabata uderzeniowa

Określenie: zależność funkcjonalna pomiędzy stosunkiem ciśnień za i przed czołem zgęszczania uderzeniowego a stosunkiem odpowiednich gęstości.



Rys. 10

- | | |
|---------|----------------------|
| (ang.) | — Hugoniot curve |
| (niem.) | — Hugoniot-Kurve (f) |
| (ros.) | — ударная адиабата |
| | — адиабата Гюгонио |

PRZEGLĄD TECHNICZNY — organ główny Naczelnej Organizacji Technicznej — Nr 9/53 zawiera następujące artykuły:

- Inżynierowie i technicy — naprzód na pierwszą linię walki o wykonanie narodowego planu gospodarczego — inż. D. Gajewski.
 - O lepszą gospodarkę materiałami w budownictwie — A. Trawiński.
 - Przewodząca technika i industrializacja w budownictwie polskim i jej najbliższe perspektywy rozwojowe — inż. M. Zajbert.
 - Typizacja w projektowaniu budownictwa — dr J. Goryński.
 - Uciepłownienie — inż. M. Szopa.
 - Tarcze czy taśmy — inż. K. Heller.
 - Rewolucjonista nauki — Mikołaj Kopernik — inż. R. Sosiński.
- Sprawy organizacyjne NOT i stowarzyszeń. Wśród książek i wydawnictw. Kłonica. Biuletyn CIDNT. Przegląd Dokumentacyjny CIDNT. Biuletyn GUM.

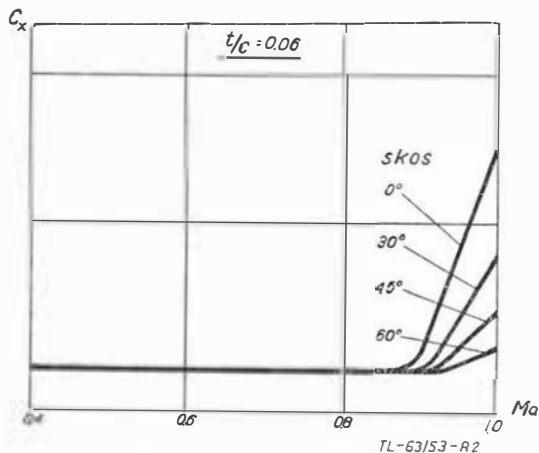
Nowości techniczne

Skrzydło o zmiennym skosie

Stosowanie silnie skośnych skrzydeł, jakie widzimy na nowoczesnych samolotach odrzutowych, stwarza szereg trudności. Pozwalają one wprowadzić na zwiększenie krytycznej liczby Macha, umożliwiając osiągnięcie wielkich prędkości, mają jednak pewne wady z punktu widzenia aeroelastyczności i aerodynamiki.

Jeżeli na silnie skośnym skrzydle wychylimy np. lotkę w dół, to ponieważ w tym przypadku środek parcia lotki leży daleko w tyle za osią skręceń skrzydła, wywoła on skręcenie skrzydła w tym sensie, że kąt natarcia końca skrzydła ulegnie zmniejszeniu. Skutkiem tego działanie lotki będzie osłabione względnie wręcz anulowane. Zjawisko to będzie się potęgowało w miarę wzrostu prędkości lotu.

Oderwanie strug przy dużych kątach natarcia w przypadku długich skośnych skrzydeł zaczyna się na końcach wskutek pojawienia się skierowanych na zewnątrz składowych opływu. Jest to zjawisko bardzo niekorzystne, gdyż prowadzi do zmniejszenia stateczności poprzecznej, nie pozwalając na uzyskiwanie małych prędkości przy lądowaniu.



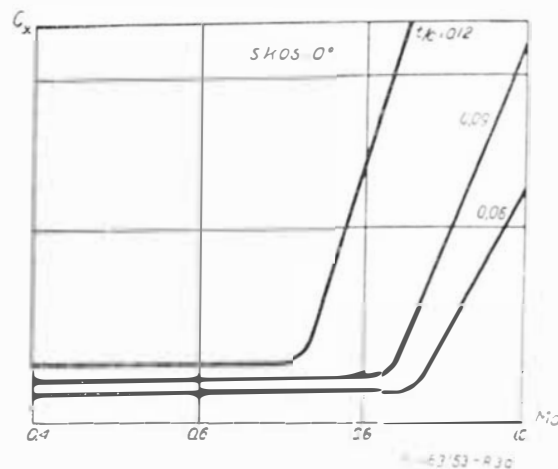
Rys. 2. Wpływ skosu na krytyczną liczbę Ma

Tych wyżej wskazanych wad skrzydła ukośnego można uniknąć przez zastosowanie zmiennego skosu (patrz rys. 1). Środek parcia na locie leży tu zamiast za — przed osią skręceń, co w konsekwencji prowadzi do spotęgowanego działania lotek. Jednocześnie utrzymanie małego kąta skosu w skrajnych częściach skrzydła zapobiega przedwczesnemu odrywaniu strug. Ze względów wytrzymałościowych oraz dla pomieszczenia wewnątrz skrzydła zespołu napędowego, paliwa i ładunku, idąc w kierunku płaszczyzny symetrii profil musi być coraz grubszy, toteż dla utrzymania możliwie dużej krytycznej liczby Macha skrzydła przy zgrubieniu profilu zwiększa się również kąt skosu. Ta zmienność może być dokonana w sposób ciągły lub też skokami — patrz rys. 1 — co jest korzystne ze względów konstrukcyjnych i technologicznych. I tak część zewnętrzna skrzydła może mieć profil o grubości poniżej 6% przy skosie około 10°, przechodząc w grubość 9% i skos 30° w partii pośredniej — aż do 12% i skosu 45° w partii środkowej. W takim układzie można otrzymać krytyczną liczbę Ma skrzydła ok. 0,9. Dla orientacji podajemy na wykresach (rys. 2 i 3) wpływ kąta skosu oraz grubości procentowej profilu na krytyczną liczbę Ma skrzydła.

Duża rzepiętość skrzydła (wydłużenie) jest korzystna ze względu na otrzymanie niskiego współczynnika oporu indukowanego, co ma duże znaczenie w przypadku silnie obciążonych

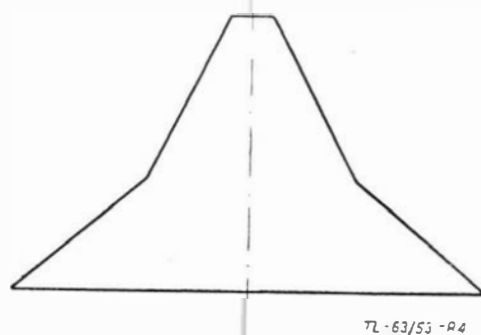
dalekodywansowych samolotów, latających na dużych wysokościach.

Innym przykładem stosowania zmiennego skosu może być układ przedstawiony na rys. 4, który można by nazwać „podwójną deltą”. Użytkuje się tu pełne korzyści aerodynamiczne z tym, że zjawiska aeroelastyczne nie mają tu tego znaczenia co przy skrzydłach o dużym wydłużeniu.



Rys. 3. Wpływ grubości procentowej profilu i skosu na krytyczną liczbę Ma

Konstrukcyjnie skrzydła o zmiennym skosie są nieco cięższe niż skrzydła o stałym skosie. Poza wyżej wymienionymi zaletami skrzydło o zmiennym skosie ma jeszcze inne — dużą

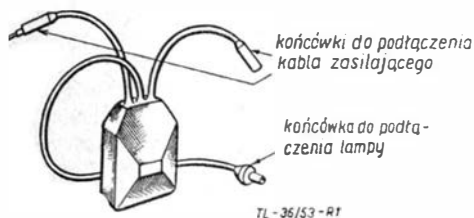


Rys. 4. Skrzydło o obrysie „podwójnej delty”

wysokość i położenie głównego dźwigar z przodu pozwala na umieszczenie zespołu napędowego za nim, dzięki czemu np. w czasie pożaru dźwigar jest mniej narażony. Również łatwo w tej partii umieścić chowane podwozie.

Transformatory stosowane w oświetleniu lotnisk

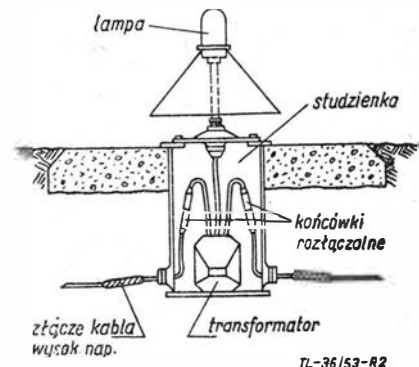
Powszechnie znane są trudności z transformatorami służącymi do zasilania lamp, oświetlających pasy startowe. Lampy takie są umieszczane w ziemi; transformatory spełniające dwa



Rys. 1 — Transformator całkowicie otulony gumą

zadania: pozwalają na zmniejszenie napięcia w obwodzie samych lamp, co zwiększa bezpieczeństwo obsługi oraz wskutek istnienia dwóch obwodów — przepalenie lampy, czy też uszkodzenie jej obwodu nie pociąga za sobą wypadnięcia całej linii przy zastosowaniu tylko jednego kabla do zasilania, co z kolei daje duże oszczędności i jest powszechnie stosowane. Trudności z transformatorami polegają na tym, że wilgoć przedostaje się do ich wnętrza i powoduje zwarcia. Przyczynia się do tego samo umieszczanie transformatorów w studzienkach w ziemi. Grzanie się urządzenia pod prądem i stygnięcie po wyłączeniu oświetlenia powoduje ciągłe jego rozszerzenie i kurczenie się. W tych

warunkach łatwo powstają szczeliny. Ulepszenie polega na tym, że transformator wraz z odprowadzeniami jest otulony gumą tak, że zespół stanowi hermetycznie zamkniętą całość. Końców-



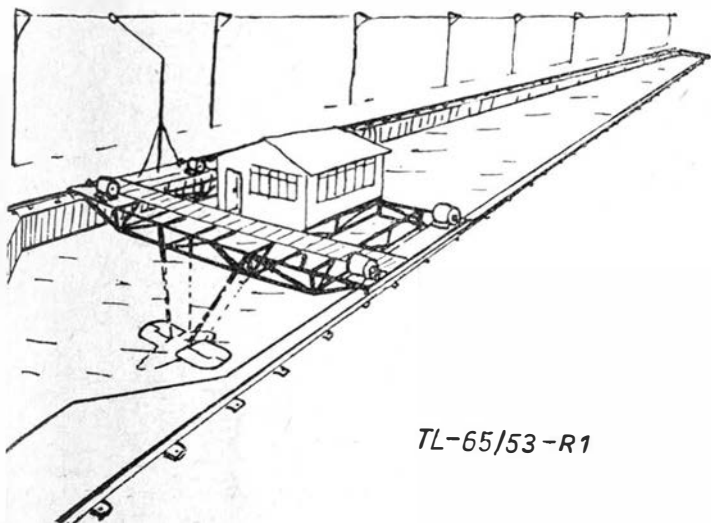
Rys. 2 — Przykład instalacji transformatora w studzience

ki odprowadzeń są również uszczelnione. Miejsca połączeń z kablem zasilającym i z zespołem lampy nie nastęrczają większych trudności. Taki transformator nie wymaga żadnej obsługi. W razie uszkodzenia może być łatwo wymieniony. Wilgoć — główny wróg — nie może się przedostać poprzez płaszcz gumowy.

R. L.

Realizowanie prób statycznych w kanale hydrodynamicznym

Zadaniem prób statycznych jest doświadczalne wyznaczenie wytrzymałości konstrukcji. Przy obliczeniach muszą być stosowane uproszczone schematy statyczne w pewnym tylko stopniu oddające rzeczywiste warunki pracy danego elementu czy zespołu konstrukcyjnego. Toteż nie zawsze obliczenie pozwala na wystarczająco dokładne ustalenie wytrzymałości i dopiero próba statyczna rozstrzyga wątpliwości. W powszechnie stosowanych metodach realizowania prób statycznych konstrukcja zostaje obciążona siłami skupionymi wyznaczonymi według określonych w przepisach przypadków obciążeń. W rzeczywistości jednak obciążenia rozkładają się w sposób ciągły, a przypadki obciążeń według przepisów tylko z pewnym przybliżeniem odpowiadają aktualnym warunkom pracy konstrukcji. Siły wprowadzone za pośrednictwem np. układów dźwigni czy rolek są stopniowo zwiększane, przy czym mierzy się odkształcenia i naprężenia występujące w konstrukcji.



Rys. 1. Kanal hydrodynamiczny — próba statyczna usterzenia samolotu

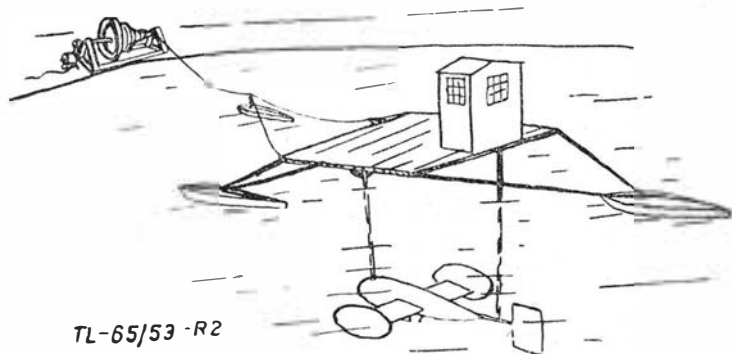
Tych mankamentów można uniknąć stosując do prób statycznych holowanie badanej konstrukcji w kanale hydrodynamicznym. Siły działające na bryłę poruszającą się w ośrodku płynnym zależą od ciśnienia dynamicznego, wyrażającego się

wzorem $q = \frac{\rho \cdot V^2}{2}$. Jeżeli pewien element samolotu, np. skrzydło, będzie się poruszało w powietrzu o gęstości $\rho_p = 0,125 \text{ kg sek}^2/\text{m}^4$ z prędkością V_p , to to samo ciśnienie dynamiczne uzyskamy, gdy skrzydło zanurzone całkowicie w wodzie, której

gęstość wynosi $\rho_w = 102 \frac{\text{kg sek}^2}{\text{m}^4}$, nadamy prędkość

$$V_w = V_p \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_w}} = V_p \sqrt{\frac{0,125}{102}} = V_p / 28,6$$

I tak prędkości lotu 650 km/h odpowiada prędkość holowania w wodzie 22,7 km/h, nie jest to więc prędkość duża i można ją łatwo zrealizować; należy zwrócić uwagę, że moc potrzebna zmniejsza się również w stosunku 1 : 28,6.



Rys. 2. Realizowanie próby statycznej na jeziorze — badanie osłony karkiny samolotu

Obciążenie rozkłada się na powierzchnię badanego elementu w ten sam sposób jak i w warunkach lotu, unikamy więc obliczeń i nieścisłości, wynikających ze skupionego wprowadzania obciążeń aerodynamicznych. Chcąc uzyskać określony współczynnik obciążenia zwiększamy odpowiednio prędkość lub też kąt natarcia. W czasie holowania pod obciążeniem konstrukcja się odkształca, przy czym rozkład obciążeń przystosowuje się do nowych warunków opływu samoczynnie. Ma to zasadnicze znaczenie w tych przypadkach, gdzie element konstrukcyjny jest wystawiony na bezpośrednie działanie sił aerodyna-

micznych i ma ograniczoną sztywność. Badanie w kanale hydrodynamicznym pozwala na uwzględnienie obydwu tych czynników, co przy stosowaniu zwykłych prób statycznych nie da się uzyskać w sposób zadowalający. Zwróćmy uwagę na okoliczność, że w wodzie na płacie powstają nad- i podciśnienia identyczne jak w warunkach lotu, a realizowanie tego za pośrednictwem urządzeń mechanicznych zwykłych prób statycznych jest praktycznie niewykonalne.

Metoda hydrodynamiczna wykazuje swe zalety przy takich elementach jak skrzydła, usterzenie, osłony kabin, silników itp., gdzie decydują siły powierzchniowe aerodynamiczne oraz własności aeroelastyczne elementów. Ma ona również i swoje ograniczenia, mianowicie realizacja sił masowych napotyka na duże trudności, warunki lotu mogą być odwzorowywane do takich prędkości, przy których ściśłość powietrza może być pominięta — tak więc warunki lotu przy dużych liczbach Macha nie

mogą być uzyskiwane. Dalsza trudność to powstawanie kawitacji w miejscach, gdzie w czasie obływu tak czy inaczej znaczące podeśnienie. Zakres występowania kawitacji można przesunąć przez głębsze zanurzenie holowanego przedmiotu.

Próby mogą być przeprowadzane w warunkach wlotu, stosowanych do badań hydrodynamicznych lub też w większym zbiorniku wodnym. W przypadku pierwszego przypadku badany jest przymocowany do wózka pływającego po powierzchni kanału, w drugim przypadku na jeziorze lub t. p. umieszcza się z sondą i z punktem, z którym jest połączony badany przedmiot, a sondy jest holowana np. przy pomocy liny i wciągnięta na brzegu. Widzimy więc, że takie próby nie są łatwiejsze niż wywołane. Pomiaru odkształceń i napięć można przy tym wykonywać zwykłymi sposobami, jakkolwiek jest to połączone z pewnymi trudnościami.

R. L.

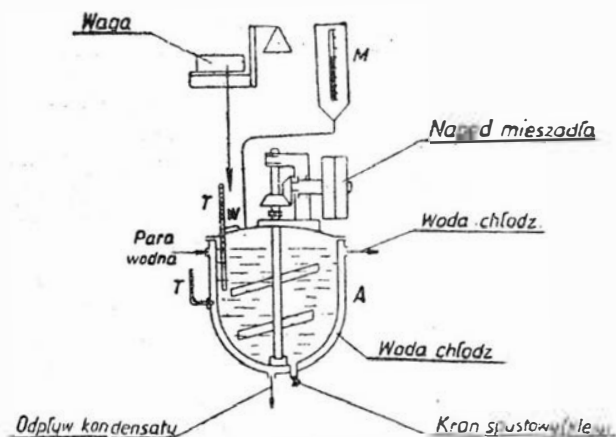
Przeglądamy usprawnienia...

Pod wskazanym ogólnym tytułem zamieszczamy zarówno usprawnienia i wynalazki, jak i udoskonalenia techniczne, zaczerpnięte z Wydawnictwa Urzędu Patentowego P. R. L. Po tytule opisu umieszczamy w nawiasach następujące informacje: numer klasyfikacji, której należy temat usprawnienia lub udoskonalenia według klasyfikacji patentowej, numer serii, to jest dziedziny techniki, do której zaliczone jest usprawnienie lub udoskonalenie, cyfrowane oraz numer kolejny drukowanego opisu usprawnienia lub udoskonalenia, przy czym usprawnienia posiadają numer poprzedzony literą O, udoskonalenia zaś — numer z literami OU. Umieszczone dalej, poza tymi informacjami, w nawiasach, oznacza twórcę pomysłu.

Klej bakelitowy z krezolu surowego P. P. II.

(Kl. 12q; Seria 4; Nr OU-69) Janusz Montwill, Eugeniusz Karwowski, Grzmiśław Krasowski, Antoni Rożkiewicz.

Klej bakelitowy do wyrobu sklejk wodoodpornej produkowano dotychczas prawie wyłącznie z fenolu, podczas gdy pokrewne mu chemicznie krezole nie miały w tym przypadku zastosowania z powodu braku dokładnej receptury technicznej. Wzrastające zapotrzebowanie na fenol zmusza jednak do coraz oszczędniejszej gospodarki tym surowcem. W poszukiwaniu bardziej dostępnego surowca i biorąc pod uwagę, że nasz przemysł chemiczny nie dysponował dużymi ilościami tzw. krezolu metala (o zawartości 38 — 40% metala), skoncentrowano prace nad przystosowaniem procesu kondensacji do właściwości krezolu surowego P. P. II o zawartości 29 — 30% metakrezolu i wykorzystaniem w ten sposób łatwo dostępnego surowca. Po przeprowadzeniu wielokrotnych próbnych kondensacji i badań wytrzymałościowych otrzymano z krezolu surowego P. P. II klej bakelitowy równorzędny klejowi produkowanemu dotychczas z fenolu.



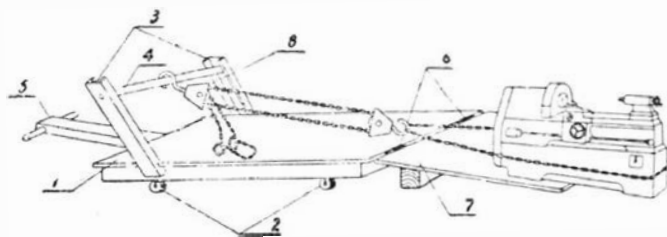
Opis produkcji. Do autoklawu A z urządzeniem do chłodzenia według załączonego rysunku wlewamy przez wlot W 115 kg roztworu sodu kaustycznego, zawierającego 27 kg wodorotlenku sodowego technicznego 98%, rozpuszczonego w 88 kg wody. Następnie wlewamy 172 kg krezolu surowego o zawartości 30% metakrezolu. Po wlewniu krezolu wlewa się dodatkowo 65 kg wody. Za pomocą mieszadła miesza się dokładnie zawartość w

autoklawie i dodaje 165 kg formaliny 40%. Po ponownym dokładnym wymieszaniu rozpoczynamy podgrzewanie tak, aby wzrost temperatury o 10°C następował po 10 minutach. Po osiągnięciu temperatury 50°C masę w autoklawie studzimy do temperatury 30°C i pozostawiamy minimum na 6 godzin (można pozostawić na noc). Po upływie tego czasu rozpoczynamy podgrzewanie tak, aby wzrost temperatury o 10°C następował w ciągu 10 minut. Przy temperaturze 85°C dodajemy 3,8 kg sodu amoniakalnego, zamykamy ogrzewanie i powoli mieszamy. Po 6 — 7 minutach kocioł osiąga temperaturę 89°C. Puściliśmy wtedy do płaszcza chłodzącego przez 30 — 40 sekund wodę tak, aby utrzymać temperaturę 89 — 91°C przez 8 minut. Po upływie tych 8 minut i chłodzeniu do 85°C dlewamy 10 kg formaliny zmieszanej z 20 kg wody, co powoduje spadek temperatury do 78 — 80°C. Podgrzewamy zawartość do 85°C, utrzymując temperaturę przez 2 — 3 minut, po czym chłodzimy intensywnie w ciągu 15 minut do 70°C. Dalsze chłodzenie regulujemy tak, aby osiągnąć temperaturę 50°C po 120 minutach. Gotowy produkt o temperaturze 50°C zlewamy do opakowań (beczki żelazne) i przeprowadzamy badania według norm na kleje bakelitowe.

Wózek do transportu obrabiarek.

(Kl. 81e; Seria 14; Nr O-1044) Jan Szafranski.

Dotychczas transport wewnętrzny obrabiarek w warsztacie reperacyjnym odbywał się tak, że pod maszynę wprowadzano rury lub pręty i przysuwano ją w ten sposób. Sposób ten pochłaniał wielką ilość roboczogodzin, jak również wymagał wielkiego wysiłku zajętych przy transporcie pracowników, zwłaszcza ze względu na następującą trudność podłogi warsztatu.



W celu ułatwienia transportu obrabiarek zastosowano w myśl usprawnienia wózek transportowy, uwidoczniiony na rysunku. Wózek jest wykonany w postaci platformy 1, posiadającej cztery koła jezdne 2. Do boków platformy 1 przymocowane są lekko pochylone ku przodowi wózka ceowniki 3, połączone ze sobą poprzeczką 4. Z przodu wózka przymocowany jest dyszel 5.

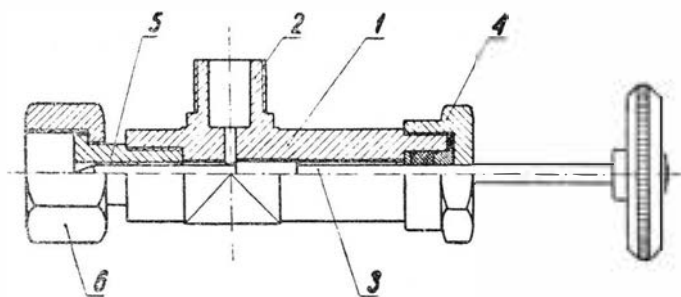
slużący do ciągnięcia wózka przez pracowników, a z tyłu przymocowana jest za pomocą zawias 6 pchylnia 7, po której wciąga się obrabiarkę za pomocą podnośnika łańcuchowego 8, zaczepionego o poprzeczkę 4. Po zastoscwaniu wózka czas transportu skrócono czterokrotnie, a liczbę pracowników zmniejszono o 2/3.

Zawór dodatkowy do opróżniania butli z ciekłym gazem z uszkodzonym zaworem

(Kl. 47g; Seria 14; Nr O-1049) Aleksander Luła, Jan Janas.

W przypadku uszkodzenia zaworu butli z ciekłym gazem (np. w razie urwania się wrzeciona zaworu), butlę taką opróżnia się odgazowując jej zawartość w powietrze po przebiegu ostrym narzędziem blaszki bezpiecznika, znajdującego się na zaworze butli. W myśl usprawnienia zawartość butli z uszkodzonym zaworem odgazowuje się do rurociągu, połączanego z gazomierzem po wkręceniu na bezpiecznik zaworu dodatkowego o konstrukcji uwidocznionej na rysunku. Zawór dodatkowy składa się z kadłuba 1 zaopatrzonego w końcówkę 2 do dołą-

czenia do rurociągu, oraz z iglicy 3, uszczelnionej w kadłubie 1 nakrętką 4 i szczeliwem. Do przymocowania zaworu dodatkowego do bezpiecznika służy końcówka 5 oraz nakrętka 6. Po



założeniu zaworu dodatkowego na bezpiecznik oraz dołączeniu końcówki 2 do rurociągu przebiega się ostrzem iglicy bezpiecznika w celu stworzenia drogi dla gazu, który uchodzi z butli do rurociągu bez strat.

S. M.

Na półkach księgarskich

Zadacznik po aerodynamice samolotu, B. T. Goroszczenko, A. Ja. Zukow, L. W. Klimienko, E. B. Mikirtumow, G. N. Fiedorow, Oborongiz, 1952 r., stron 271.

Jest to drugie rozszerzone wydanie (pierwsze — tylko 128 stron) pierwszej z trzech części zbiorowej pracy, wydanej poprzednio w latach 1946-48. Część pierwsza zawierała w pierwszym wydaniu 250 zadań z zakresu obliczeń aerodynamicznych samolotów z silnikami tłokowymi. Drugie wydanie zostało rozszerzone do 443 zadań, z czego 36% zadań dotyczy samolotów z silnikami turbodoładowymi, 7% zadań dotyczy samolotów z silnikami turbośmigłowymi, 30% zadań omawia zagadnienia samolotów z silnikami tłokowymi, zaś 27% omawia zagadnienia ogólne. Treść książki ujęta jest w siedmiu rozdziałach, z czego sześć rozdziałów zawiera zadania zgrupowane następująco: I. Lot poziomy — 152 zadań; II. Lot wznoszący — 90 zadań; III. Schodzenie z wysokości — 25 zadań; IV. Zasięg i czas lotu — 101 zadań; V. Wykreślna metoda obliczeń aerodynamicznych — 35 zadań; VI. Rozdział ogólny — 40 zadań. Rozdział siódmy zawiera szczegółowe rozwiązanie 116 trudniejszych zadań, podając każdorazowo tok obliczenia, użyte wzory i wyniki liczbowe. Jako załącznik podana jest tabela atmosfery wzorcowej wraz z sześcioma kolumnami stosunków gęstości, podniesionych do najczęściej spotykanych w zadaniach potęg.

L. S.

Pomiar mocy silników spalinowych, mgr inż. Tadeusz Pietrzkiewicz, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1953 r., stron 120.

Omawiana książka zawiera szereg informacji z tytułowego zagadnienia, które mogą przydać się także pracownikom silnikowego przemysłu lotniczego. Omówiono w treści cechy i właściwości silników spalinowych (tłokowych), zasady pracy hamulców, opisano hamulce powietrzne, mechaniczne, wodne i elektryczne. Objąsniłono zasady przeprowadzania pomiaru momentu obrotowego, prędkości obrotu i zużycia paliwa oraz błędy pomiaru. Opisano urządzenie i wyposażenie hamowni oraz zasady bezpieczeństwa pracy na hamowni. Wskazano charakterystyki hamulców oraz dane odnośnie wyboru hamulca.

S. M.

Kurs ciepłych dwigateli, N. W. Inozimcew, Oborongiz, 1952 r., stron 471.

Jest to systematyczny kurs silników ciepłych zgodnie z programem wyższych szkół, z przeznaczeniem dla instytutów lotniczych. W treści ujęte są podstawowe zagadnienia teorii i obliczania nowoczesnych silników ciepłych, podano również krótki przegląd konstrukcyjnych form silników. Całość dzieli się na pięć części. Pierwsza — silniki spalinowe, omawia paliwa, procesy spalania, obliczenia silników, regulację, charakterystyki i konstrukcję. Druga — maszyny parowe, zawiera krótką teorię i obliczanie maszyn parowych, rozdział pary, charakterystyki i konstrukcję. Trzecia część — turbiny parowe, posiada rozdziały, jak wykresy pracy turbin akcyjnych i reakcyjnych, charakterystyki i konstrukcję. Część czwarta, to opis turbin gazowych, podział turbin na typy, procesy zachodzące w turbinach, ich charakterystyki i konstrukcję. Ostatnia część omawia silniki rakietowe na paliwo płynne, przelotowe silniki odrzutowe, silniki turbinowo-odrzutowe i krótki przegląd konstrukcji. Książka przeznaczona jest dla studentów wyższych szkół technicznych lotniczych, może też być wykorzystana przez pracowników z dziedziny silników.

L. S.

Zbiór konwencji lotniczych, redagował zespół pracowników Studium Prawa Lotniczego i Zag. Gosp. Lotn. pod kierownictwem prof. dra C. Berezowskiego, Wydawnictwa Komunikacyjne, 1951 r., stron 132.

W zbiorze tym zawarte są konwencje: urządzająca żeglugę powietrzną, Paryż 1919 r.; ujednolicienia przewozu lotniczego, Warszawa 1929 r.; sanitarna, Haga 1933 r.; prawidła zajęcia zabezpieczającego statków powietrznych, Rzym 1933 r.; dotycząca szkół wyrządzanych na powierzchni ziemi osobom trzecim, Rzym 1933 r.; protokół dodatkowy do konwencji poprzedniej, Bruksela 1938 r.; w sprawie prawideł ratownictwa na morzu wobec statków powietrznych, Bruksela 1938 r.; dotycząca międzynarodowego lotnictwa cywilnego, Chicago 1944 r.; o międzynarodowym uznaniu praw na statku powietrznym, Genewa 1948 r. Treść może zainteresować pracowników komunikacji lotniczej.

L. S.

Poradnik dla użytkowników i wytwórców narzędzi mierniczych, praca zbiorowa, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1952 r., stron 418, format B6.

Omawiany poradnik jest wydany w ramach Biblioteki Metrologicznej Głównego Urzędu Miar i jest przeznaczony dla legalizatorów, personelu

kontroli technicznej, wytwórci narzędzi mierniczych i użytkowników tych narzędzi. Wiadomości zawarte w nim mogą być z pożytkiem wykorzystane przez pracowników lotnictwa, zwłaszcza w dziale osprzętu lotniczego. Treść, podzielona na dwanaście rozdziałów, zawiera następujące tematy: administracja miar, ogólne wiadomości o narzędziach mierniczych, jednostki miar, narzędzia miernicze do pomiaru długości, narzędzia do mierzenia pól i objętości, przyrządy do pomiaru czasu, przyrządy miernicze do pomiarów masy i gęstości, termometry, manometry, wakuometry, manowakuometry sprężynowe, elektryczne narzędzia miernicze. Liczne (110) tablice i wykazy oraz skorowidz rzeczowy dopełniają całości pracy.

S. M.

Meteorologiczskie przyrządy (riemont i regulacja), A. I. Nowikow, Gidrometieiozdat, 1952 r., stron 106.

W trzech kolejnych rozdziałach podane są zasady naprawy przyrządów do pomiarów ciśnienia atmosferycznego, temperatury i wilgotności powietrza. Opisane też zostało zasadnicze oprzyrządowanie nieodzwonne przy naprawie meteorologicznych przyrządów, jak również podane zostały wskazówki wykonania specjalnego oprzyrządowania, ułatwiającego naprawę i badanie przyrządów. Podano też metody regulacji czułości przyrządów. Treść uzupełniona dodatkami, zawierającym szereg wskazówek praktycznych, instrukcji i tabel, dotyczących samych przyrządów i ich napraw. Książka przeznaczona jest dla pracowników wykonujących naprawy i regulację przyrządów meteorologicznych.

L. S.

Dinamiczka meteorologia, K. T. Łagwinow, Gidrometieiozdat, 1952 r., stron 118.

W treści podane są w formie zwięzłej zasadnicze zagadnienia meteorologii dynamicznej, przy czym specjalną uwagę poświęcono wyjaśnieniu fizycznego znaczenia podanych wzorów, stosunków i równań. Ułatwia to specjalistom — synoptikom samodzielne przestudiowanie głównych rozdziałów meteorologii dynamicznej. W dziesięciu kolejnych rozdziałach podane są: termodynamika atmosfery, statyka atmosfery, jej kinematyka i dynamika, turbulencja atmosferyczna i tarcie wewnętrzne, energetyka atmosfery, ogólna cyrkulacja i wyznaczenie pola barometrycznego i temperatury metodą I. A. Kibela. W treści uwzględnione są wyniki ostatnich badań, dotyczących zagadnień meteorologii dynamicznej. Książka może być wykorzystana jako podręcznik szkolny, lub dla poszerzenia wiadomości meteorologów synoptyków i pracowników stacji badawczo-meteorologicznych.

L. S.

Mechanika a fizyczne właściwości drewna, I. Szvazek technologie drewna, J. Lexa, V. Neczasy, J. Pacit, M. Tesarzova i J. Sztolka, Prace — Wydawnictwo ROH, 1952 r., stron 433 + 4 tabele.

Zbiórowa ta praca w obszernych jedenastu rozdziałach podaje kolejno: budowę wewnętrzną drewna, ciężar właściwy, wilgotność i jej wpływ na własności drewna, ciepłoizolacyjne własności drewna, własności elektryczne, akustyczne, tarcie w drewnie, sprężystość, własności mechaniczne, przepisy i normy prób. Ostatni rozdział podaje najnowsze dane fizycznych i mechanicznych własności drewna. Tekst uzupełniony jest 267 rysunkami i wykresami oraz 85 tabelami, zawierającymi liczne dane liczbowe. Jako dodatek załączone są cztery tabele, zawierające dane własności mechanicznych 75 gatunków drewna. Książka, dzięki zebraniu i opracowaniu wszechstronnemu materiałowi, jest cennym źródłem danych dla wszelkich dziedzin konstrukcji drewnianych.

L. S.

Driewiesina małoizuczonych poród, prof. Ł. M. Pierielugin, Goslesbumizdat, 1952 r., stron 111.

Broszura ta zawiera zestawienia własności chemicznych, fizyczno-mechanicznych i budowy wewnętrznej rzadszych i dotychczas nie zbadanych gatunków drewna, a to: orzecha pistacjowego, graba, iwy białej, leszczyny, sekwoi i korkowych narostów na korze brzości. Badania te zostały podyktowane poszukiwaniami nowych gatunków drewna do celów technicznych. W wyniku badań podane zostały w treści liczne tabele z wartościami własności fizycznych, chemicznych i mechanicznych. Treść uzupełniają zdjęcia mikroskopowe i rysunki schematyczne budowy wewnętrznej drewna. Dopowiedzeniem broszury jest wstęp omawiający działalność naukową Autora z okazji 60 rocznicy urodzin i 36 lat pracy zawodowej, dodatek zaś na końcu zawiera wykaz prac Autora, ogłoszonych drukiem w okresie od roku 1918 do 1951.

L. S.

Dr inż. ZBIGNIEW BRZOSKA

621.252 620.1743

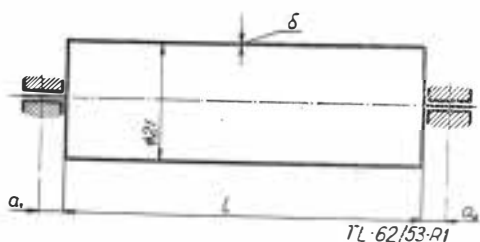
Obroty krytyczne krótkich bębnow

Przy konstrukcji wielostopniowych sprężarek osiowych do lotniczych silników odrzutowych występuje jako czołowe zagadnienie wytrzymałościowe — z gładn. nie lekkiej konstrukcji wirnika wielowienicowego, przybierającego zazwyczaj postać bębna

W Instytucie Lotnictwa opracowano poniższą metodę obliczania krutych ścianek —
cienkościennych bębnow w. w. typu. Redakcja Wzł. Lot.

Wstep

Spotykane w technice rozwiązania wielostopniowych turbin i sprężarek osiowych posiadają niejednokrotnie, jako jeden z zasadniczych elementów, cienkościenny bęben, na którym osadzone są łopatki turbiny lub sprężarki. Bęben taki osadzony jest na swoich końcach w łożyskach za pośrednictwem dwóch tarcz (rys. 1), przy czym zazwyczaj odległości a_1 i a_2 są tak małe,



Ryś. 1

że można założyć $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$. Ponadto zazwyczaj stosunek $\frac{l}{d}$ zawiera się w granicach $0,7 < \frac{l}{d} < 4$. Ta ostatnia proporcja geometryczna powoduje, że krytyczna prędkość kątowa wyznaczona według normalnych wzorów [bibl. 1 ÷ 3] odbiega od rzeczywistej prędkości krytycznej. Główna przyczyna rozbież-

władności" wal znajduje się w zakresie ponadkrytycznym, wreszcie w przypadku ich równości zachodzi zjawisko obrótów krytycznych. W tym ujęciu metoda wyznaczania obrótów krytycznych jest w zasadzie identyczna z zagadnieniem wyznaczania krytycznych stanów równowagi.

W wirującym idealnie wyważonym bębnie naturalną postacią równowagi jest ta, przy której oś geometryczna bębna jest linią prostą. W tym przypadku panują w bębnie siły równowagi, których wielkość N_{yz} odniesiona do jednostki długości, kreślona jest jako

$$N_{VI} = \frac{\gamma \cdot \omega^2 r^2 \delta}{g} \quad [1]$$

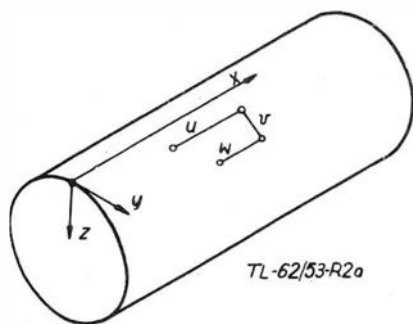
które powodują przemieszczenie promieniste w/r równe

$$w_I = -\frac{N_y I r}{E \delta} - \frac{\gamma (or)^2 r}{E g} \quad (2)$$

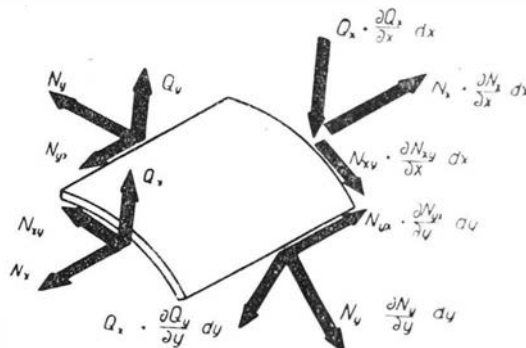
(w mierzone jako dodanie w kierunku białego)

Zakłada się przy tym, że tarcze brzoświatowe nie odpowiadają kształtowi kanału, który ma być utworzony. W miejscu połączenia ich z bębniem, dzięki czemu nastąpiłoby odwrócenie *Ny* są jedynymi siłami wewnątrz kanału.

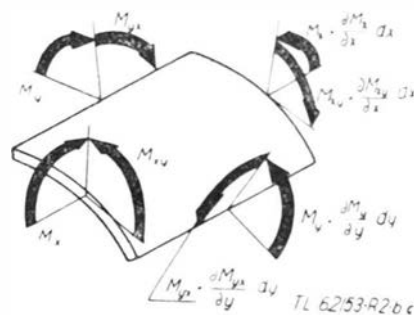
Odpowiadający stanowi podstawowa wartość N_M stan przemieszczeń w M usunięty jest z dalszych rozważań przez



Rys. 2a



Rys. 2b



Rys. 2c

ności tkwi w zaniedbaniu wpływu naprężeń stycznych związanych z tym odkształceniem przekroju poprzecznego.

Równania zasadnicze

Wyznaczenie krytycznej prędkości kątowej ω_{kr} można przeprowadzić kilkoma metodami. Jedną z metod jest badanie zachowania się wirującego wału, idealnie wyważonego, przy małych wychyleniach od postaci prostej. Przy takim wychyleniu powstają w wałe dodatkowe siły wewnętrzne, przeciwdziałające tzw. „siłom bezwładności”, wynikającym również z tego wychylenia. Stosunek wielkości obydwu rodzajów sił decyduje o stadium, w jakim znajduje się wirujący wał; mianowicie w przypadku, gdy przeważają siły wewnętrzne, wał znajduje

się poniżej prędkości krytycznej, gdy przeważają „siły bez-
obrotowe nowego układu współrzędnych na powłoce odkształco-
nej już przez działanie sił N_{xy} .”

Jeśli obecnie poszczególne punkty powierzchni środkowej powłoki, jaką jest cienkościenny bęben, doznają dodatkowych bardzo małych przemieszczeń u, v, w , (rys. 2a), to w elemencie powłoki (rys. 2b, c) powstają siły poprzeczne Q_x, Q_y , momenty gnące i skręcające M_x, M_y, M_{xy}, M_{yx} , oraz siły w płaszczyźnie stycznej do powierzchni środkowej N_x, N_y, N_{xy}, N_{yx} . Wszystkie te siły są odniesione do jednostki długości i są proporcjonalne do wielkości dodatkowych przemieszczeń, względnie ich pochodnych a wobec tego są one wielkościami bardzo małymi.

Dodatkowe przemieszczenia wpływają również na zmianę sił bezwładności, których wielkość odniesiona do jednostki powierzchni środkowej w stanie odkształconym wynosi *)

$$\frac{\gamma \omega^2 \delta r}{g} \left(1 - \frac{w}{r} \right) \quad [3]$$

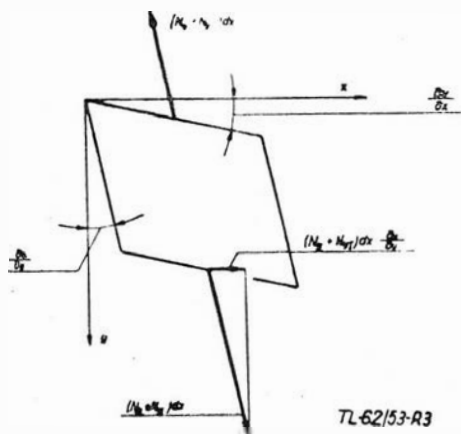
W równania równowagi, których ułożenie jest pierwszym etapem na drodze do rozwiązania zagadnienia, wchodzi nie tylko człony przedstawiające przyrosty względnie wypadkowe z sił wewnętrznych dodatkowych ($Q_x, Q_y, M_x, M_y, M_{xy}, \dots, N_{yx}$) lecz również czony przedstawiające iloczyn sił wewnętrznych układu podstawowego i przemieszczeń u, v, w , względnie pochodnych tych przemieszczeń. Przyczyną, zmuszającą do uwzględnienia członów drugiego rodzaju jest to, że jak zaznaczono powyżej, czony pierwszego rodzaju są bardzo małe w porównaniu do sił wewnętrznych układu podstawowego, tak że iloczyny tych drugich sił i przemieszczeń dodatkowych, względnie ich pochodnych, są tego samego rzędu.

Równanie równowagi w kierunku osi x , tj. w kierunku tworzących, brzmi następująco (rys. 2 b):

$$\left(N_x + \frac{\partial N_x}{\partial x} dx \right) dy + \left(N_{yx} + \frac{\partial N_{yx}}{\partial y} dy \right) dx - N_x dy - N_{yx} dx + N_{yI} dx \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dy = 0;$$

przy czym pierwsze cztery składniki są oczywiste z rysunku 2 b. Składnik piąty, tj. $N_{yI} dx \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dy$ wynika z rozpatrzenia

odkształconego wskutek działania naprężeń stycznych, elementu powłoki w widoku wzdłuż osi z (rys. 3).



Rys. 3

Siły wewnętrzne ($N_y + N_{yI}$), N_x , N_{xy} , N_{yx} , działają bowiem, jak to zazwyczaj zakłada się w teorii powłok, równolegle do boków odkształconego elementu, wskutek czego siła ($N_y + N_{yI}$) dx daje składową na oś x równą

$$(N_y + N_{yI}) dx \frac{\partial u}{\partial y}$$

a różnica tych sił składowych na obydwu równoległych bokach otrzymuje się w rezultacie różniczkowania względem y ; a mianowicie

$$\frac{\partial}{\partial y} (N_y + N_{yI}) dy \frac{\partial u}{\partial y} dx + (N_y + N_{yI}) \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} dx dy;$$

przy czym, ponieważ N_{yI} jest od y niezależne, to człon pierwszy jest wielkością małą wyższego rzędu, zaś z członu drugiego zostanie jedynie

*) Należy podkreślić, że jedynym czynnikiem wpływającym na zmianę wielkości obciążenia od „sił bezwładności” — jest dodatkowe przemieszczenie promieniowe w , natomiast nie mają wpływu odkształcenia liniowe powierzchni środkowej ϵ_x, ϵ_y , gdyż masa elementu nie ulega zmianie i po zwiększeniu wymiarów liniowych w stosunku $(1 + \epsilon_x)$ $(1 + \epsilon_y)$ zmniejsza w tym samym stosunku czynnik $(\gamma \delta)$.

$$N_{yI} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} dx dy$$

Należy podkreślić, że żadne inne czony ani od sił N_{yI} ani od „sił bezwładności” w równanie rzutów na oś x nie wchodzi, gdyż zarówno wypadkowa z sił N_{yI} tj. $N_{yI} dx \frac{dy}{r}$

jak również $\frac{\gamma \omega^2 \delta r}{g} \left(1 - \frac{w}{r} \right)$ są do osi x prostopadłe.

Po przeprowadzeniu uproszczeń i wprowadzeniu zamiast zmiennej y — zmiennej $y = r\theta$, gdzie θ jest kątem środkowym, otrzymuje się równanie

$$r \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{yx}}{\partial \theta} + \frac{\gamma \omega^2 r^2 \delta}{g} \left(\frac{\partial^2 u}{r \partial \theta^2} \right); \quad [4a]$$

Analogicznie otrzymuje się pozostałe równania rzutów na oś y i z , a mianowicie

$$\frac{\partial N_y}{\partial \theta} + r \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} - Q_y - \frac{\gamma \omega^2 r^2 \delta}{g} \left(\frac{\partial w}{r \partial \theta} \right) = 0; \quad [4b]$$

$$r \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial \theta} + N_y + \frac{\gamma \omega^2 r^2 \delta}{g} \left(\frac{\partial v}{r \partial \theta} + \frac{w}{r} + \frac{\partial^2 w}{r \partial \theta^2} \right); \quad [4c]$$

przy czym w równaniu 4 b pierwsze trzy składniki są bezpośrednio oczywiste z rys. 2b, natomiast składnik czwarty wynika wskutek tego, że wypadkowa z sił $N_{yI} dx$ na dwóch przeciwnych bokach i wynosząca

$$N_{yI} dx \frac{dy}{r} = \frac{\gamma \omega^2 r \delta}{g} dx dy$$

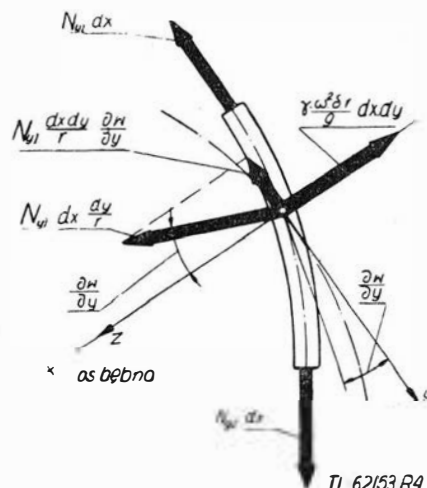
tworzy z osią z (rys. 4) kąt $\frac{\partial w}{\partial y}$ dając tym samym składową na oś y

$$\frac{\gamma \omega^2 r \delta}{g} dx dy \frac{\partial w}{\partial y}$$

skąd po uproszczeniach otrzymuje się czwarty składnik w równaniu [4b].

Analogicznie w równaniu 4c trzy pierwsze składniki wynikają z rzutów sił Q_x, Q_y, N_y na oś z . Składnik ostatni jest rzutem

na oś z wypadkowej z sił $N_{yI} dx$ oraz $\frac{\gamma \omega^2 \delta}{g} (r-w) dx dy$, a mianowicie



Rys. 4.

nowicie składowa sił $N_{yI} dx$ jest

$$N_{yI} dx \frac{dy}{r} \left(1 + \frac{\partial v}{\partial y} + r \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right),$$

gdyż wskutek odkształcenia powierzchni środkowej kąt środkowy

wy wynoszący przed odkształceniem $\frac{dy}{r}$ zmienia swą wartość o przyrost

$$\left[\frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] dy;$$

Równania równowagi momentów posiadają postać identyczną jak w teorii powłok [bibl. 4]. Ich postać ostateczna przedstawia się następująco:

$$Q_x = \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{yx}}{r \partial \Theta}; Q_y = \frac{\partial M_y}{r \partial \Theta} - \frac{\partial M_{xy}}{\partial x}; N_{xy} - N_{yx} + \frac{\partial M_{yx}}{r} = 0; \quad [5a, b, c]$$

Podstawiając z równań [5a] i [5b] wartości sił poprzecznych Q_x , Q_y do równań [4b] i [4c] otrzymuje się układ trzech równań, w których nie występują siły poprzeczne. Wyrażając następnie wielkości sił momentów przez przemieszczenia u , v , w lub ich pochodne wg znanych [bibl. 4] z teorii powłok wzorów, a mianowicie:

$$\begin{aligned} N_y &= \frac{E\delta}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial v}{r \partial \Theta} - \frac{w}{r} + \nu \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{E\delta^3}{12(1-\nu^2)r^3} \left(w + \frac{\partial^2 w}{\partial \Theta^2} \right); \\ N_x &= \frac{E\delta}{1-\nu^2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \nu \frac{\partial v}{r \partial \Theta} - \nu \frac{w}{r} \right) + \frac{E\delta^3}{12(1-\nu^2)r} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \\ N_{yx} &= \frac{E\delta}{2(1+\nu)} \left(\frac{\partial u}{r \partial \Theta} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{E\delta^3}{24(1+\nu)r^2} \left(\frac{\partial u}{r \partial \Theta} + \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial \Theta} \right); \\ N_{xy} &= \frac{E\delta}{2(1+\nu)} \left(-\frac{\partial u}{r \partial \Theta} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{E\delta^3}{24(1+\nu)r^2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial \Theta} \right); \\ M_y &= -\frac{E\delta^3}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{w}{r^2} + \frac{\partial^2 w}{r \partial \Theta^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right); \\ M_x &= -\frac{E\delta^3}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{r^2 \partial \Theta^2} + \frac{\partial u}{r \partial x} + \nu \frac{\partial^2 v}{r^2 \partial \Theta} \right); \\ M_{yx} &= -\frac{E\delta^3}{12(1+\nu)} \left(\frac{\partial^2 w}{r \partial x \partial \Theta} - \frac{\partial u}{r^2 \partial \Theta} + \frac{\partial v}{r \partial \Theta} \right); \\ M_{xy} &= \frac{E\delta^3}{12(1+\nu)} \left(\frac{\partial^2 w}{r \partial x \partial \Theta} + \frac{\partial v}{r \partial x} \right); \end{aligned} \quad [6]$$

otrzymuje się następujący zasadniczy układ trzech równań różniczkowych liniowych:

$$\begin{aligned} u'' + \frac{1-\nu}{2} u'' + \frac{1+\nu}{2} v'' - \nu v' + k \left(\frac{1-\nu}{2} u'' + \right. \\ \left. + w''' - \frac{1-\nu}{2} w''' \right) + Au'' = 0; \\ \frac{1+\nu}{2} u'' + v'' + \frac{1-\nu}{2} v'' - w' + k \left(3v'' \frac{1-\nu}{2} + \right. \\ \left. + \frac{3-\nu}{2} v''' \right) - Aw' = 0; \\ \nu u' + v' - w - k \left(-\frac{1-\nu}{2} u'' + u''' + \frac{3-\nu}{2} v'' + v''' + \right. \\ \left. + 2w'''' + w'' + 2w'' + w \right) + A(v' + w + w'') = 0; \end{aligned} \quad [7]$$

przy czym $k = \frac{\delta^2}{12r^2}$; $A = \frac{\gamma \cdot \omega^2 r^2 (1-\nu^2)}{gE}$

W równaniach tych wprowadzono przy tym uproszczenie w znakowaniu, a mianowicie pochodne funkcji f względem zmiennej x i Θ

$$\frac{\partial f}{\partial \left(\frac{x}{r} \right)} = f'; \quad \frac{\partial f}{\partial \Theta} = f'';$$

Rozwiązanie równań [7]

Otrzymany układ równań jest jednorodny, a ponadto spełniać musi jednorodne warunki brzegowe. Ten ostatni wniosek wynika stąd, że całkowity układ napięć, będący sumą napięć układu podstawowego i układu dodatkowego, musi spełniać te same warunki brzegowe co i podstawowy układ napięć, rozwiązując zatem układ napięć dodatkowy, wywołany przemieszczeniami u , v , w otrzymuje się przez odjęcie jednorodnych warunków brzegowych, które dla rozważanego przypadku sprowadzają się do następujących warunków:

$$v = 0, \quad w = 0, \quad N_x = 0, \quad M_x = 0, \quad [8]$$

Rozwiązanie jednorodnego układu trzech różniczkowych przy jednorodnych warunkach brzegowych dla wszystkich wielkości $u = v = w = 0$ i tylko przy szczególnych wartościach współczynników w równaniach [7] może być zerowe. Rozwiązanie na u , v , w . Ponieważ współczynniki k , A i ν są różnymi niektórymi z nich, są zależne od prędkości ω , γ i ν , więc wynika, że niezerowe rozwiązanie układu [7] jest możliwe dla pewnych wartości ω będących wartościami krytycznymi.

Przy zadanych warunkach brzegowych [8] układ [7] rozwiązuje się przez podstawienie:

$$\begin{aligned} u &= U_{mn} \cos m\Theta \cos \frac{\lambda x}{r}, \quad v = V_{mn} \sin m\Theta \sin \frac{\lambda x}{r}, \\ w &= W_{mn} \cos m\Theta \sin \frac{\lambda x}{r}, \end{aligned} \quad [9]$$

gdzie $\lambda = \frac{n\pi r}{l}$

spełniające wszystkie warunki brzegowe, jak to łatwo sprawdzić wg wzorów [6]. W wyniku podstawienia otrzymuje się układ trzech równań liniowych

$$\begin{aligned} -U_{mn} \left[\lambda^2 + m^2 (1-\nu) \frac{1-\nu}{2} - m^2 A \right] + V_{mn} \lambda m \frac{1-\nu}{2} \\ - W_{mn} \left[\nu \lambda + k \lambda \left(\lambda^2 - m^2 \frac{1-\nu}{2} \right) \right] = 0; \\ U_{mn} \lambda m \frac{1+\nu}{2} - V_{mn} \left[m^2 + \frac{1-\nu}{2} \lambda^2 + \frac{1}{2} (1-\nu) k \lambda^2 \right] \\ + W_{mn} \left[m + \frac{3-\nu}{2} k \lambda^2 m + Am \right] = 0; \\ -U_{mn} \left[\nu \lambda + k \lambda \left(\lambda^2 - m^2 \frac{1-\nu}{2} \right) \right] + V_{mn} \left(m + \frac{3-\nu}{2} k \lambda^2 m + \right. \\ \left. + Am \right) - W_{mn} [1 + k(\lambda^4 + 2\lambda^2 m^2 + m^4 - 2m^2 + 1) - \\ - A(1 - m^2)] = 0, \end{aligned} \quad [10]$$

które dają rozwiązanie niezerowe dla U_{mn} , V_{mn} , W_{mn} tylko wtedy, gdy wyznacznik utworzony z wyrazów przy niewiadomych jest równy zeru. Stąd otrzymuje się równanie określające parametr A . Równanie to w postaci uproszczonej, po zaniedbaniu małych wyższego rzędu (zależnych od k^2 , k^3) przedstawia się następująco:

$$a_0 + bk + a_1 A + a_2 A^2 + a_3 A^3 = 0, \quad [11]$$

$$\begin{aligned}
 a_0 &= \lambda^4 \frac{1-\nu}{2} (1-\nu^2) \\
 b &= \frac{1-\nu}{2} [(\lambda^2 + m^2)^4 + (2\lambda^2 + m^2) - 2m^2(\lambda^2 + m^2)(3\lambda^2 + \\
 &\quad + m^2) - 2\nu\lambda^4 \left(\lambda^2 + \frac{3\nu}{2}\right) + 2\nu\lambda^2 m^2 (m^2 - 1)]; \\
 a_1 &= -\left\{ \frac{1-\nu}{2} [2m^2 + (3+2\nu)\lambda^2] m^2 - (m^2 - 1) \left[\left(m^2 + \right. \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \left. + \lambda^2 \frac{1-\nu}{2} \right) \left(m^2 \frac{1-\nu}{2} + \lambda^2 \right) - \lambda^2 m^2 \left(\frac{1+\nu}{2} \right)^2 \right] \right\}; \\
 a_2 &= -\left[\left(\lambda^2 + \frac{5-\nu}{2} m^2 \right) m^2 - (m^2 - 1) \left(m^2 + \lambda^2 \frac{1-\nu}{2} \right) \right]; \\
 a_3 &= -m^4
 \end{aligned} \quad [12]$$

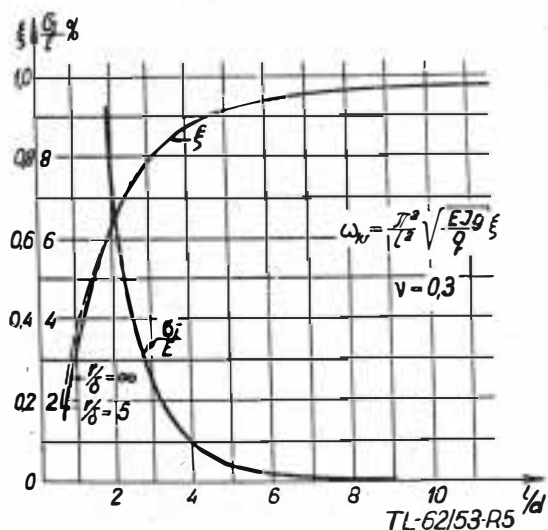
Z trzech pierwiastków równania [11] dwa są ujemne i jeden dodatni i tylko ten ostatni pierwiastek spełnia warunki zadania, dając rzeczywistą wartość ω_{kr} .

Wyniki rozwiązań

Spośród różnych ω_{kr} odpowiadających różnym wariantom dodatkowych przemieszczeń znaczenie techniczne posiada wartość najmniejsza, zachodząca przy $m = 1^{**}$). W tym przypadku równanie [11] przyjmie postać

$$\begin{aligned}
 &\frac{(1-\nu)(1-\nu^2)\lambda^4}{2} + \frac{(1-\nu)k\lambda^4}{2} \left[\left(\lambda^2 + 2 \right)^2 - \nu(2\lambda^2 + 3\nu) \right] - \\
 &- \frac{1-\nu}{2} [2 + (3+2\nu)\lambda^2] A - \left(\lambda^2 + \frac{5-\nu}{2} \right) A^2 - A^3 = 0; \quad [11a]
 \end{aligned}$$

z którego wynika, że w zależności od liczby półfal n w kierunku tworzących, bęben może mieć różne prędkości ω_{kr} . Prędkość naj-



Rys. 5

niższa (podstawowa) ω_1 zachodzi przy $n = 1$ i wyraża się jako:

$$\omega_1 = \left(\frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI \cdot g}{q}} \right) \xi \quad [13]$$

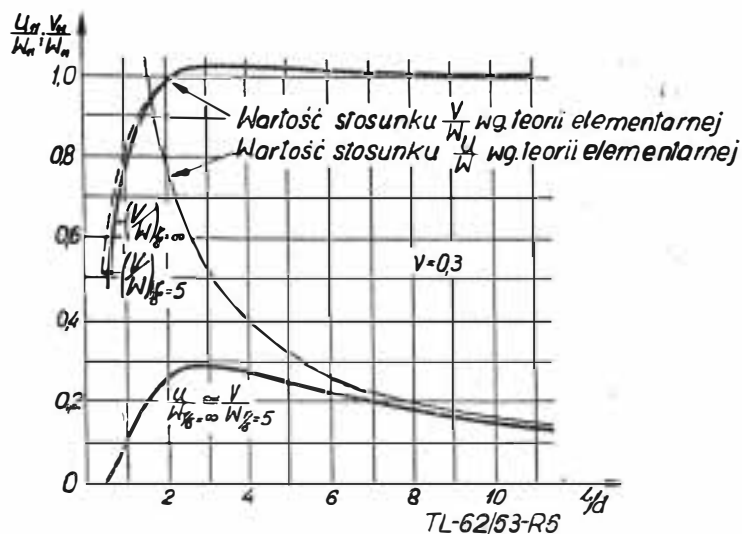
gdzie $I = \pi r^3 \delta$ — moment bezwładności przekroju poprzecznego

$q = 2\pi r \delta \cdot \gamma$ — ciężar jednostki długości bębna

ξ — współczynnik zależny od stosunku $\frac{l}{d}$ i sztywności na zginanie, tj. od współczynnika k .

****) Dla innych postaci przemieszczeń ($n = 0; m = 2, 3 \dots$) możliwe jest również wyznaczenie prędkości krytycznych, są one jednak bez porównania wyższe od prędkości zachodzących dla $m = 1$, zwłaszcza przy większych l/d .**

Wzór [13] posiada postać zbliżoną do normalnego wzoru na prędkość krytyczną giętkich wałów, różni się jedynie obecnością współczynnika ξ .



Rys. 6

Wartość tego współczynnika (rys. 5) jest stale mniejsza od jedności, zbliżając się asymptotycznie do tej wartości dla dużych $\frac{l}{d}$. Zmiana sztywności na zginanie, tj. wpływ współczyn-

nika k jest znikomo mały i tylko dla krótkich grubościennych bębnow staje się on zauważalny. Tak np. wartość ω_{kr} dla po-

włoki grubościennej $\left(\frac{r}{\delta} = 5 \right)$ różni się wskutek sztywności na zginanie od ω_{kr} dla $\frac{r}{\delta} = \infty$ (rys. 5) następująco:

$\frac{l}{d}$	0,5	1,0	1,5	2,0
$\frac{\omega_{kr} \left(\frac{r}{\delta} = 5 \right)}{\omega_{kr} \left(\frac{r}{\delta} = \infty \right)}$	1,167	1,042	1,011	1,002

Dla innych wartości $\frac{r}{\delta}$ zawartych między $\frac{r}{\delta} = 5$ i $\frac{r}{\delta} = \infty$

wykreś przyjmuje wartości pośrednie między wartościami podanymi powyżej.

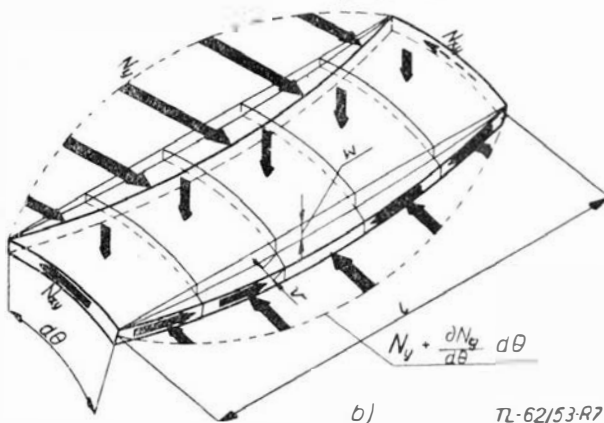
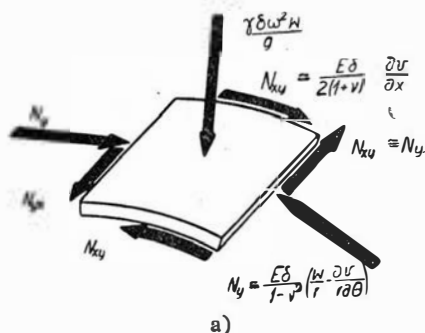
Podstawiając do równań [10] wartość A obliczoną z równania [11a] można wyznaczyć przemieszczenia U_{11}, V_{11} w zależności od przemieszczenia W_{11} . Wynik tych przeliczeń podany jest na rys. 6, gdzie dla porównania podano również wartości $\bar{U}_{11}, \bar{V}_{11}$, obliczone przy założeniu nieodkształcalności przekroju poprzecznego. Te ostatnie wartości wynikają z prostych rozważań, a mianowicie, o ile przekrój poprzeczny jest nieodkształcalny, to przy przemieszczeniu w płaszczyźnie tego przekroju $\bar{V}_{11}$ musi być równe W_{11} , gdyż tylko wtedy przemieszczenie wypadkowe jest jednakowe dla wszystkich punktów przekroju. Co się tyczy przemieszczeń u , to ich amplituda $\bar{U}_{11}$ określa się z wzoru

$$\bar{U}_{11} = W_{11} \cdot \lambda = \frac{\pi}{2} \left(\frac{l}{d} \right)$$

wynikające z obrotu płaszczyzny przekroju poprzecznego o kąt

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{W_{11} \lambda}{r} \cos \theta \cos \lambda \frac{x}{r}$$

Z wykresu na rys. 6 wynika mechanizm przeniesienia „sił bezwładności” powstałych na skutek dodatkowych przemieszczeń u, v, w .



Rys. 7.

W bębnach b. krótkich ($\frac{l}{d} \approx 0,5$) zmiana „sił bezwładności”

wywołana przemieszczeniem promieniowym w zrównoważona jest przez siły obwodowe N_y (rys. 7a), których różnica w przekrojach odległych o $d\theta$ (rys. 7b) zrównoważona jest w głównej mierze przez naprężenia styczne. Naprężenia te wynikają przede wszystkim z przemieszczeń v , natomiast wpływ przemieszczeń u jest znikomo mały. Siły poosiowe N_x pojawiają się tylko na skutek przewężenia (liczba Poissona $\nu \neq 0$) w kierunku tworzących, wywołanego obecnością sił N_y . W bębnach dłuższych ściskające siły obwodowe N_y potrzebne do równowagi elementu w kierunku osi z , wynikają z różnicy wydłużenia w kierunku obwodowym

$$\left(\frac{\partial v}{r \partial \theta} - \frac{w}{r} \right)$$

oraz rozszerzenia w kierunku poprzecznym $\left(\nu \frac{\partial u}{\partial x} \right)$. Wskutek

tego, że rozszerzenie poprzeczne $\left(\nu \frac{\partial u}{\partial x} \right)$ daje siły N_y większe niż to jest potrzebne do równowagi elementu, składnik drugi musi siły te zmniejszyć i to jest powodem dla którego $V_{11} > W_{11}$.

Wykres na rys. 5 pozwala również wyznaczyć prędkości krytyczne odpowiadające wyższej liczbie półfal n , przez wprowadzenie zamiast długości l nowej długości $l' = \frac{l}{n}$ i określenia

współczynnika ξ dla stosunku $\frac{l'}{n} = \frac{1}{n} \frac{l}{d}$ skąd

$$\frac{l'}{n} = \frac{1}{n} \frac{l}{d} \text{ skąd}$$

$$\omega_n = \omega_1 \cdot n^2 \xi \left(\frac{l}{nd} \right); \quad [14]$$

W rezultacie otrzymuje się wyniki różne od otrzymanych z teorii normalnej giętkich wałów.

Tak np. biorąc bęben o $\frac{l}{d} = 5$

otrzymuje się stosunek $\omega_n \omega_1$ jak następuje

n	1	2	3	4	5	6
$\omega_n \omega_1$	1,00	3,20	5,50	7,60	9,47	11,19

Wszystkie podane powyżej rozważania słuszne są oczywiście tylko wtedy, gdy naprężenia układu podstawowego w materiale bębna nie przekroczyły granic sprężystości. Naprężenia te wyrażają się wzorem

$$\sigma_I = \frac{\gamma \omega_k r^2}{g} = \frac{\lambda^4}{2} E \xi^2$$

i ich przebieg podany jest na wykresie rys. 5.

Zakończenie

Rozważony przypadek pozwala określić obroty krytyczne cienkościennych krótkich bębów. W wyniku działania naprężeń stycznych prędkości krytyczne są znacznie niższe niż obliczone według normalnej teorii i dla b. krótkich bębów różnice mogą przekraczać 50%. Wyższe prędkości krytyczne w stosunku do podstawowej nie zmieniają się wg n^2 lecz wg innej zależności, w rezultacie czego są one znacznie niższe niż to przewiduje teoria giętkich wałów.

BIBLIOGRAFIA

1. Laggarne Thornton. Mechanics applied to Vibrations and Balancing. Chapman and Hall Ltd., London 1951.
2. Osnovy sovremennyykh metodov rascheta naпрочnost' v maszhinostroyenii. Maszhiz 1952.
3. Timoshenko S. Vibrations in Engineering.
4. Flügge. Statik und Dynamik der Schalen

U W A G A

INŻYNIEROWIE I TECHNICY

Na podstawie ustawy z dnia 18 lipca 1950 r. w sprawie rejestru inżynierów i techników (Dz. U.R.P. Nr. 36 poz. 329) wszyscy absolwenci wyższych i średnich szkół technicznych obowiązani są przed upływem 30 dni od chwili uzyskania tytułu inżyniera lub technika rejestrować się w Naczelnej Organizacji Technicznej prowadzącej rejestr.

Obowiązek ten dotyczy również osób wykonujących czynności powierzane zwykle inżynierom lub technikom, bądź też zajmujących stanowiska powierzane zwykle inżynierom lub technikom.

Osoby, które już rejestrowały się bądź w ogólnej rejestracji (w 1950 r.), bądź po dniu zakończenia spisu, obowiązane są zgłaszać zmiany: stopnia zawodowego lub naukowego, miejsca pracy, stanowiska i miejsca zamieszkania przed upływem 30 dni od chwili nastąpienia zmiany.

Kto świadomie lub przez niedbalstwo uchyla się od obowiązków przewidzianych ustawą, podlega karze aresztu i grzywny albo jednej z tych kar, zgodnie z art. 9 ustawy z dnia 18 lipca 1950 r.

Obowiązku rejestracji należy dopełnić w Biurze Rejestru Inżynierów i Techników w Warszawie, ul. Czackiego 3/5 lub w wojewódzkich oddziałach NOT.

Zmiany, poparte dokumentami, należy zgłaszać osobiście lub drogą korespondencji w Biurze Rejestru Inżynierów i Techników w Warszawie, ul. Czackiego 3/5.

NACZELNA ORGANIZACJA TECHNICZNA

XLII. Charakterystyka wykonywania nakuwków płaskich młotkami pneumatycznymi

Typ młotka		wielkość	I		II		III		IV		V	
		ciężar młotka kG	1,0—1,5		1,1—2,8		2,8—3,8		4,0—6,0		4,5—7,0	
Ciśnienie powietrza atm			5,0									
Praca odkształcenia uderzenia kGm			0,05—0,10		0,2—0,3		0,5—0,7		0,8—1,0		2,0—3,0	
Ilość uderzeń n ud/min			5000—3500		3500—2500		2300—1500		1500—800		600—300	
Zużycie powietrza Q m³/min			0,17—0,25		0,20—0,45		0,45—0,60		0,55—0,65		0,60—0,70	
Kształt łba	Materiał nita	Średnica nita d mm	2,6	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
płaski	dural	Praca odkształcenia A kGm	1,25	2,0	3,33	5,8	11,0	17,5	26,5	34	60	84
		Czas nitowania T sek	0,37	0,39	0,42	0,47	0,66	1,00	1,35	2,1	3,3	5,0
		T/d	0,14	0,13	0,12	0,12	0,13	0,17	0,19	0,25	0,37	0,50
płaski	0015	Praca odkształcenia A kGm	2,20	4,12	6	10	19	31	45	62	98	—
		Czas nitowaia T sek	0,60	0,68	0,8	0,9	1,2	1,8	2,9	4,7	7,5	—
		T/d	0,23	0,23	0,23	0,22	0,24	0,30	0,40	0,55	0,85	—

XLV. Technologiczne procesy nitowania krytego (dla metod A, B, C i D).

Nr operacji				OPIS OPERACJI	Szkic operacji			
A	B	C	D		A	B	C	D
1	1	-	1	Złożyć pokrycie ze szkieletem, przewiercić kontrolne otwory, założyć spinacze.				
2	2	-	2	Wytrasować pokrycie dla wiercenia otworów.				
-	-	1	-	Wytrasować szkielec dla wiercenia i gzynkowania otworów.				
3	3	-	-	Przewiercić otwory równocześnie w pokryciu i szkielecie.				
-	-	2	-	Jednocześnie przewiercić i nagzynkować otwory w szkielecie.				
-	-	-	3	Przewiercić i nagzynkować otwory równocześnie w pokryciu i szkielecie.				
-	-	-	3	Złożyć pokrycie ze szkieletem przewiercić kontrolne otwory i założyć sprężynowe spinacze.				
-	-	4	-	Wiercić pokrycie przez szkielec.				
4	4	5	4	Rozebrać złożony zespół usunąć wióry i ogradować,łożyć zespół.				
5	-	-	-	Wytłoczyć gniazdo w pokryciu i szkielecie, rozwinąć otwory do wymaganej średnicy				
6	5	6	5	Wstawić nity.				
-	6	-	-	Wytłoczyć gniazdo w pokryciu i szkielecie łbem nita.				
-	-	7	-	Wytłoczyć gniazdo w pokryciu łbem nita.				
7	7	8	6	Roznitować nity.				

XLIV. Metody nitowania krytego.

- A. - We wszystkich elementach wchodzących w złożenie gniazda pod łeb tłoczony są stemplem na matrycy. Tłoczenie odbywa się osobno lub wspólnie. Po wspólnym tłoczeniu przewierca się otwór. Stosuje się przy łączeniu pokrycia do podłużniczek i dla grubości blachy niedopuszczającej gzynkowania. Stosować przy grubości złożenia do 1 d.
- B. - Gniazdo pod łeb tłoczy się samym nitem. Stosować przy grubości złożenia równej (0,5...0,6) d. Nie daje gładkiej powierzchni.
- C. - Stosowany najczęściej przy nitowaniu cienkiego pokrycia. Gniazda pod łeb wykonuje się sposobem kombinowanym; w szkielecie gzynkuje się, zaś w pokryciu tłoczy się. Pokrycie zakłada się na szkielec, wierci otwory, zdejmując pokrycie, gzynkuje szkielec, zakłada pokrycie i tłoczy się gniazda.
- W odmiennie tego sposobu tłoczy się gniazdo w pokryciu samym nitem. Stosuje się przy grubości blachy mniejszej od wysokości łba nita.
- D. - Gniazda pod łby nitów gzynkowane są w pokryciu. Stosuje się przy pokryciu grubszym od wysokości łba nita. Sposób ten daje najlepszą gładkość pokrycia.

XLVI. Dane liczbowe dla nitowania metodami A, B, C i D nitami o kącie wierzchołkowym łba 120°.

Metoda	Szkice	Wymiary mm	Nominalne średnice nitów d						Uwagi
			2,6	3	3,5	4	5	6	
A		Otwór wstępny d ₁	2,1	2,7	3,1	3,6	4,1	-	wiercić d ₁ , rozwinąć d ₂
		Otwór pod nit d ₂	2,7	3,1	3,6	4,1	5,2	-	
		Największa grubość blachy s ₁	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	-	
		Grubość złożenia s ₂	1,9-2,6	2,3-3,0	2,6-3,5	2,9-3,4	3,1-3,6	-	
B		Otwór na nit d ₂	2,7	3,1	3,6	4,1	5,2	-	
		Największa grubość blachy s ₁	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	-	
		Największa grubość złożenia s ₂	1,8	2,2	2,6	2,8	3,2	-	

Metoda	Szkice	Wymiary mm	Nominalne średnice nitów						Uwagi
			2,6	3	3,5	4	5	6	
C		Otwór na nit d ₀	2,7	3,1	3,6	4,1	5,2	6,2	jeśli tłoczy się jedna blacha, to s ₁ = s ₂
		Średnica gzyrkowania d ₂	5,7 + 0,3	6,5 + 0,3	7,3 + 0,3	8,2 + 0,3	9,9 + 0,3	11,5 + 0,5	
		Największa grubość blachy s ₁	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,4	
		Suma grubości tłoczonych blach s ₂	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	
		Minimalna grubość gzyrkowanej blachy s ₃	1,2	1,2	1,5	1,5	1,8	2,0	
C		Otwór na nit d ₀	2,7	3,1	3,6	4,1	5,2	6,2	
		Średnica gzyrkowania d ₂	6,5 + 0,3	7,5 + 0,3	8,5 + 0,3	9,5 + 0,3	11,0 + 0,5	12,8 + 0,5	
		Największa grubość blachy s ₁	1,0	1,0	1,2	1,2	1,5	1,5	
		Suma grubości tłoczonych blach s ₂	2,6	3,0	3,0	3,4	3,6	3,8	
		Minimalna grubość gzyrkowanej blachy s ₃	1,5	1,5	1,8	1,8	2,5	2,5	
D		Otwór na nit d ₀	2,7	3,1	3,6	4,1	5,2	6,2	
		Średnica gzyrkowania d ₂	5,7 + 0,3	6,5 + 0,3	7,3 + 0,3	8,2 + 0,3	9,9 + 0,3	11,6 + 0,5	
		Minimalna grubość gzyrkowanej blachy s ₃	1,2	1,2	1,5	1,5	1,8	2,5	

BLACHY W KONSTRUKCJACH LOTNICZYCH Część I.

Podstawowym elementem nowoczesnych konstrukcji skorupowych są blachy. Prócz pokrycia nośnego, kesonów i dźwigarów wykonuje się z blach szeregi elementów i zespołów od najprostszych nakładek do tłoczonych elementów o skomplikowanych kształtach. Do prac blacharskich należy zaliczyć również wykonywanie okuć z blach, rowków usztywniających, przeciąganie profilów z blach, gięcie rur, jak i tłoczenie blach na prasach. Miara ważności prac blacharskich jest procentowy udział tychże prac w stosunku do całości wykonania płatowca. Zajmują one łącznie dla samolotów mniejszych konstrukcji mieszanej 7 ... 11% całości wykonania, zaś dla dużych metalowych samolotów 12 ... 27%.

Dlatego też przy projektowaniu elementów blaszanych należy uwzględnić szereg zagadnień konstrukcyjnych, jak promienie gięcia, właściwe wymiary pól usztywniających, otworów ulgowych, rowków, wycięć itp. W obecnych „Pomocach Konstruktorskich...” zebrane zostały dane liczbowe i wymiarowe, dotyczące tychże zagadnień. W części pierwszej podano: I. Wyznaczanie długości rozwinięć i II. Wyznaczanie minimalnych promieni gięcia blach.

Ciąg dalszy w następnym zeszycie T. L.

Zebrał mgr inż. St. Lassota

I. Wyznaczenie długości rozwinięcia zgiętych blach

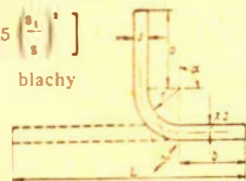
Długość rozwinięcia oblicza się wzorem

$$L = (a + b) + \frac{(x \cdot s) \cdot \alpha}{180} \cdot \left[\frac{r}{s} \cdot \frac{s_1}{s} + 0,5 \left(\frac{s_1}{s} \right)^2 \right]$$

gdzie $\frac{s_1}{s}$ jest względnym zwężeniem blachy

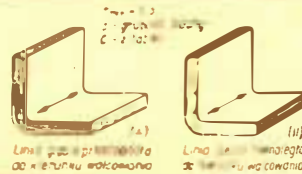
$x \cdot s$ odcinek gięcia
położenie płaszczyzny obrotnej gięcia od powierzchni wewnętrznej

α kąt zagięcia blachy



r/t	0,1	0,25	0,30	0,50	0,75	1,00	2	4	5	10
x	0,18	0,25	0,26 - 0,28	0,30 - 0,33	0,35 - 0,37	0,37 - 0,39	0,42 - 0,44	0,47	0,50	0,50
$\frac{s_1}{s}$	0,71	0,79	0,81	0,89	0,92	0,95	0,98	0,99	1,00	1,00

II. Minimalne promienie gięcia blach



Stan materiału		wyżarzony lub normalizowany			utwardzony przez walcowanie		
Materiał	Blacha s mm	kierunek linii gięcia			kierunek linii gięcia		
		⊥	45°		⊥	45°	
stal 0010	0,3 - 6,0	0,2 - 0,4	0,6 - 1,3	1,0 - 1,5	1,0 - 1,5	1,5 - 1,8	2,0 - 2,1
stal 0015; 0020	0,3 - 6,0	0,5	0,8	0,3	1,2 - 2,6	1,5 - 3,0	2,0 - 3,5
stal 0025; 0030	0,3 - 6,0	0,6	1,0	1,6	1,4 - 3,1	1,8 - 3,5	2,4 - 4,0
stal 0035; 0040	0,3 - 6,0	0,7	1,1	1,8	1,6 - 3,5	2,0 - 4,0	2,7 - 4,5
stal 0045; 0050	0,3 - 6,0	0,9	1,5	2,0	2,0 - 4,3	2,5 - 4,6	3,0 - 5,0
stal 0055; 0060	0,3 - 6,0	1,2	1,9	2,6	-	-	-
st. 267.1.30 („chromasil”)	0,3 - 6,0	1,5	2,5	4,0	-	-	-
st. 2.13.35 (nierdzewna)	0,3 - 6,0	2,5	4,0	6,5	-	-	-
st. 2122.18.14 (ognioodporna)	0,3 - 6,0	1,0	1,5	2,0	-	-	-
Al. 99,0 (aluminium)	0,2 - 6,0	0,3	0,5	0,8	0,4	0,7	1,0
Al. Mg1 Si1 (Pantal)	0,2 - 6,0	0,9	1,5	2,4	1,3	1,9	3,0
Al Cu4 Mg2 Mn (dural)	0,3 - 6,0	1,5	2,5	4,0	2,3	3,0	5,0
Al Zn6 Mg2 Cu (B95; DIN. L3425)	0,3 - 6,0	1,8	3,0	4,5	3,5	4,0	5,0
miedź	0,2 - 6,0	0,25	0,4	0,7	0,5	0,8	1,2
Cu Zn 32 (mosiądz)	0,2 - 6,0	0,3	0,5	0,8	0,7	1,0	1,4