

TECHNIKA LOTNICZA

STYCZEŃ - LUTY

1

1955 R.

ROK X

DWUMIESIĘCZNIK STOWARZYSZENIA NAUKOWO-TECHNICZNEGO
INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW MECHANIKÓW POLSKICH SIMP
(SEKCJA LOTNICZA)



TREŚĆ ZESZYTU

	Str.		Str.
U progu nowego roku	1	Skrzynka techniczna	28
R. Lewandowski: Wysokość lotu — jej rodzaje, pomiar i metody redukcyjne, cz. I.	2	Lotnicze słownictwo techniczne	28
J. Wolf: Uciszenie hamowni silników lotniczych	11	Nowości techniczne	29
Produkcja — R. Sznee: Podstawowe wiadomości o spawaniu w lotnictwie	20	Przeglądamy usprawnienia	30
Notatnik użytkownika — S. Madeyski: Przetarta linka spowodowała zablokowanie sterownicy	27	Kronika	31
		Na półkach księgarskich	32
		Pomoce Konstruktorskie — H. Zatyka: Drewno w konstrukcjach lotniczych	okł.

WYDAWNICTWO NACZELNEJ ORGANIZACJI TECHNICZNEJ

„Pomoce Konstruktorskie Techniki Lotniczej“

Drewno w konstrukcjach lotniczych

opracował Mgr inż. H. Zatyka

1 Drewno
Przez długi okres czasu drewno było podstawowym materiałem stosowanym do budowy samolotów i szybowców. Dopiero z chwilą zastosowania w konstrukcjach lotniczych lekkich stopów aluminium i magnezu, drewno przestało odgrywać rolę dominującą. Jednakże w budowie szybowców i niektórych typów samolotów drewno nadal pozostało jednym z podstawowych mat. konstrukcyjnych.

Wynika to z poważnych zalet drewna, do których należy zaliczyć:

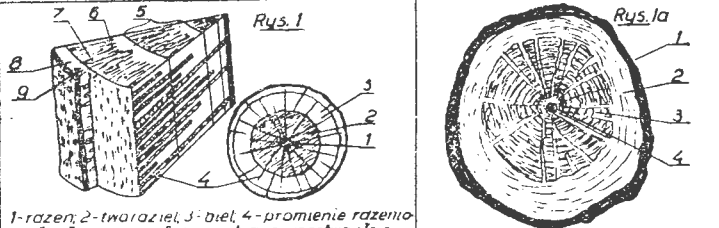
- 1) wysoki wskaźnik jakości (stosunek wytrzymałości do ciężaru objętościowego).
- 2) łatwość obróbki mechanicznej.
- 3) łatwość dokonywania połączeń (klejenie).

Drewno ma jednak i szereg wad utrudn. jego stosowanie, do których należy zaliczyć:

- 1) higroskopijność.
- 2) różnice w wytrzymałościowych w 3-ch kierunkach (anizotropowość)
- 3) nierównomierną budowę i w związku z tym znaczne różnice wytrzymał. danego gat. drewna
- 4) palność
- 5) skłonność do gnicia

(eliminuje się. W drewnie ulepszonym i sklejce część powyższych wad a szereg nierówn. budowy)

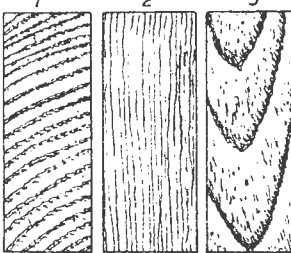
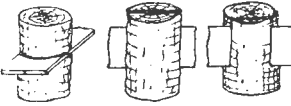
3 Budowa drewna
Budowa drewna schematycznie przedstawiona jest na rys. 1 Na rys. 1a przedstawiony jest przekrój poprzeczny pnia dębu, gdzie łatwo jest odróżnić jego zasadnicze części.



1-razen; 2-twardziel; 3-biel; 4-promienie rdzeniowe; 5-słój roczny; 6-wewnętrzna warstwa słoja rocznego; 7-drewno młodsze; 8-zewn. warstwa słoja roczn. l.zm. drewno późne; 9-kora.

1-kora 2-biel 3-twardziel 4-razen

W niektórych rodzajach drzew środkowa część pnia różni się od obwodowej, ciemniejszą barwą i mniejszą zawartością wody zaraz po ścięciu. Ciemno zabarwiona środkowa część drewna nazywa się twardzielą, jasna znajdująca się na obwodzie-bielem. Drewno posiadające twardziel odznaczającą się od bielu nazywamy twardzielowym (dąb, topola, sosna...) Twardziel może być niezarobiona jak w lipie, świerku, buku i jodli. Istnieją również drzewa beztwardzieli (bielaste) jak np. brzoza, osika, olcha, grab i t.p. Szerokość bielu jest różna i zależy od rodzaju i wieku drewna, warunków klimatycznych i innych czynników. W pierwszych latach wzrostu drzewa biel zajmuje większą część pnia niż twardziel ale z wiekiem ilość drewna twardzielowego powiększa się kosztem bielu.



Trzy przekroje dla sosny
1-poprzeczny
2-promieniowy
3-styczny

Przeciętny wiek sasnów w latach	Procent pomierzchni twardzieli w drewnie sosny z terenów:	
	suchych	blotnistych
61	15	-
89	-	30
97	29	-
134	41	-
135	-	47
199	55	-
223	-	61
263	70	-

Procentowy udział pow. twardzieli w stosunku do całej pow. przekroju pnia sasnów zależy głównie od wieku drzewa - co ilustruje tabela obok.

6a Minimalne własności fizyko-mechaniczne dla drewna lotniczego określone przez obowiązujące normy PN.

Rodzaj drewna	Nr normy	Kategoria	Wymagania fizyko-mechaniczne		
			Sredni ciężar objętościowy drewna suchego ρ g/cm ³	Wytrzymałość na ściskanie $R_c(15)$ kG/cm ²	Udarność Uis mkg/cm ²
Lotnicza tarcica sosnowa	PN-L-19000	1	0,46	400	0,40
		2	0,42	350	0,30
Lotnicza tarcica świerkowa	PN-L-19001	1	0,40	400	0,35
		2	0,35	350	0,25
Lotnicza tarcica jesionowa	PN-L-19002	1	0,60	450	0,50
		2	0,55	400	0,40

6b Wymagania odnośnie własności fizyko-mechanicznych i makrostruktury dla różnych gat. drewna lotn. określone przez GOST-968-49

Rodzaj drewna	Pochodzenie (rejon)	Kategoria	Wymagania fizyko-mech.			Liczba słojów rocznych na 1cm	Najmniejszy dopuszcz. udział drewna późnego
			Najmniejszy dopuszcz. ciężar objętościowy ρ g/cm ³	Najmniejsza dopuszcz. wytrzymał. na ściskanie R_c kG/cm ²	Najmniejsza dopuszcz. udarnosc U mkg/cm ²		
Sosna	ZSRR	1	0,51	400	0,14	5-20	25
		2	0,47	350	0,13	3-25	20
		2a	0,45	320	0,12	3-25	20
		3	0,41	280	0,09	3-20	10
Świerk	ZSRR	1	0,48	400	0,13	7-20	30
		2i2a	0,43	320	0,10	3-20	20
		3	0,40	280	0,09	3-20	10
Jesion pospolity	Europejska część ZSRR	1	0,70	450	-	1-5	-
		2	0,66	400	-	1-7	-
Jesion	Daleki wschod	2a13	0,62	350	-	ponad 7	-
		1	0,64	400	-	1-6	-
Buk	ZSRR	2	0,60	350	-	1-9	-
		1	0,65	450	-	-	-
		2i2a	0,64	400	-	-	-
Brzoza żółta i czarna	Daleki wschod	3	0,62	350	-	1-15	-
		1	0,72	500	-	-	-
		2	0,70	450	-	-	-
Jodla kaukaska	Kaukaz	3	0,69	400	-	-	-
		1	0,45	400	0,14	8-25	-
		2	0,41	340	0,12	5-25	-
Modrzew syberyjski	Wsch. Syberia: rejon smierdłowski	2a	0,40	320	0,12	4-25	-
		1	0,39	300	0,09	3-25	-
		3	0,39	300	0,09	3-25	-
Lipa	ZSRR	1	0,70	500	0,15	5-20	35
		2i2a	0,64	420	0,13	3-30	20
Dąb	Europejska część ZSRR	1	0,68	450	-	1-7	-
		2i2a	0,64	400	-	1-10	-
		3	0,60	350	-	ponad 10	-

СОДЕРЖАНИЕ

На кануне Нового Года	стр. 1
R. Lewandowski: Высота полета, ее виды, методы измерения и приведения к стандартным условиям	2
J. Wolf: Глушение шума испытательных стендов для авиадвигателей	11
Производство — R. Sznee: Основные сведения о сварке авиадеталей	20
Заметки по технической эксплуатации — S. M.	27
Технический почтовый ящик	28
Авиационный технический словарь	28
Технические новости	29
Обзор новаторских предложений — S. M.	30
Хроника	31
На книжных полках	32
Конструкторские пособия — H. Zatyka: Древесина применяемая в авиации	обертки

CONTENTS:

At the beginning of the New Year 1955	page 1
R. Lewandowski: Height of flight — its distinct aspects, measurement and reduction methods	2
J. Wolf: Silencing of jet-engine test stands	11
Production — R. Sznee: Basic facts on welding in aircraft production	20
The User's Note-Book — S. Madeyski: Rubbed through cable jammed the control system	27
Technical Letter Box	28
Aeronautical Technical Glossary	28
Technical News	29
Review of Rationalisation Projects. S. M.	30
Chronicle	31
On Booksellers Shelves	32
Designer's Data Sheets — H. Zatyka: Wood used in aircraft production	on cover

TECHNIKA LOTNICZA

DWUMIESIĘCZNIK STOWARZYSZENIA NAUKOWO-TECHNICZNEGO
INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW MECHANIKÓW POLSKICH SIMP
(SEKCJA LOTNICZA)

ROK X

STYCZEŃ – LUTY 1955 R.

ZESZYT 1 (31)

U progu nowego roku

Wielkie przemiany, jakie przeżywa Polska Ludowa na drodze do socjalizmu, stają się coraz bardziej wyraziste. Coraz jaskrawiej i naoczniej przekonujemy się, że wczorajsze hasła i programy stają się dzisiaj rzeczywistością. Polska Ludowa za przykładem i w oparciu o doświadczenia bratnich narodów Związku Radzieckiego, rozwija się gospodarczo i społecznie w tempie nigdy przedtem nieznanym. Prawda, że na niektórych odcinkach, a w szczególności na odcinku artykułów codziennego użytku, potrzeby nasze przewyższają niekiedy podaż, trzeba jednak pamiętać, że potrzeby te wzrosły znacznie na skutek zwiększenia się średniego poziomu stopy życiowej obywateli. Każdy, kto ma oczy otwarte i chce widzieć — widzi jakie kolosalne postępy zrobiła Polska Ludowa w dziedzinie budownictwa, przemysłu ciężkiego, szkolnictwa, piśmiennictwa itd. Kolosalne tempo wzrostu naszego potencjału w powyższych dziedzinach ilustrują dobitnie niżej zamieszczone dane.

Budownictwo

W roku 1955 zostanie oddane w Polsce Ludowej do użytku 162 000 izb mieszkalnych, z czego w Warszawie — 25 000. Dla porównania należy dodać, że w latach od 1919 do 1937 roku, to jest przez 18 lat przedwojennych przybyło w Warszawie 123 000 izb.

Produkcja przemysłowa wzrosła w r. 1953 w stosunku do r. 1938 przeszło 3,5-krotnie, jej wzrost w poszczególnych latach przedstawia poniższa tabela:

rok	1938	1949	1953	1955
wskaźnik	59	100	215	(plan) 266

W roku 1953 produkowaliśmy w stosunku do 1938 r.: stali — 2,5-krotnie więcej, węgla kamiennego — 2,3-krotnie, energii elektrycznej — 3,4-krotnie, cementu ok. 2-krotnie, obrabiarek (w porównaniu ciężarowym) ok. 12-krotnie. W Polsce Ludowej uruchomione zostały zupełnie nowe gałęzie przemysłu, nieznane w Polsce przedwojennej jak: przemysł samochodowy, traktorowy, okrętowy, łożysk tocznych, szereg nowych działów przemysłu chemicznego jak: przemysł syntezy chemicznej, włókien syntetycznych, mas plastycznych, szereg nowych gałęzi przemysłu farmaceutycznego itd.

Szkolnictwo wyższe

Na początku r. 1954 mieliśmy 79 szkół wyższych (nie licząc szkół MON i kursów zaocznych). Na uczelniach tych studioowało 121 000 studentów. W latach 1937-38 przypadają na 10 000 mieszkańców 14 studentów, a w latach 1952-53 — 47 studentów.

Nakłady książek i broszur przekroczyły w 1953 r. 90 miln., co stanowi trzykrotny wzrost w porównaniu do 1937 r. Podobnie wzrosły nakłady dzienników. Wzrost wydawnictw technicznych rzuca się w oczy.

Wśród ogólnych osiągnięć Polski Ludowej wymienić trzeba również sukcesy na polu lotnictwa. Dzięki wysiłkowi naszego narodu stworzyliśmy w Polsce Ludowej przemysł lotniczy. Rękami polskiego robotnika budujemy nowoczesny sprzęt lotniczy, sprzęt niezawodny, stanowiący ostatni wyraz techniki. Opanowaliśmy nowoczesne metody technologiczne. Wyszkołiliśmy i szkolić będziemy nadal kadry techniczne i kadry personelu latającego. Na potrzeby naszego lotnictwa pracują poważne instytucje naukowo-badawcze, wyposażone w nowoczesny sprzęt laboratoryjny i posiadające personel o wysokich kwalifikacjach technicznych. Pracują robotnicy i naukowcy, technicy i inżynierowie, którzy zdobyli wiedzę i praktykę w Polsce Ludowej.

Stworzyliśmy własne prototypy sprzętu latającego, w tym tak skomplikowane konstrukcje, jak śmigłowiec i szybowiec bezogonowy. Nasze szybownice wyczynowe zdobyły sobie zasłużoną sławę i uznanie, zarówno wśród szybowników państw

demokracji ludowej, jak też przedstawicieli szybownictwa państw kapitalistycznych.

Odbudowa Polski z gruzów i zniszczeń wywołanych drugą wojną światową, w szczególności odbudowa Warszawy — stolicy kraju budującego się socjalizmu — i wspaniały rozwój całej gospodarki narodowej, zawdzięczamy codziennej, intensywnej pracy milionów obywateli, zarówno partyjnych jak i bezpartyjnych, którym dobro Polski Ludowej leży na sercu, a których ofiarna, mozolna praca i uparta chęć stworzenia Polski lepszej i szczęśliwszej, bogatszej i sprawiedliwszej — Polski socjalistycznej — przemienia słowa w „czynów stal”.

W tej wielkiej rzeszy bojowników o postęp — podstawę sukcesów gospodarczych — czołowe miejsce zajmować powinny naukowo-techniczne stowarzyszenia branżowe, zgrupowane w Naczelnej Organizacji Technicznej, skupiającej twórczą inteligencję techniczną: inżynierów, techników, nowatorów i przodowników pracy, wśród nich zaś Sekcja Lotnicza SIMP — grupa ludzi, walcząca o postęp naszego ludowego lotnictwa.

Zastanówmy się u progu nowego roku, jakie zadania czekają Sekcję Lotniczą i jaką rolę winna spełniać organizacja nasza w świetle potrzeb lat najbliższych.

Dotychczasowa rola Sekcji Lotniczej SIMP sprowadzała się wyłącznie niemal do zagadnienia szkolenia wzajemnego członków, organizowania odczytów, dyskusji i wycieczek oraz pomocy w organizowaniu kursów szkoleniowych na rozmaitych poziomach. Musimy jednak stwierdzić, że ta, aczkolwiek wiele pożyteczna działalność, obecnie nie wystarcza. Koła zakładowe Sekcji powinny wziąć szerszy i bardziej bezpośredni udział w technicznych zagadnieniach zakładów. Muszą bardziej aktywnie współpracować w zakresie szerzenia postępu technicznego w zakładach pracy, muszą więcej zajmować się jakością, organizacją produkcji i zagadnieniem kosztów własnych. Musimy pamiętać, że lepsza organizacja, nowocześniejsze oprzyrządowanie, szybsze metody kontroli, sprawniejszy transport, poważnie wpływające na obniżkę kosztów własnych — to krok do podniesienia naszej stopy życiowej. Do starań o zapewnienie obniżki kosztów własnych, przy zachowaniu stuprocentowej niezawodności sprzętu — co jest podstawowym warunkiem w lotnictwie — nikt nie jest bardziej powołany niż właśnie my — technicy.

Dlatego każde zakładowe koło Sekcji Lotniczej SIMP powinno w planie swej pracy zająć się: 1) pełną mobilizacją załogi i wykorzystaniem środków technicznych oraz organizacji dla rytmicznego i terminowego wykonywania zadań produkcyjnych. 2) Kontrolą społeczną wykonania planu postępu technicznego zakładu i czynną współpracą z dyrekcją zakładu w usuwaniu trudności związanych z realizacją tego planu. Członkowie koła SIMP, stanowiąc awangardę techniczną zakładu, mogą i powinni wnieść najcenniejszą inicjatywę w wytyczaniu i realizowaniu postępu technicznego w zakładzie. 3) Analizą pracy kontroli technicznej oraz propagowaniem wykrywania i usuwania braków oraz usterek w miejscu ich powstawania, co ma kolosalne znaczenie ekonomiczne. 4) Analizą kosztów własnych zakładu i analizą powstawania braków oraz wysuwaniem wniosków dla dyrekcji zakładów co do poprawy stanu rzeczy. 5) Współpracą z Klubem Racjonalizacji i Techniki na terenie zakładu.

W odczytach i na zebraniach kół Sekcji Lotniczej zagadnienia powyższe powinny być omawiane i dyskutowane. Konkretna pomoc, jaką koła terenowe Sekcji Lotniczej udzielią swym zakładom pracy, będzie najlepszym świadectwem pracy koła, będzie wyrazem głębokiego zrozumienia wielkiej roli, jaką odegrać powinni członkowie Sekcji Lotniczej SIMP w swej pracy na codzień, będzie dowodem umiłowania idei postępu i socjalizmu.

Mgr inż. RYSZARD LEWANDOWSKI

Wysokość lotu — jej rodzaje, pomiar i metody redukcji

629.1.052:563.6

Zamieszczona poniżej część I artykułu obejmuje: wyprowadzenie zasadniczych pojęć wysokości w oparciu o przebieg parametrów w atmosferze rzeczywistej oraz umówionej — Atmosferze Wzorcowej; omówienie warunków działania i wykorzystywania wysokościomierza ciśnieniowego w lotnictwie. Część druga obejmuje: analityczne wyrażenie różnych zagadnień określania wysokości w zastosowaniu do nawigacji, redukcji osiągnięć samolotów oraz określania wyczynów; przedstawienie metod pomiarów wysokości względnej.

I. Wprowadzenie

Jedną z zasadniczych wielkości określających warunki lotu — obok prędkości lotu, toru, warunków pracy zespołu napędowego itd. — jest wysokość.

Określenie wysokości — pojęcia, jakby się zdawało na pierwszy rzut oka elementarnego i jednoznacznego — w lotnictwie jest zagadnieniem złożonym i wymagającym dokładnego wyjaśnienia.

W rozmaitych opracowaniach czy też podręcznikach zagadnienia ustalania wysokości lotu są zwykle ujmowane fragmentarycznie. Tłumaczy się to po części tym, że zainteresowania pilota są inne niż np. inżyniera-pomiarowca czy też konstruktora przyrządów pokładowych. Autor uznał jednak za celowe zgromadzić pewną sumę wiadomości na jednym miejscu i naświetlić zagadnienie wysokości lotu z różnych punktów widzenia, co powinno przyczynić się do lepszego zrozumienia omawianych zagadnień przez licznych zainteresowanych w określaniu i pomiarze wysokości lotu.

Niniejsze opracowanie zawiera omówienie rodzajów wysokości, z jakimi mamy do czynienia w codziennej praktyce lotniczej, w mechanice lotu i przy pomiarach w locie. Na znajomość i właściwe posługiwanie się różnymi pojęciami wysokości oraz zastosowanie prawidłowego słownictwa (jak również i oznaczeń — symboliki) należy zwracać baczną uwagę, jeżeli chcemy nie dopuścić do jakichkolwiek pomyłek lub nieporozumień.

Analityczne ujęcie poszczególnych zagadnień pozwala na ściśle określenie wpływu różnych czynników na zmianę wysokości w czasie lotu, z jednej strony wiąże się to z bezpieczeństwem lotu, z drugiej — określa działanie przyrządów pomiarowych. Zapoznanie się zaś z metodami pomiarów wysokości względnej pozwoli na właściwe posługiwanie się cennymi i skomplikowanymi przyrządami, z którymi coraz częściej można się spotkać w praktyce.

Słownictwo z odpowiednikami w językach rosyjskim i angielskim oraz wykaz ważniejszych oznaczeń

h_{pm}	m	wysokość bezwzględna (tzw. wysokość nad poziom morza) абсолютная высота absolute height, a. altitude *)
h_z	m	wysokość względna относительная в. relative h.
h_w	m	wysokość terenu (wzniesienie t.)
h	m	rzeczywista wysokość фактическая в. true h., tapeline a.
h_n	m	wysokość normalna стандартная в. ICAN h., standard a.
h_c	m	wysokość ciśnieniowa барометрическая в. pressure h., p. a.
h_g	m	wysokość gęstościowa в. по плотности density h., d. a.
h_t	m	wysokość wg temperatury (wysokość termiczna) в. по температуре temperature h., t. a.

h_i	m	wysokość wskazywana, w. odczytana в. по показанию прибора indicated h., observed pressure a., altimeter pressure altitude reading
Δh_p	m	poprawka przyrządowa (wysokościomierza) приборная поправка (высотомера) instrument error, calibration error
h_m	m	wysokość zmierzona (poprawiona wysokość wskazywana) исправленная в. по прибору calibrated h.
Δh_a	m	poprawka aerodynamiczna (wysokościomierza), p. położenia аэродинамическая поправка (высотомера) (altimeter) position error
h_r	m	wysokość odniesienia, w. zredukowana, w. równoważna относительная в., эквивалентная в. reduced h., equivalent h., e. a.
p	kg/m^2	ciśnienie atmosferyczne
b	mm Hg (tor)	
T	$^{\circ}\text{K}$	temperatura bezwzględna
t	$^{\circ}\text{C}$	temperatura względna $T = 273 + t$
K_T	$^{\circ}/\text{m}$	gradient temperatury
ρ	kg/m^3	gęstość powietrza (bezwzględna)
σ	$= \rho/\rho_0$	względna gęstość powietrza
R	m/°	stała gazowa
g	m/s^2	przyspieszenie ziemskie
V	m/s	prędkość lotu
V_0	m/s	prędkość równoważna ($V_0 = \sqrt{\sigma}$)
q	$= \frac{\rho V^2}{2}$	ciśnienie dynamiczne, c. prędkości
ν	m^2/s	kinematyczny współczynnik lepkości
a_d	m/s	prędkość dźwięku
c	m/s	prędkość światła

		wysokościomierz ciśnieniowy барометрический высотометр pressure altimeter
		wysokościomierz akustyczny звуковой высотометр (эхолот) sonic altimeter
		wysokościomierz radiowy радиовысотометр radio altimeter
AW		atmosfera wzorcowa (patrz PN/L-02001)

Indeksy

o odpowiada warunkom normalnym przy ziemi (0 m wg AW)
s odpowiada warunkom początkowym stratosfery (11'000 m wg AW lub też innej wysokości, jeżeli przyjmiemy np. warunki lata tropikalnego).

II. Zasadnicze pojęcia wysokości

Wysokość jest pojęciem długości i, podobnie jak wielkość odcinka, wymaga określenia, pomiędzy jakimi punktami jest mierzona.

W naszym przypadku jednym z tych punktów będzie zawieszony samolot. W mechanice lotu w rozważaniach ruchu często uważamy samolot za punkt materialny o całej masie skupionej w jego środku ciężkości. W innych przypadkach, gdy sa-

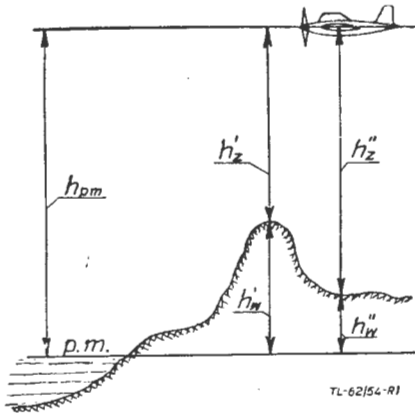
*) height (h.) stosowane w literaturze angielskiej
altitude (a.) — w literaturze amerykańskiej

molot rozważamy jako bryłę, za punkt odniesienia również przyjmujemy środek ciężkości. Dla nas jednak ściśle umieszczenie tego punktu odniesienia nie jest konieczne, gdyż zazwyczaj wymiary samolotu są bardzo małe w stosunku do wysokości lotu. Gdy wchodzi pod uwagę wysokości małe, najsluszniej jest je liczyć od płaszczyzny stycznej do kół podwozia głównego.

W geografii itp. przy pomiarach wysokości jako odniesienie przyjmujemy poziom morza (pm). Wszelkie wysokości mierzymy zawsze prostopadłe do poziomu morza.

Odległość samolotu od poziomu morza nazywamy *bezwzględną wysokością (lotu) h_{pm}* (rys. 1).

W nawigacji lotniczej używane jest pojęcie *względnej wysokości (lotu) h_z* — jest to odległość samolotu od poziomu terenu, nad którym w danej chwili on przelatuje. Możemy ją określić znając h_{pm} oraz ukształtowanie terenu, na którym lot się odbywa. Ustalenie wysokości (wzniesienia) terenu h_w



Rys. 1. Wysokość bezwzględna h_{pm} , wysokość względna h_z i wysokość terenu h_w . Poziom morza — p. m.

(wzniesienie nad poziom morza) wymaga umiejscowienia położenia samolotu na mapie, co nie zawsze można szybko i dokładnie wykonać. Toteż dla bezpośredniego pomiaru h_z stosuje się specjalne wysokościomierze (akustyczne lub radiowe), pracujące na zasadzie echa. Dają one nieocenione usługi w czasie lotów bez widoczności ziemi.

Jednakże powszechnie jest stosowany w lotnictwie *wysokościomierz ciśnieniowy*, zbudowany na zasadzie aneroidu (barometru membranowego), wyzyskujący do pomiaru wysokości zmienność ciśnienia atmosferycznego z wysokością. Spadek ciśnienia atmosferycznego z wysokością jest bardzo wyraźny i spowodowany tym, że powietrze wskutek ściśłości i grawitacji skupia się w pobliżu ziemi (i tak do wysokości 5,5 km skupia się 1/2 masy całego powietrza otaczającego kulę ziemską; w troposferze zalega 3/4 całej masy, a w stratosferze nieco mniej niż 1/4, powyżej 30 km unosi się zaledwie 1/10), wskutek czego w miarę wzrostu wysokości nacisk górnej warstwy atmosfery jest coraz mniejszy.

Na wielkość ciśnienia wpływają warunki atmosferyczne, toteż ulega ono ciągłym zmianom (wahając się na poziomie morza w granicach 730-780 mm Hg dookoła średniej wartości 760 10 382 kG/m² względnie 1 013,2 mb).

Wspomniany wyżej wysokościomierz ciśnieniowy jest znacznie prostszy, lżejszy i tańszy niż wysokościomierze zbudowane na zasadzie echa, reaguje on tylko na wielkość ciśnienia powietrza otaczającego, toteż wysokość przezeń wskazywaną nazywamy *wysokością ciśnieniową h_c* . Przyrząd taki w zwykłych warunkach lotu zupełnie wystarcza, jednakże nie mierzy ani h_{pm} ani h_z .

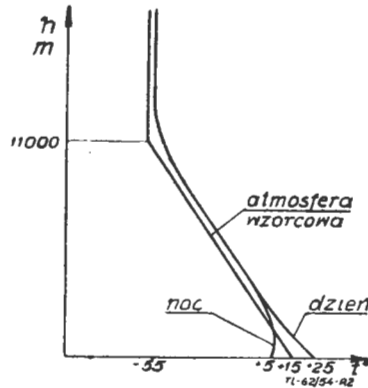
Również i temperatura powietrza zmienia się z wysokością, jednakże przebieg zmienności nie jest tak regularny jak przebieg ciśnienia. Energia słoneczna ogrzewa powierzchnię ziemi, powietrze atmosferyczne przepuszcza promieniowanie słońca i ogrzewa się, poczynając od dolnych warstw, przez konwekcję od powierzchni ziemi. W nocy zjawisko przebiega odwrotnie, powierzchnia ziemi wypromieniowuje ciepło ochładzając się i oziębiając przyległe warstwy powietrza (rys. 2). Warunki nasłonecznienia silnie zmieniają się z porami roku oraz z szerokością geograficzną, co wyraźnie odbija się na przebiegu zmienności temperatury powietrza z wysokością (rys. 3 i 4).

Można by więc określać wysokość lotu za pośrednictwem temperatury. Termometr powietrza należałoby wyskalować wprost w metrach. Ponieważ warstwa powietrza, w której za-

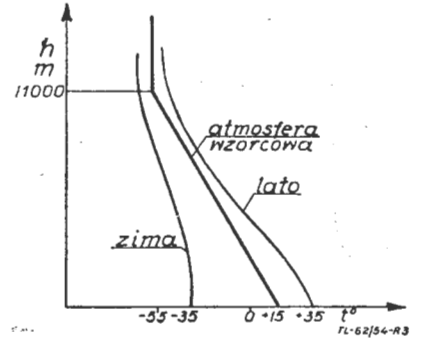
chodzą dzienne wahania temperatury wskutek zmian warunków nasłonecznienia, sięga do 2 — 3 km wysokości, to w tym obszarze termometr byłby bardzo mało przydatny do określania wysokości. Na wysokościach większych, aż do stratosfery, sytuacja uległaby już poprawie. Ponieważ w lotnictwie ważne jest raczej dokładne określanie wysokości mniejszych, termometr w roli wysokościomierza nie znalazł praktycznego zastosowania, a w stratosferze jest w ogóle do tej roli nieprzydatny.

Taki wysokościomierz-termometr określałby wysokość według temperatury h_t , która jako pojęcie ma praktyczne znaczenie w redukcji osiągow samolotów i z tego powodu jest tu wprowadzona.

W mechanice lotu zasadnicze znaczenie ma gęstość powietrza, gdyż warunkuje ona wielkość powstających sił aerodynamicznych oraz określa wydatek powietrza doprowadzanego np. do silnika lotniczego.



Rys. 2. Dobowa zmiana temperatury



Rys. 3. Roczna zmiana temperatury

Traktując powietrze jako gaz doskonały z równania stanu

$$p = Rg \rho T \quad [2.1]$$

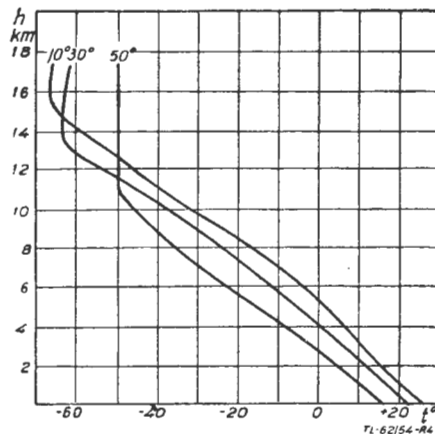
otrzymujemy

$$\rho = \frac{p}{RgT} = f(p, T) = \text{const} \frac{p}{T} \quad [2.2]$$

Widzimy więc, że gęstość powietrza ρ zależy nie tylko od ciśnienia p , ale też i od temperatury T , jednakże nie decydują tu wartości bezwzględne p i T , lecz ich stosunek p/T .

Gęstość powietrza zatem również zmienia się z wysokością, jednakże według innego prawa niż ciśnienie i temperatura, może więc również posłużyć do ułożenia skali wysokościomierza. Wprowadzimy więc pojęcie *wysokości gęstościowej h_g* , która będzie funkcją gęstości powietrza czyli stosunku p/T .

Ponieważ wysokość gęstościowa h_g nie ma znaczenia dla nawigacji ani dla pilotażu, nie są budowane wysokościomierze



Rys. 4. Zmiana temperatury w zależności od szerokości geograficznej

oparte na zasadzie pomiaru p i T . Wysokość gęstościowa znajduje natomiast wyłączne zastosowanie w zagadnieniach związanych z mechaniką lotu.

III. Rzeczywiste i umowne warunki atmosferyczne

W poprzednim rozdziale wykazano, że koniecznym warunkiem określania wysokości według pomiaru ciśnienia h_c , temperatury h_t czy też gęstości h_g powietrza jest istnienie określonego prawa zmienności tych parametrów z wysoko-

ścią. h . Im prawo zmienności jest ściślej określone, tym dokładniej można wyznaczać h . Sama natura takich praw bezpośrednio i ściśle nie określa. Na rys. 5 przedstawione są wyniki sondowania atmosfery, za pośrednictwem którego można określić temperaturę na różnych wysokościach $t = f(h)$. Krzywe na wykresie wzięto z szeregu dni okresu rocznego. Zagęszczenie krzywych uwidacznia ogólną tendencję, poprowadzona linia przechodzi przez $t = 15^\circ$ na wysokości 0 m i $t = -56,5^\circ$ na wysokości 11 km, a wyżej idzie do góry prostopadle do osi temperatur. Te proste odpowiadają warunkom średnim, najczęściej istniejącym i najprawdopodobniejszym — zmienność wyrażoną tymi prostymi przyjęto uważać za warunki Atmosfery Wzorcowej (AW).

Analitycznie te proste można przedstawić za pośrednictwem równań

$$T_h = T_o - K_T \cdot h = 288 \left(1 - \frac{h}{44\,308}\right) \quad [3.1] \quad \text{dla } h \leq 11\,000 \text{ m}$$

$$T_s = 216,5^\circ \text{K} (= -56,5^\circ \text{C}) \quad [3.2] \quad \text{dla } h > 11\,000 \text{ m}$$

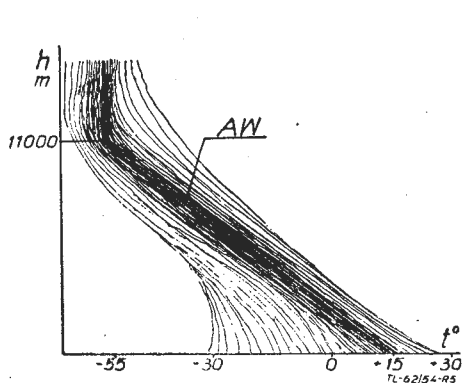
przy czym

$$T_o = t_o + 273 = 288^\circ \text{K} \quad t_s = -56,5^\circ \text{C}$$

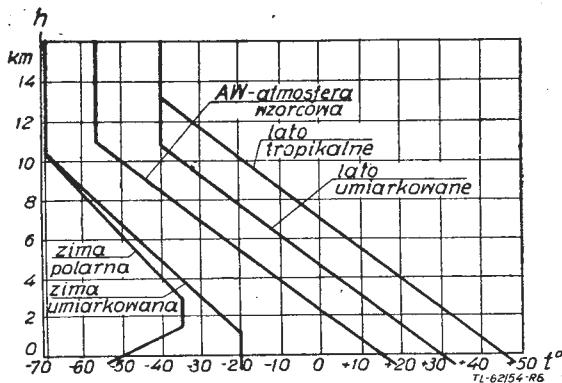
$$K_T = 0,0065^\circ/\text{m} \quad h_s = 11\,000 \text{ m}$$

$$t_o = 15^\circ \text{C}$$

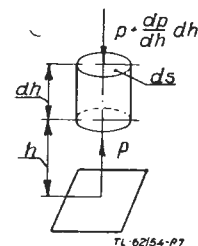
Warunki AW, przedstawione prostymi z rys. 5, są dobre dla średnich szerokości geograficznych i klimatu umiar-



Rys. 5. Wyniki sondowania atmosfery



Rys. 6. Atmosfera Wzorcowa AW oraz warunki dla lata i zimy w klimacie umiarkowanym oraz dla lata tropikalnego i zimy polarnej (wg A. R. B.)



Rys. 7. Elementarny słup powietrza

kowanego dla wiosny lub jesieni i są u nas obowiązujące przy wzorcowaniu przyrządów pokładowych, redukcji osiągnięć i t.p. Dla warunków zimowych lub letnich w klimacie umiarkowanym oraz dla lata tropikalnego i zimy polarnej średnie przebiegi temperatur są inne i gdy zależy na ściślejszym określeniu warunków pracy sprzętu można przyjąć inne warunki wyjściowe. Przedstawione są one na rys. 6.

W ciągu dalszym wyprowadzone będą równania dla AW według rys. 5, która dla nas ma największe znaczenie, dla innych warunków wyjściowych podobne równania mogą być łatwo w analogiczny sposób wyprowadzone.

W celu wyprowadzenia równania wyrażającego zmienność ciśnienia z wysokością rozważamy warunki równowagi elementarnego słupa powietrza (rys. 7). By elementarny słup powietrza mógł być w równowadze, musi być spełnione równanie

$$g \rho dh ds + \left(p + \frac{dp}{dh} dh - p \right) ds = 0$$

$$\frac{dp}{dh} = -g \rho \quad [3.3]$$

Podstawiając równanie [2.1] otrzymamy

$$\frac{dp}{p} = - \frac{dh}{RT} \quad [3.4]$$

Uwzględniając [3.1] i całkując, otrzymamy

$$\frac{p}{p_o} = \left(\frac{T}{T_o} \right)^{\frac{1}{Rk_T}} = \left(1 - \frac{K_T}{T_o} h \right)^{\frac{1}{Rk_T}} \quad [3.5]$$

lub też

$$\frac{p}{p_o} = e^{\frac{-gh}{RT_o}} \quad [3.5a]$$

Uwzględniając [2.2] i [3.5] otrzymamy

$$\sigma = \frac{\rho}{\rho_o} = \frac{p T_o}{p_o T} = \left(\frac{T}{T_o} \right)^{\left(\frac{1}{Rk_T} - 1 \right)} = \left(1 - \frac{K_T}{T_o} h \right)^{\left(\frac{1}{Rk_T} - 1 \right)} \quad [3.6]$$

Przy całkowaniu równania [3.4] przyspieszenie ziemskie g przyjęto za stałe. W rzeczywistości wartość jego się nieco zmniejsza ze wzrostem wysokości. Nieuwzględnienie tego czynnika daje błąd przy obliczeniach p i ρ nie przekraczający 0,25% na wysokości 11 km i 1% na wysokości 20 km.

Wprowadzając stosunek ρ/ρ_o czyli tzw. gęstość względną $\sigma = \frac{\rho}{\rho_o}$ możemy z równań [3.5] i [3.6] obliczyć wysokość

$$h = \frac{T_o}{K_T} \left[1 - \left(\frac{p}{p_o} \right)^{Rk_T} \right] = \frac{T_o}{K_T} \left(1 - \sigma^{\frac{Rk_T}{1-Rk_T}} \right) \quad [3.7]$$

Wreszcie obliczyć można funkcje $b = f(h)$ i $\sigma = f(h)$ jako

$$b = 760 \left(1 - \frac{h}{44\,308} \right)^{5,256} \quad [3.8]$$

$$\sigma = \frac{\rho}{\rho_o} = \frac{T_o p}{p_o T} = 0,379 \frac{b}{T} = \left(1 - \frac{h}{44\,308} \right)^{4,256} \quad [3.9]$$

$$\rho = \rho_o \frac{T_o b}{p_o T} = 0,0474 \frac{b}{T} \quad [3.10]$$

Tabela I

Warunki normalne dla różnych pór roku i stref klimatycznych

		t_o	h	k_T	h_s	t_s
AW	l_t lato tropikalne	45	0 - 13 000	0,0065	13 100	- 40
	l_u lato umiarkowane	30	0 - 10 800	0,0065	10 800	- 40
	atmosfera wzorcowa	15	0 - 11 000	0,0065	11 000	- 56,5
z_u	zimna umiarkowana	- 20	0 - 1 200 1 200 - 10 400	0 0,00544	10 400	- 70
	z_p zimna polarna	- 50	0 - 1 500 1 500 - 3 000 3 000 - 10 400	- 0,010 0 0,00474	10 400	- 70

ponieważ dla AW

$$R = 29,271 \text{ m}^\circ/\text{C}$$

$$b_o = 760 \text{ mm Hg} \quad \rho_o = 0,12497 \approx \frac{1}{8} \text{ kg s}^2/\text{m}^4$$

$$T_o = 288^\circ \text{K} \quad g = 9,8062 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Powyższe obowiązują dla troposfery, tj. do wysokości 11 km. Analogiczne równania dla stratosfery przedstawiają się następująco: Po scałkowaniu równania [3.4] przy $T = T_s = \text{const}$ otrzymujemy

$$\ln \frac{p}{p_s} = - \left(\frac{h - h_s}{R T_s} \right) \quad [3.11]$$

$$\frac{p}{p_s} = e^{- \left(\frac{h - h_s}{R T_s} \right)} \quad [3.12]$$

Uwzględniając równanie [2.2]

$$\frac{\rho}{\rho_s} = \frac{p}{p_s}$$

$$\sigma = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\rho \rho_s}{\rho_s \rho_0} = \sigma_s e^{-\left(\frac{h-h_s}{R T_s}\right)} \quad [3.13]$$

Stąd

$$h = h_s - R T_s \ln \frac{p}{p_s} \quad [3.14]$$

Przekształcając [3.12] i [3.13], ponieważ

$$h_s = 11000 \text{ m}$$

$$\rho_s = 0,0371 \text{ kG s}^2/\text{m}^4$$

$$b_s = 169,64 \text{ mm Hg}$$

$$T_s = 216,5^\circ \text{ K}$$

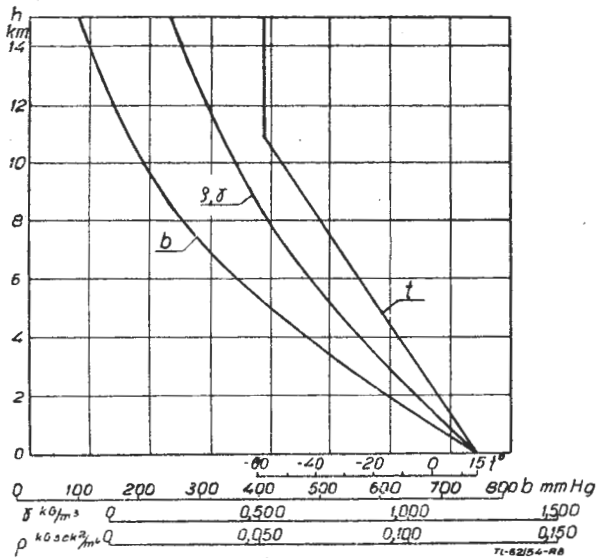
$$\sigma_s = \frac{\rho_s}{\rho_0} = 0,2969$$

$$b = 169,64 e^{-\left(\frac{h-11000}{6340}\right)} \quad [3.15]$$

$$\sigma = 0,2969 e^{-\left(\frac{h-11000}{6340}\right)} = 0,00175 b \quad [3.16]$$

$$\rho = 0,000219 b \quad [3.17]$$

Przebiegi funkcji ρ ; b ; $T = f(h)$ są przedstawione na rys. 8. Warunki AW są u nas, tak zresztą jak i w innych krajach, określone normą (PN/L-02001 „Atmosfera wzorcowa”). Gdy nie ma do dyspozycji tabel określających AW, można szybko obliczyć wartości σ i b według wzorów przybliżonych, nie wymagających logarytmowania i dających dokładność do 2%. Dla wysokości $h \leq 11$ (h w km):



Rys. 8. Przebieg temperatury t , ρ i b w funkcji wysokości dla AW

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{31-h}{31+h}\right)^2 \quad [3.18]$$

$$\sigma = \frac{20-h}{20+h} \quad [3.19]$$

Dla wysokości $h_s = h - 11$:

$$\frac{p}{p_s} = \frac{\rho}{\rho_s} = \left(\frac{26-h_s}{26+h_s}\right)^2 \quad [3.20]$$

Dla naszych celów bardzo dogodny jest wykres $h = f(t)$ pokazany na rys. 9. Proste pionowe są liniami stałych temperatur $T = const$. Proste poziome odpowiadają $\sigma = const$, bowiem według równań [3.9] i [3.16] każdej wysokości h odpowiada określone σ .

Uzupełniamy teraz ten wykres liniami stałych ciśnień

$$b = b' = const$$

Otóż dla danej wysokości h w troposferze mamy według równań [3.9] i [3.6]

$$\sigma = \left(1 - \frac{k_T}{T_0} h\right)^{\left(\frac{1}{Rk_T} - 1\right)} = \frac{b}{b_0} \frac{T_0}{T}$$

dla stałego ciśnienia otrzymamy

$$b = b' \quad b'/b_0 = C$$

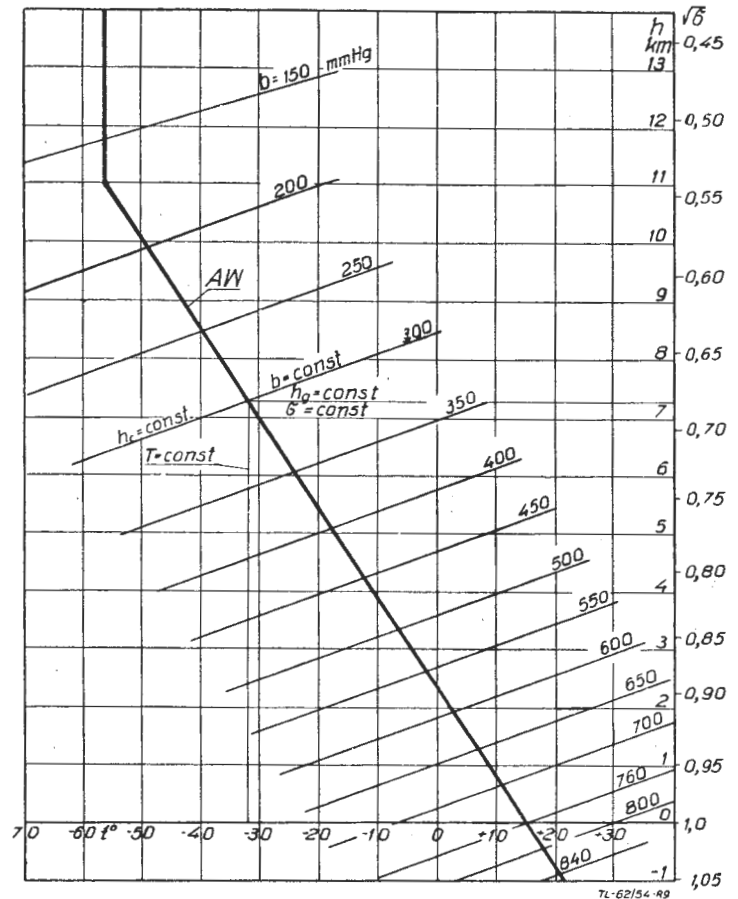
$$T = c T_0 \left(1 - \frac{k_T}{T_0} h\right)^{-\left(\frac{1}{Rk_T} - 1\right)} = f(b'; h) \quad [3.21]$$

Linie $b = const$ mają przebieg niewiele odbiegający od prostych, toteż z niewielkim błędem możemy je zastąpić stycznymi do tych linii w miejscach przecięcia z prostą AW.

Po zróżniczkowaniu równania [3.21] otrzymujemy

$$\frac{dT}{dh_c} = c T_0 \left(\frac{-1}{Rk_T} + 1\right) \left(1 - \frac{k_T}{T_0} h\right)^{-\frac{1}{Rk_T}} \cdot \left(-\frac{k_T}{T_0}\right) = c T_0 \left(1 - \frac{1}{Rk_T}\right) \frac{p_0}{p'} \left(-\frac{k_T}{T_0}\right) = \frac{1}{R} - k_T = 0,0277 \text{ }^\circ/\text{m} \quad [3.22]$$

Pochylenie stycznych jest więc niezależne od wysokości i wynosi $27,7^\circ\text{C}$ na 1000 m wysokości.



Rys. 9. Pełny wykres AW

Postępując analogicznie dla stratosfery otrzymujemy

$$\sigma = \sigma_s \cdot e^{-\left(\frac{h-h_s}{R T_s}\right)} = \frac{T_0}{T} \cdot \frac{p}{p_0} \quad \text{dla } c = \frac{p'}{p_s} = e^{-\left(\frac{h-h_s}{R T_s}\right)}$$

$$T = \frac{T_0}{\sigma} \frac{p'}{p_0} = \frac{T_0}{p_0} \frac{p_s}{\sigma_s} c e^{\left(\frac{h-h_s}{R T_s}\right)} = f(p'; h) \quad [3.23]$$

Styczną w punkcie przecięcia z prostą AW otrzymamy zakładając $C = const$

$$\frac{dT}{dh_c} = \frac{T_0 p_s c}{p_0 \sigma_s R T_s} e^{\left(\frac{h-h_s}{R T_s}\right)} = \frac{T_0}{T_s} \frac{p_s}{p_0} \frac{1}{\sigma_s R} = \frac{1}{R} = 0,0342 \text{ }^\circ/\text{m} \quad [3.24]$$

czyli pochylenie stycznej wynosi $34,2^\circ\text{C}$ na 1000 m.

W oparciu o dane liczbowe według normy AW i uwzględniając pochylenie stycznych według wzorów [3.22] i [3.24] można sporządzić pełny wykres rys. 9.

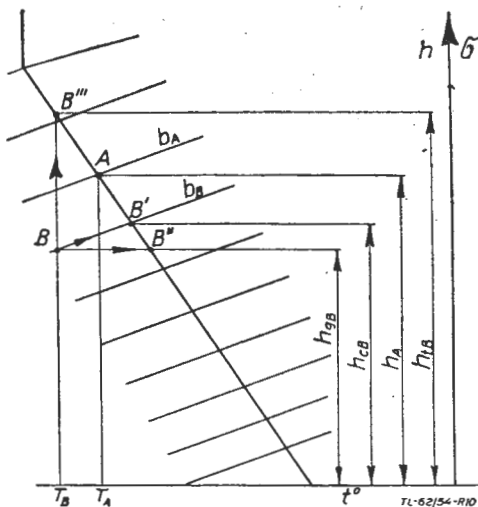
Przeprowadźmy teraz szczegółową analizę warunków lotu w oparciu o ten wykres.

Podczas lotu w dniu wzorcowym będziemy się poruszali wyłącznie po prostej AW. Wtedy pewnej wysokości h_{pm} , na

której panuje b_A i t_A — punkt A — będzie odpowiadała taka sama wysokość ciśnieniowa, gęstościowa i według temperatury, czyli

$$h_{pm} = h_c = h_g = h_t = h$$

Ogólnie jednak biorąc w warunkach rzeczywistych na danej wysokości h_{pm} panowały inne ciśnienie i temperatura niż by to wynikało z AW. Punkt B, odpowiadający aktualnym b_B i t_B łatwo znajdziemy na wykresie — rys. 10. Posuwając się od B po linii $b = \text{const}$, dojdziemy do punktu B', który

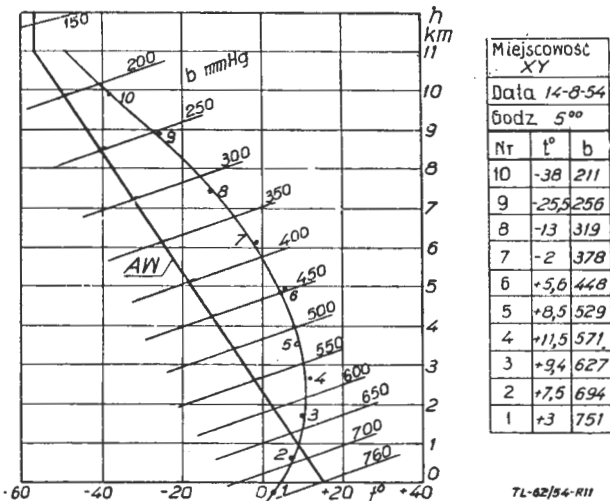


Rys. 10. Warunki normalne (wzorcowe) i warunki dnia (aktualne)

określi teraz wysokość ciśnieniową h_c , którą to wysokość wskaże wysokościomierz zainstalowany na samolocie (wysokościomierz oczywiście wyskalowany według AW). Punktu B' odpowiada to samo ciśnienie co i B, temperatury są wprawdzie inne, ale na to wysokościomierz nie reaguje.

Przesuwając się od B po linii $\sigma = \text{const}$ dochodzimy do punktu B'', który określa wysokość gęstościową h_g . Punktu B'' odpowiada inne b i t niż w punkcie B, jednakże wartość σ proporcjonalna do b/T jest ta sama.

Przesuwając się od B po linii $T = \text{const}$ dojdziemy do punktu B''', który określa wysokość według temperatury



Rys. 11. Krzywa dnia na wykresie AW

h_t . Punktu B''' odpowiada inne b niż w punkcie B, jednakże wartość T jest ta sama.

Widzimy, że w warunkach atmosfery rzeczywistej

$$h_{pm} \neq h_c \neq h_g \neq h_t$$

przy czym h_c , h_g i h_t łatwo wyznaczyć mając dane b i t .

Gdy danemu b odpowiada temperatura T wynikająca z AW, to wtedy

$$h_g = h_c = h_t = h_{pm}$$

Jeżeli teraz danego dnia zmierzmy b i t na szeregu wysokości, to na wykresie — rys. 11. — odpowiadać temu będzie szereg punktów, przez które poprowadzić można krzywą. Będzie to tzw. krzywa dnia — przedstawia ona panujący

w danym dniu rzeczywisty przebieg zmienności b i t w funkcji wysokości. Krzywa ta będzie miała przebieg więcej lub mniej regularny i będzie na ogół odbiegała od prostej AW.

Określenie wysokości h_c , h_g i h_t według wykresu krzywej dnia dla danych b i t nie nastęrcza trudności. Poniżej przedstawimy zależności analityczne dla h_c , h_g i h_t odpowiadających danym b i t .

Gdy

$$b \geq 169,64 \text{ mm Hg}$$

to

$$h_c = \frac{T_o}{k_T} \left[1 - \left(\frac{p}{p_o} \right)^{Rk_T} \right] = 44308 \left[1 - \left(\frac{b}{760} \right)^{0,1903} \right] = f(b) \quad [3.25]$$

gdym

$$b < 169,64 \text{ mm Hg}, \text{ to}$$

$$h_c = h_s - RT_s \ln \frac{p}{p_s} = 11000 - 6337 \ln \left(\frac{b}{169,64} \right) \quad [3.26]$$

Gdy

$$\frac{b}{T} \geq 0,7835 \text{ mm Hg/}^\circ\text{C}$$

$$h_g = \frac{T_o}{k_r} \left[1 - \left(\frac{T_o}{p_c} \frac{p}{T} \right)^{\frac{Rk_T}{1 - Rk_T}} \right] = 44308 \left[1 - \left(0,379 \frac{b}{T} \right)^{0,2322} \right] = f(b; T) \quad [3.27]$$

gdym

$$\frac{b}{T} < 0,7835 \text{ mm Hg/}^\circ\text{C}$$

$$h_g = h_s - RT_s \ln \frac{T_s}{p_s} \frac{p}{T} = 11000 - 6337 \ln \left(1,276 \frac{b}{T} \right) \quad [3.28]$$

Gdy

$$T \geq 216,5^\circ\text{K} \quad t \geq -56,5^\circ\text{C}$$

$$h_t = \frac{T_o - T}{k_T} = \frac{288 - T}{0,0065} = f(T) \quad [3.29]$$

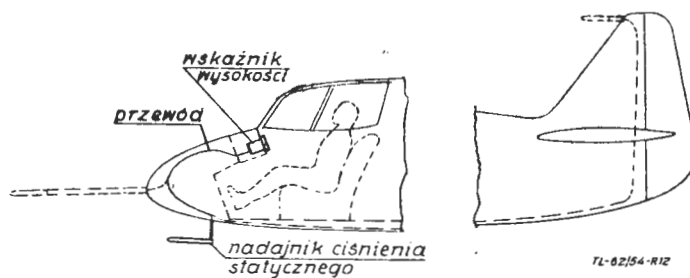
gdym

$$T < 216,5^\circ\text{K} \quad t < -56,5^\circ\text{C}$$

to pojęcie wysokości według temperatury traci sens.

IV. Budowa i działanie wysokościomierza ciśnieniowego

Podstawowe samolotowe urządzenie do określania wysokości lotu — wysokościomierz ciśnieniowy — składa się z nadajnika ciśnienia statycznego, wskaźnika wysokości (zwanego w skrócie wysokościomierzem) oraz przewodu łączącego nadajnik ze wskaźnikiem (rys. 12).



Rys. 12. Instalacja wysokościomierza ciśnieniowego na samolocie

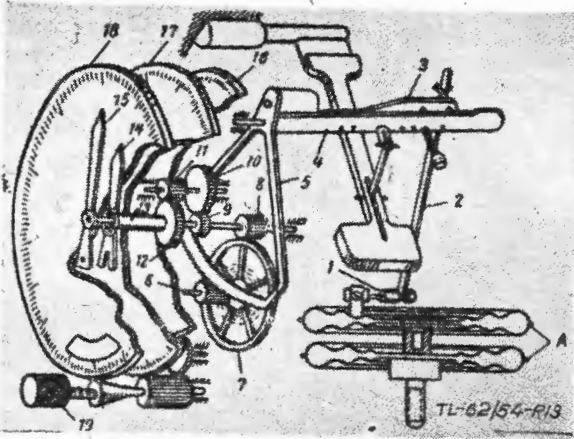
Omówienie wskaźników

Wskaźnik wysokościomierza ciśnieniowego (rys. 13) jest manometrem mierzącym ciśnienie statyczne powietrza otaczającego. zasadniczym jego elementem jest układ puszek membranowych, wykonanych z blachy brązowej o grubości poniżej 1 mm. Z wnętrza puszek zostaje usunięte powietrze w celu uzyskania próżni (uzyskuje się obniżenie ciśnienia do 0,1 — 0,2 mm Hg). Puszki membranowe są umieszczone w szczelnej puszcze przyrządu, do której z kolei doprowadza się ciśnienie statyczne z nadajnika. Pod wpływem zmian ciśnienia statycznego puszki membranowe odkształcają się, przy czym te odkształcenia przenoszą się za pośrednictwem odpowiedniego mechanizmu na wskaźówkę, która na skali wskazuje cyfry, określające bezpośrednio wysokość (rys. 14). Mechanizm przeniesienia ruchu jest tak skompensowany termicznie*) i masowo, że zmiany temperatury ani przyspieszenia nie oddziałują na ruch wskaźówki. Ponadto przyrząd jest zwykle zaopatrzone w gałkę do obracania skali dla dostosowywania początku skali

*) Patrz K. Głębiński „Kompensacja termiczna przyrządów pokładowych” „Technika Lotnicza” nr 4/52, s. 111.

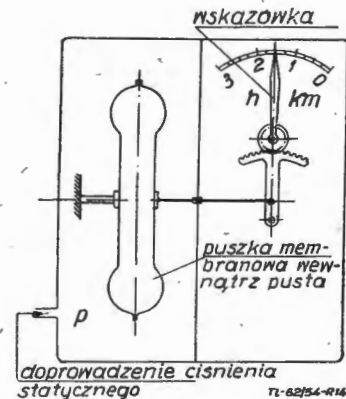
do aktualnych warunków atmosferycznych oraz w śrubę regulacyjną dla nastawiania wskazówki na zero.

Są budowane szybkościomierze zwykle o zakresie od 0 do 3, 5, 8 względnie 10 km, zaopatrzone w jedną wskazówkę, przemierzającą całą skalę przy jednym obrocie — rys. 15. Z racji małej do-

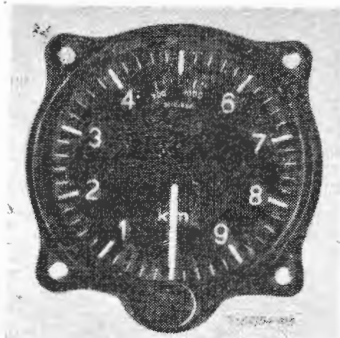


Rys. 13. Wskaźnik wysokościomierza ciśnieniowego
A — zespół puszek membranowych, 1 — kompensacja termiczna pierwszego stopnia, 2 — popychacz, 3 — kompensacja termiczna drugiego stopnia, 4 — wałek główny, 5 — sektor, 6 — zębniak, 7, 8, 9, 10, 11, 12 i 13 — kółka zębate przekładni, 14 — wskazówka mała, 15 — wskazówka duża, 16 — płyta podstawowa, 17 — tarcza ze skalą ciśnienia, 18 — tarcza ze skalą wysokości, 19 — gałka do zmiany położenia tarczy 17 względem tarczy 18

kładności wychodzą one obecnie z użycia. Coraz szerzej są natomiast stosowane wysokościomierze dokładne o zakresie 10—20 km (rys. 16). Pełny obrót dużej wskazówki odpowiada 1 000 lub 500 m, wielokrotności zaś skali głównej są uwidoczniane liczbami ukazującymi się w specjalnym okienku lub też za pośrednictwem dru-



Rys. 14. Schemat wskaźnika wysokościomierza ciśnieniowego



Rys. 15. Wysokościomierz zgrubny o zakresie do 10 km

giej, współosiowej, mniejszej wskazówki. Średnica nominalna puszek wynosi najczęściej 80 mm, długość puszek 40 do 80 mm. Końcówka dla podłączenia przewodu ciśnienia statycznego mieści się na ścianie tylnej, ma średnicę zwykle 6 mm i długość około 20 mm. Ciężar wskaźnika wynosi od 0,5 do 0,40 kg.

Przewody

Jako przewód stosuje się rurkę aluminiową o średnicy 6/4 mm lub dla większych długości 8/6 mm. W miejscach podziału stosuje się złącza diurytowe (guma z przekładkami płóciennymi), nasuwane na końce rurek i zaciskane opaskami. Przewód winien być tak prowadzony, by długość jego była jak najmniejsza i żeby było jak najmniej zmian kierunku — podyktowane to jest troską o jak najmniejsze opory przepływu. W locie na stałej wysokości nie jest to takie ważne, natomiast przy szybkich zmianach wysokości — gdy powstaje przepływ powietrza w przewodach — zbyt duże opory przepływu mogą powodować opóźnienia we wskazywaniu wysokościomierza. Decydujący wpływ ma tu średnica przewodu, opory przepływu są proporcjonalne do czwartej potęgi tej średnicy*, z tych względów najmniejsza średnica wewnętrzna nie może spaść poniżej 3 mm.

Błąd aerodynamiczny

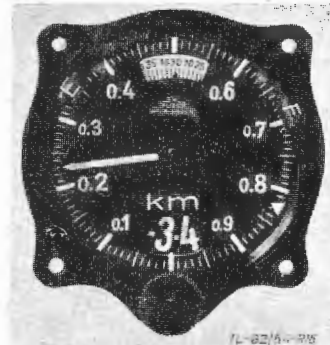
Uzyskanie w czasie lotu ciśnienia statycznego w niesfałszowanej wielkości jest o wiele trudniejszy niżby się to na pierwszy rzut oka wydawało. Najbardziej popularnym nadajnikiem ciśnienia statycznego b jest rurka, zamknięta i zaokrąglona z przodu, z otworkami umieszczonymi na pobocznicy.

Te otworki komunikują się z komorą zbiorczo-wyrównawczą wewnątrz rurki, dalej przewodem ciśnienie statyczne może być doprowadzone do wskaźnika wysokościomierza.

W warunkach lotu ciśnienie statyczne uzyskane za pośrednictwem takiego nadajnika, umieszczonego zawyczaj na skrzydle, czy też na kadłubie samolotu, nie odpowiada ściśle wartości ciśnienia w niezaburzonemu strumieniu. Ciśnienie statyczne w rzeczywistej wartości występuje tylko w dużej odległości od samolotu lub też przy braku ruchu względnego „samolot-powietrze”, co np. ma miejsce w przypadku lotu balonu wolnego.

Odchyłka ciśnienia statycznego zrealizowanego w nadajniku ciśnienia b' (p') od rzeczywistej jego wartości b (p) jest spowodowana następującymi przyczynami:

- a) rurka nadajnika posiada pewne wymiary i kształt, wywołujące już pewne zakłócenia strumienia,
- b) w różnych warunkach lotu zmienia się kąt natarcia samolotu, a co za tym idzie — i kąt natarcia α rurki, która jest zazwyczaj sztywno umocowana na samolocie,
- c) w bezpośrednim sąsiedztwie samolotu wytwarza się pole zmiennych ciśnień statycznych, wywołanych ruchem samolotu względem powietrza i wytwarzających siły aerodynamiczne,
- d) w locie szybkim w pewnych miejscach wpływu mogą powstać fale uderzeniowe, znacznie zmieniające wartość ciśnienia statycznego w obszarze za frontem fali.

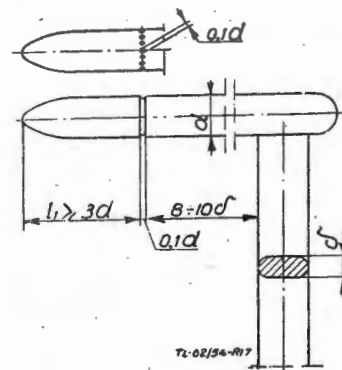


Rys. 16. Wysokościomierz dokładny, okienkowy o zakresie do 10 km

Ad a). Z tego względu nie jest obojętny kształt i wielkość rurki nadajnika oraz rodzaj i rozmieszczenie otworków. Typowa rurka jest przedstawiona na rys. 17. Powietrze wpływając rurkę doznaje pewnego przyrostu prędkości, skutkiem czego ciśnienie statyczne nieco spada. Spadek ciśnienia najlepiej wyrazić współczynnikiem

$$\Delta \bar{p} = \frac{p' - p}{q} \quad \text{zaś } \Delta p = p' - p \quad [4.1]$$

Na rys. 18 przedstawiono zależność $\Delta \bar{p}$ od liczby Macha wpływu i od położenia otworków. Z tego wykresu widać, że otworki muszą być umieszczone możliwie daleko w tyle, przy stosowanej w zwykłych rurkach odległości 3d, gdzie d jest średnicą zewnętrzną rurki, błąd*) jest rzędu 0,01 i dopiero odległość 13,5d daje znikomy błąd.



Rys. 17. Rurka aerodynamiczna — nadajnik ciśnienia atmosferycznego

Wartość p' można zwiększyć w sztuczny sposób, np. przez zwiększenie średnicy rurki w partii poza otworkami, przez umieszczenie tam kryzy lub też występu. W przypadku rurki według rys. 17 rolę takiego występu gra trzon prostopadły do osi rurki, służący do zamontowania rurki na płatowcu.

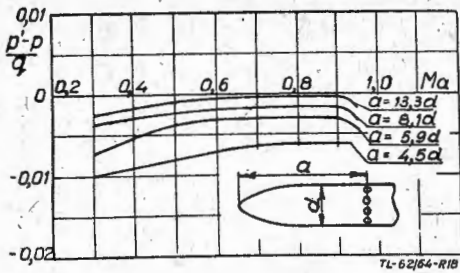
Ze względu na wpływ skali liczba Reynoldsa rurki nie może być mniejsza od 2 300, przy czym jako wymiar liniowy

we wzorze $Re = \frac{vl}{\nu}$ należy przyjąć średnicę d.

*) Patrz H. Davies: „Badania w locie przy prędkościach poddźwiękowych” „Technika Lotnicza” nr 2/49 s. 62.

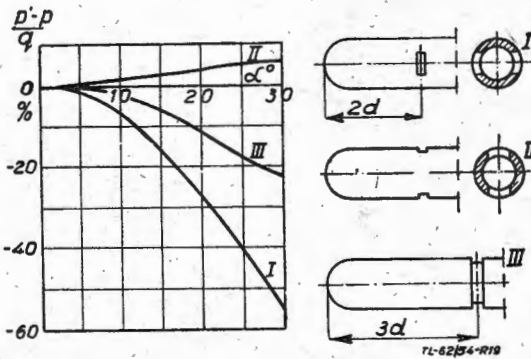
*) Wyjaśnienie pojęć „błąd-poprawka” — patrz „Technika Lotnicza” nr 2/53, s. 57.

Ad b). Odchylenie osi rurki od kierunku strumienia większe niż $\alpha > 5^\circ$ powoduje już błąd w wartości ciśnienia statycznego. Wpływ rodzaju i umieszczenia otworków na wiel-



Rys. 18. Wpływ liczby Macha i położenia otworków na wielkość błędu $\frac{p' - p}{q}$ nadajnika ciśnienia statycznego

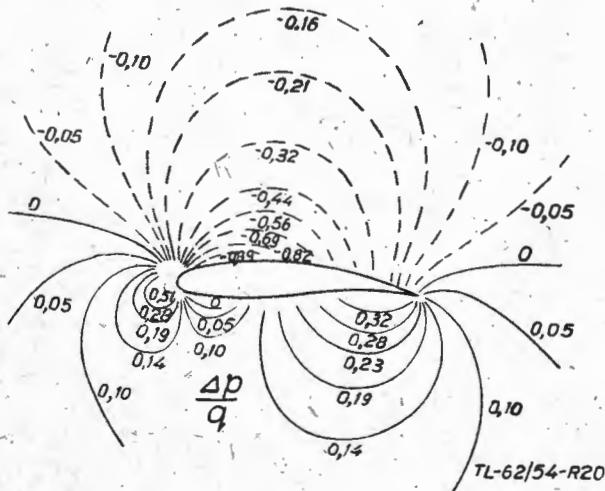
kość tego błędu jest widoczny z rys. 19. Umieszczenie szeregu otworków na obwodzie rurki daje ten sam efekt co szczelina obwodowa. Szczelina jest wprawdzie bardziej podatna na uszkodzenie mechaniczne, jednakże w razie zalewa-



Rys. 19. Wpływ położenia i kształtu otworków na wielkość błędu $\frac{p' - p}{q}$ w funkcji kąta natarcia nadajnika ciśnienia statycznego

nia przez deszcz mniej „zatyka się” w porównaniu do otworków o tej samej średnicy co szerokość szczeliny. Wyeliminowanie błędów, spowodowanego skośnym opływem, jest możliwe tylko w przypadku zastosowania samonastawnej rurki nadajnika, co czasem się stosuje w specjalnych celach.

Ad c). Rozkład ciśnień wokół profilu skrzydła i wokół kadłuba samolotu przedstawiony jest przykładowo na rys. 20 i 21. Rozkłady te są funkcją kąta natarcia, kąta ślizgu, liczby

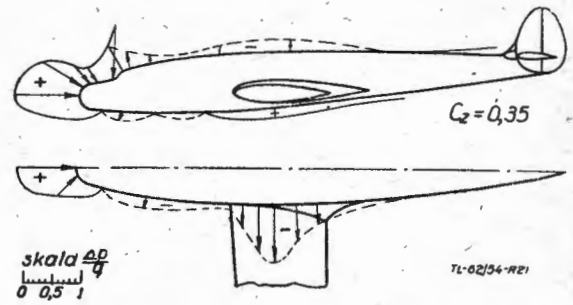


Rys. 20. Rozkład ciśnień wzdłuż profilu płata (grubość profilu 14%, $c_z = 0,8$)

Macha, działania strumienia zaśmigłowego, położenia klap oraz skrzeli itp. Same zaś wartości p zależą także od prędkości lotu.

Dla umieszczenia rurki nadajnika ciśnienia szukamy takiego miejsca, by błąd ciśnienia Δp był jak najmniejszy i mało zmienny z kątem natarcia oraz położeniem, np. klap (czyli

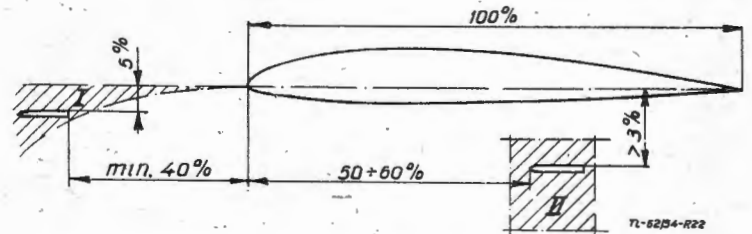
przy zmianach konfiguracji samolotu). Ze względów użytkowych jest ważne, aby rurka była umieszczona w miejscu mało podatnym na uszkodzenia przy manewrowaniu i obsłudze samolotu. Nieumiejętne umieszczenie rurki może powodować znaczne błędy w wartości p ; to Δp powoduje również błąd wskazań prędkościomierza podłączonego do tego źródła ciśnie-



Rys. 21. Rozkład ciśnień wzdłuż kadłuba samolotu

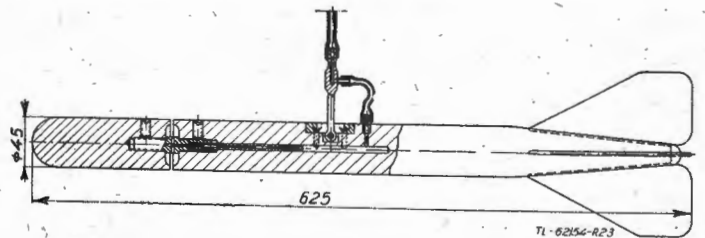
nia statycznego, przy czym w skrajnych przypadkach błąd wskazań prędkości może dojść do 10% w locie podróznym i powyżej 15% przy przeciągnięciu. Zwykle wymaga się, aby błąd ΔV nie był większy niż 3% w locie podróznym, by przy przeciągnięciu było $\Delta p > 0$, wtedy prędkościomierz podłączony do takiego nadajnika ciśnienia statycznego wskaże mniejszą od rzeczywistej prędkości lotu, co stanowi ostrzeżenie dla pilota. Przy wychyleniu klap błąd ΔV nie powinien przekraczać 5 — 10%.

Na rys. 22 przedstawione są miejsca odpowiednie do umieszczenia rurki nadajnika na skrzydle. Obszar I wymaga stosowania stosunkowo długiego masztu, minimalna jego długość równa się $0,4 c$ (c lokalna cięciwa skrzydła), nawet zaś przy $1,0 c$ uwidoczni się wpływ kąta natarcia na Δp . Jeżeli chodzi o położenie względem rozpiętości skrzydła, to umieszcza się rurkę bliżej końca skrzydła, unikamy wtedy wpływu strumienia zaśmigłowego, a że zwykle skrzydło jest zbież-



Rys. 22. Dogodne miejsca położenia rurki aerodynamicznej — nadajnika ciśnienia statycznego w sąsiedztwie płata samolotu

ne, to i długość masztu wypada mniejsza. Zwykle stosuje się odległość od końca skrzydła $0,2 — 0,5 s$, gdzie s — połowa jego rozpiętości. Obszar II jest korzystniejszy ze względów użytkowych, wychylenie klap powoduje jednak większy



Rys. 23. Sonda statyczna, stosowana do prędkości lotu 450 km/h — ciężar własny 7 kg

wpływ, zachowanie przy przeciągnięciu jest korzystne ze względu na wskazania prędkościomierza.

Gdy rurka ma być umieszczona na kadłubie, to poleca się obszar — linia pełna na rys. 12 — lub też umieszczenie rurki przed kadłubem na długim maszcie. Ten drugi sposób przede wszystkim dla samolotów szybkich. Korzystnym miejscem umieszczenia rurki jest szczyt statecznika pionowego. Przy umieszczeniu rurki w pobliżu kadłuba należy się liczyć z większymi błędami w razie ślizgu, gdy rurka nie jest umieszczona symetrycznie względem strug powietrza. Oczywiście umieszczenie rurki w strumieniu zaśmigłowym lub też w obszarze martwego opływu jest niedopuszczalne.

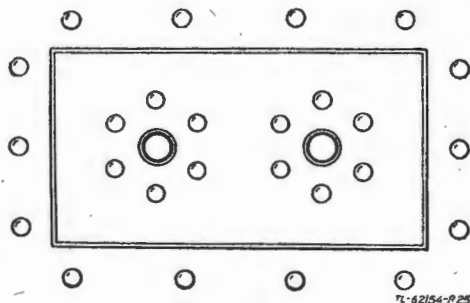
Radykalnym sposobem wyeliminowania błędu ciśnienia statycznego, spowodowanego oddziaływaniem samolotu, jest znaczne odsunięcie nadajnika poza obręb zaburzeń, wywołanych ruchem samolotu, co można zrealizować za pomocą sondy statycznej.

Sonda statyczna — rys. 23 — przedstawia bryłę opływową, w części przedniej jest umieszczony nadajnik ciśnienia. Sonda jest podwieszona na kablu, z którym jest zespolony przewód ciśnienia statycznego, prowadzący od otworków na rurce nadajnika aż do samolotu. Dla zapewnienia stateczności sonda, oprócz stateczników, umieszczonych w części tylnej, posiadać musi dostateczny ciężar, by w czasie lotu kabel podwieszający był odpowiednio wyprężony. Przy pręd-



Rys. 24. Sonda statyczna — w czasie wypuszczania z samolotu, pełna długość kabla podwieszającego wynosi ok. 20 m

kości lotu do 250 km/h ciężar sondy nie może być mniejszy od 2 — 3 kG. Dla prędkości 400 — 450 km/h ciężar wynosi już 6—7 kG. W tych warunkach sonda umiejscawia się nie za bardzo z tyłu za samolotem, a raczej pod nim, przy długości kabla rzędu 1 — 2-krotnej rozpiętości samolotu, błąd ciśnienia sondy nie przekracza 0,2 — 0,3%, co zupełnie wystarcza



Rys. 25. Otworki do pobierania ciśnienia statycznego umieszczone na ścianie kadłuba

do wzajemnego porównania wskazań wysokościomierza podłączonego do zwykłego nadajnika, umieszczonego na samolocie i wysokościomierza, podłączonego do sondy. Ponieważ kształt rurki nadajnika na sondzie może być bardzo starannie opracowany, sama sonda ustawia się dokładnie równoległe do kierunku strug i zajmuje położenie w dość dużej odległości od samolotu, to praktycznie pozwala ona wyeliminować błędy nadajnika, omówione w punktach a), b) i c) (rys. 24).

Dla celów pomiarowych pobiera się często ciśnienie statyczne p za pośrednictwem otworków umieszczonych wprost na bocznej ścianie kadłuba (rys. 25). Odpowiednie miejsce ustala się w czasie dmuchań modelu w tunelu aerodynamicznym. Zwykle takie miejsce można znaleźć na wysokości osi kadłuba o odległości 0,1 — 0,2 l_k od krawędzi natarcia statecznika poziomego (l_k — długość kadłuba). Dla uniknięcia wpływu ślizgu umieszcza się dwa otworki symetrycznie (lub też asymetrycznie — ze względu na asymetrię strumienia zaśmigłowego) po obu stronach kadłuba i łączy wspólnym przewodem, ze środka którego odprowadza się przewód do wysokościomierza. Czasem otworki umieszcza się na przedniej części kadłuba (gdy w niej nie ma silnika).

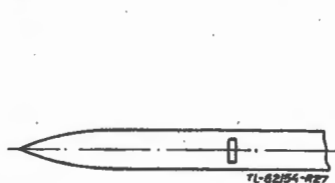
Ad d). Gdy liczba Macha w locie nie przekracza 0,7 — 0,8, to ściśliwość powietrza nie wpływa na wartości ciś-

nienia statycznego, uzyskiwanego za pośrednictwem zwykłej rurki. Przy $Ma > 0,7$ — 0,8 na pewnych elementach samolotu pojawiają się już fale uderzeniowe z towarzyszącymi

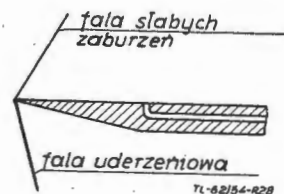


Rys. 26. Fala uderzeniowa pojawiająca się przed rurką aerodynamiczną przy przepływie nadźwiękowym

im gwałtownymi zmianami parametrów przepływu. Rurka nadajnika nie może się znajdować w obszarze występowania fal uderzeniowych, z reguły umieszcza się ją na długim



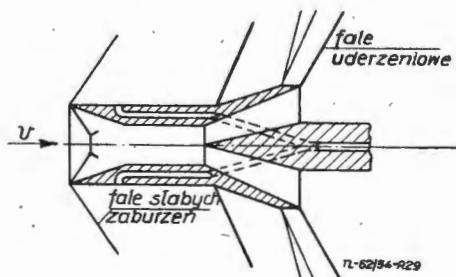
Rys. 27. Zaostrzona rurka aerodynamiczna dająca ciśnienie statyczne bez większego błędu aż do $Ma = 0,95$



Rys. 28. Sposób uzyskania ciśnienia statycznego za pośrednictwem klina — w obszarze prędkości nadźwiękowych

maszcie przed kadłubem lub skrzydłem. Sytuacja jest jednak skomplikowana o tyle, że na samej rurce też pojawiają się fale uderzeniowe (rys. 26).

W celu opóźnienia pojawienia się fali uderzeniowej staramy się zmniejszyć możliwie gradient prędkości na przed-



Rys. 29. Nadajnik ciśnienia statycznego dla przepływu nadźwiękowego zbudowany na zasadzie wg rys. 28

niej części rurki przez nadanie jej zaostrzonego kształtu (rys. 27). Można tu otrzymać ciśnienie statyczne bez większego błędu do $Ma \leq 0,95$.

Przy opływie nadźwiękowym działania fali uderzeniowej można uniknąć stosując klin przedstawiony na rys. 28. Fala uderzeniowa tworzy się po stronie skośnie ściętej, na stronie płaskiej wytwarza się jedynie fala małych zaburzeń, nie wywołująca większych zmian parametrów przepływu z tej powierzchni można odprowadzić ciśnienie statyczne do wysokościomierza. Nadajnik zbudowany na tej zasadzie jest przedstawiony na rys. 29. Może on znaleźć zastosowanie przy $Ma > 1,0$, przy czym należy zwrócić uwagę na zachowanie zerowego kąta natarcia i ślizgu nadajnika.

Wymienione wyżej cztery przyczyny błędu w realizowaniu ciśnienia statycznego są natury aerodynamicznej, w przypadku instalacji wysokościomierza na samolocie są zwykle rozpatrywane razem, przy czym poprawka konieczna do uwzględnienia tego błędu we wskazaniach wysokościomierza nazywa się poprawką aerodynamiczną lub też poprawką położenia Δh_a jako że jest wywołana umieszczeniem nadajnika ciśnienia na samolocie.

Jednym z przyrządów pozwalających na wyznaczenie poprawki aerodynamicznej jest opisana już sonda statyczna. Nie może być jednak ona stosowana do prędkości większych

od 400—450 km/h — przyjmuje ona w warunkach lotu szybkiego położenie w strumieniu zaburzeń za samolotem.

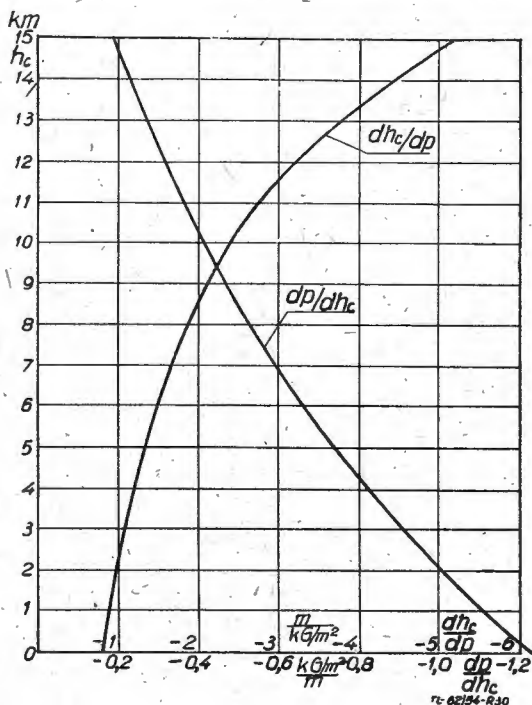
Inny sposób wyznaczenia poprawki aerodynamicznej polega na wykonaniu lotu na małej wysokości względem jakiegoś wzniesienia, np. wieży. Gdy samolot przelatuje dokładnie na wysokości wieży, odczytuje się jednocześnie wskazania wysokościomierza samolotowego oraz wysokościomierza umieszczonego na wieży, powtarzając pomiar dla szeregu prędkości i różnych konfiguracji samolotu.

Oprócz tych metod bezpośrednich poprawka aerodynamiczna może być obliczona według przeprowadzonego wzorcowania prędkościomierza samolotowego na bazie, przy czym tę metodę stosuje się najczęściej w praktyce.

Prędkościomierz wymaga doprowadzenia zarówno ciśnienia całkowitego jak i statycznego (ciśnienie całkowite p_c jest doprowadzane do przyrządu w rzeczywistej wielkości nie dając powodu do powstania błędu — co wynika z prawa

Bernoulli'ego $p_c = p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const}$ dla rurki prądu), wyka-

zuje więc, podobnie jak instalacja wysokościomierza, błąd aerodynamiczny. Znając ten błąd dla prędkościomierza można określić wartość Δp , a stąd i Δh_a dla wysokościomierza podłączonego do tego samego układu ciśnienia statycznego.



Rys. 30. Zmienność dp/dh_c i dh_c/dp w funkcji wysokości dla AW

Poprawka aerodynamiczna była wyrażana jako Δh_a lub też jako Δp , wyprowadzić należy więc związek między tymi dwiema poprawkami.

Różnica ciśnienia Δp , powodująca różnicę wysokości, Δh_a wyrazi się wzorem

$$\Delta p = - \frac{dp}{dh_c} \Delta h_a \quad [4.2]$$

Różniczkując równanie [3.5] otrzymamy dla troposfery

$$\frac{dp}{dh_c} = - \frac{K_T}{T_0} \frac{p_0}{RkT} \left(\frac{p}{p_0} \right)^{1-RkT} = - 1,2254 \left(\frac{b}{760} \right)^{0,80971} \frac{kG}{m^2/m} \quad [4.3]$$

Biorąc pod uwagę równanie [3.12] dla stratosfery, otrzymamy po zróżniczkowaniu

$$\frac{dp}{dh_c} = -g \rho_s \frac{p}{p_s} = - 1,5781 \cdot 10^{-4} p = - 0,002124 b \frac{kG}{m^2/m} \quad [4.4]$$

Wartość $\left(\frac{dp}{dh_c} \right)$ dla warunków AW jest funkcją wysoko-

ści-ciśnienia, może być obliczona ze wzorów [4.3] i [4.4]. Przedstawiona jest na rys. 30. Znając poprawkę ciśnienia statycznego Δp ze wzoru [4.2] łatwo obliczyć poprawkę aerodynamiczną względnie położenia instalacji wysokościomierza

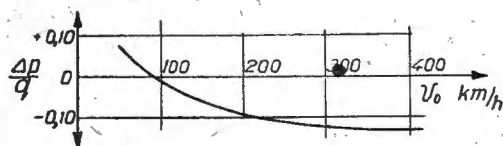
$$\Delta h_a = - \left(\frac{dh_c}{dp} \right) \Delta p = f(p, \Delta p) \quad [4.5]$$

Tak np. błąd ciśnienia 2 mm Hg czyli $\Delta p = 27 \text{ kg/m}^2$ powoduje na wysokości 0 m AW różnicę wysokości 22 m, na wysokości 8 000 m AW — 48,9 m, a na wysokości 14 000 m AW — 120 m.

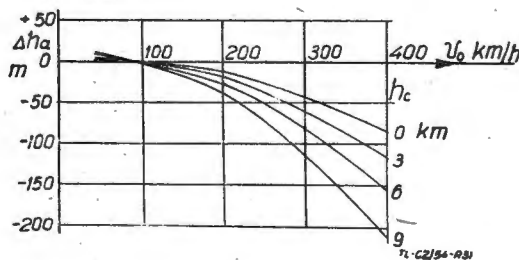
$$\text{Tak więc} \quad h_c = h_m + \Delta h_a \quad [4.6]$$

gdzie h_m jest wysokością zmierzoną za pośrednictwem wysokościomierza umieszczonego na samolocie, czyli wysokością wskazywaną poprawioną o błąd aerodynamiczny.

Rozkład ciśnienia wyrażony w postaci $\frac{\Delta p}{q}$ (patrz np. rys. 20



v_0 km/h	50	100	200	300	400		
$\frac{\Delta p}{q}$	-	+0,06	-0,02	-0,09	-0,12	-0,13	
q kg/m ²	12,1	48,3	193	435	772		
Δp kg/m ²	+0,726	-0,966	-17,39	-52,1	-100,4		
Δh_a m	0	0,8	+0,58	-0,77	-13,9	-41,7	-80,4
	3	1,1	+0,80	-1,06	-19,1	-57,3	-110,3
	6	1,5	+1,09	-1,45	-26,1	-78,2	-150,8
	9	2,1	+1,53	-2,03	-36,5	-109,2	-211,0
h_c km	$\frac{dh_c}{dp}$ km/kgm ²						



Rys. 31. Przykład obliczenia poprawki aerodynamicznej Δh_a w funkcji prędkości lotu v_0 i wysokości lotu h_c według pomierzonych $\frac{\Delta p}{q} = f(v_0)$

dla profilu o grubości 14% przy $c_z = 0,80$), powodujący błąd Δh_a , jest zależny od kąta natarcia, a więc i od c_z . W warunkach ustalonego lotu danemu c_z odpowiada określona prędkość równoważna lotu $v_0 = v \sqrt{\sigma}$

$$\frac{Q}{S} = \frac{1}{2} \rho_0 v_0^2 c_z$$

Dla określonego położenia nadajnika zachodzi więc za-

leżność $\frac{\Delta p}{q} = f(v_0)$. Z kolei można obliczyć funkcję $\Delta p = f(v_0)$

bo $q = \frac{1}{2} \rho_0 v_0^2$, a dalej posługując się wzorem [4.5] poprawkę aerodynamiczną wysokościomierza Δh_a , przy czym wykreślamy szereg krzywych dla różnych wartości h_c , gdyż $\Delta h_c = f(v_0; h_c)$. Przykład odpowiednich wykresów i tabeli przeliczeniowej podano na rys. 31.

Mgr inż. JERZY WOLF

Uciszenie hamowni silników lotniczych

621.45.001.573:621.5

Artykuł omawia aktualne zagadnienia tłumienia hałasu silników tłokowych i odrzutowych na hamowniach. Podano w nim źródła hałasów silnikowych, charakter hałasów i metody tłumienia. W kolejności rozwojowej zostały opisane i porównane rozwiązania konstrukcyjne tłumików hamownianych. Zwrócono uwagę na kilka specyficznych problemów, z którymi muszą się liczyć przede wszystkim silnikowcy, zainteresowani budową tłumika dla silnika odrzutowego.

1. Wstęp

Tłumienie hałasu silników lotniczych na hamowniach, to znaczy uciszenie hamowni, jest zagadnieniem nabierającym stale wagi wobec dążenia do osiągania coraz większych ciągów. Niestety, ze wzrostem ciągu lub mocy związany jest wzrost natężenia dźwięków, jakich źródłem jest silnik lotniczy. Wprawdzie rozwój silników tłokowych dużych mocy jest ograniczony przy obecnych tendencjach konstrukcyjnych i wobec nierównej konkurencji z silnikiem odrzutowym, jednakże już dla mocy niewiele wyższych od 1000 KM zachodzi wyraźna konieczność zastosowania tłumienia.

W przeciwieństwie do silników tłokowych, rozwój silników odrzutowych postępuje niezmiernie szybko w kierunku osiągania maksymalnych ciągów i stosowania coraz większych prędkości wylotu gazów, od których zależą efekty akustyczne silnika.

W odróżnieniu od zagadnienia zredukowania hałasów pochodzących od silnika w locie, szczególnie odrzutowego, zagadnienie uciszenia hamowni wymaga poważnego i niekiedy nie liczącego się z kosztami potraktowania, którego konieczność narzuca nie tylko lokalizacja hamowni, ale potrzeba zapewnienia pracownikom bezpośrednio zatrudnionym na hamowni znośnych i bezpiecznych warunków pracy.

W odniesieniu do hamowni silników odrzutowych uciszenie jest sprawą bardziej wymagającą rozwiązania aniżeli w hamowniach silników tłokowych. Związane jest to z dużymi natężeniami dźwięku, jakiego źródłem jest silnik odrzutowy. Jednocześnie zagadnienie to z wielu względów jest trudniejsze.

Siłą rzeczy więc, punkt ciężkości zagadnień poruszanych w niniejszym artykule przesunięty jest w kierunku problemów związanych z uciszaniem hamowni silników odrzutowych.

2. Jednostki natężenia dźwięku i fizjologiczna strona zjawisk akustycznych

Odczuwana przez zmysł słuchu „siła dźwięku” daje wrażenie „głośności” niezależnie od często subiektywnego wrażenia przyjemności (muzyka) lub przykrości (zgrzyt, pisk). Wrażenie „głośności” zależy głównie od natężenia dźwięku. Fizycznie natężenie dźwięku wyraża się ilością energii drgań akustycznych, przypadającą na jednostkę powierzchni lub amplitudą ciśnienia fali akustycznej. Wielkości energii drgań akustycznych, względnie ciśnienia fali akustycznej są bardzo niewielkie w porównaniu z wielkościami, z którymi powszechnie mamy do czynienia w technice, dlatego dla wyrażenia ich stosowane są odpowiednio małe jednostki. Bezwzględny miarą natężenia dźwięku są:

$$1 \frac{\mu\text{-wat}}{\text{cm}^2} \text{ (mikrowat na cm}^2\text{)}$$

lub

$$1 \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2} = 1 \mu\text{-bar (dyna na cm}^2\text{ = mikrobar)}$$

Wymiar fizyczny energii lub ciśnienia nie nadaje się jednak do bezpośredniego przyjęcia za jednostkę natężenia dźwięku, gdyż odczucie „głośności” nie jest wprost proporcjonalne do natężenia wyrażonego w jednostkach bezwzględnych. Np. dwukrotnie silniejszych w sensie fizycznym dźwięków ucho nie odróżnia. Dopiero mniej więcej udziesięciokrotnienie natężenia dźwięku, wyrażające się udziesięciokrot-

nieniem energii fali akustycznej odczuwane jest jako wzrost słyszalności o jeden stopień jednakowy i niezależny od wartości bezwzględnej natężenia. Ten wzrost słyszalności, odpowiadający dziesięciokrotnemu wzrostowi natężenia bezwzględnego przyjęto za jednostkę natężenia.

1 b (bel)

Ponieważ 1 b jest jednostką zbyt dużą, dla wygodnego wyrażania natężenia dźwięku podzielono ją na decybele

1 b = 10 db

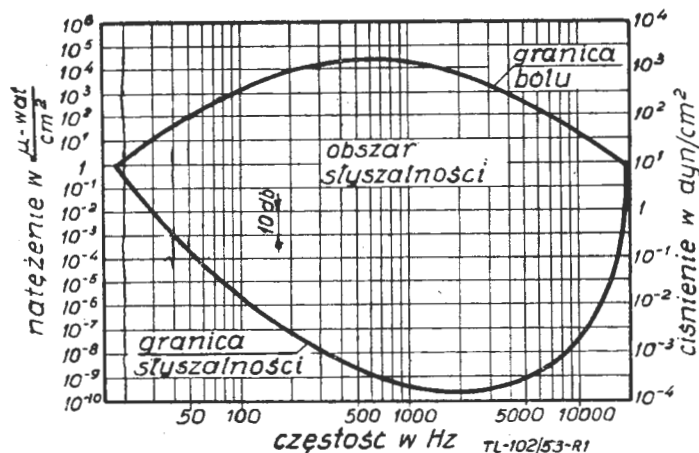
Zero skali decybelowej przyjęto na granicy słyszalności tonu wzorcowego o częstotliwości 1000 c/sec. Z powyższego wynika, że zależność między fizjologicznymi jednostkami natężenia dźwięku a fizycznymi jest logarytmiczna, przy czym podstawą logarytmu jest liczba dziesięć.

Szybko wzrastająca niewrażliwość ucha na coraz silniejsze bodźce akustyczne jest własnością niezwykle korzystną, która umożliwia rozmowę szeptem a jednocześnie jak gdyby „zatyka” nam uszy przy nadmiernych hałasach. Jednakże technika tak dalece wyprzedza przyrodę w wytwarzaniu hałasów, że obecnie własności tej nie wystarcza i ochrona naszych uszu staje się coraz większą koniecznością.

Jak już wspomniano, fizjologiczne wrażenie „głośności” zależy głównie od natężenia dźwięku. Poza tym zależy ono w pewnym stopniu od częstości dźwięku mierzonej w liczbie zmian na sekundę, czyli w cyklach na sekundę.

1 c/sec = 1 Hz (cykl na sek = Herc)

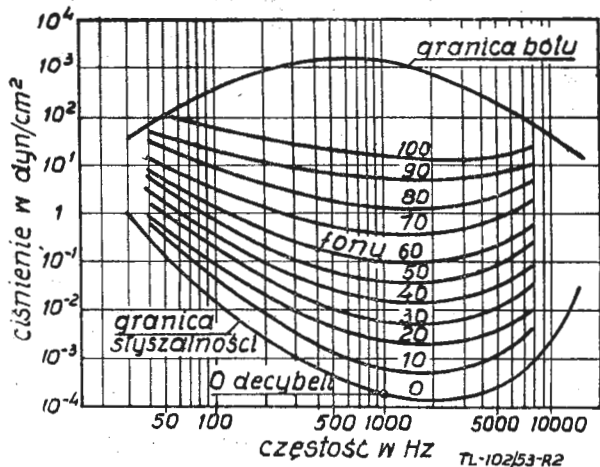
W krańcowych przypadkach ucho przestaje w ogóle reagować na dźwięki o częstościach powyżej ok. 16 000 c/sec i poniżej ok. 15 c/sec, które przestają być słyszalne niezależnie od wielkości natężenia. W wyniku powyższego wyznacza się obszar słyszalności przedstawiony na rys. 1. Liniami ograniczającymi obszar słyszalności jest granica słyszalności dźwięków o najniższym słyszalnym natężeniu oraz tzw. granica bólu, powyżej której bodźce akustyczne stają się przyczyną bólu i uszkodzeń organów słuchowych. Dla dźwię-



Rys. 1. Obszar słyszalności dźwięków

ków czystych, czyli tonów, różniących się częstością, wrażliwość akustyczna ucha w średnich zakresach częstości nieznacznie — a w innych więcej, zmienia się tak, że obszar

słyszalności można podzielić na szereg nierównoległych pasm jednakowej słyszalności dźwięków o różnych częstościach. Pasma te określone rozdzielającymi je liniami jednakowej słyszalności, przedstawione są na rys. 2. Podział na pasma jednakowej słyszalności stał się podstawą do stworzenia skali fizjologicznej wyrażenia natężenia dźwięku, która od użytej w niej jednostki nazywa się skalą fonową. Dla czystości tonu



Rys. 2. Pasma jednakowej słyszalności

wzorcowego 1000 c/sek, na który, jak widać to z obu wykresów, ucho ludzkie jest bardzo czułe, skala fonowa pokrywa się ze skalą decybelową, tzn.

dla 1000 c/sek 1 db = 1 fon

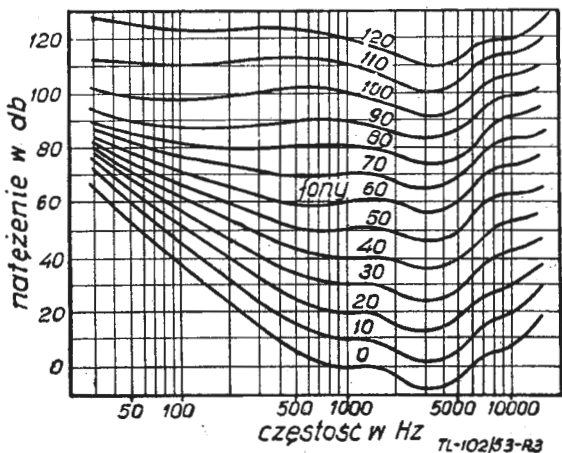
Zamiana fonów na decybele lub odwrotnie dla dźwięków czystych (tonów) o innej częstości niż 1000 c/sek jest łatwa i możliwa przy użyciu wykresu przedstawionego na rys. 3. Natomiast dla dźwięków, obejmujących szerszy zakres częstości, zasadniczo możliwa tylko przez porównanie pomiarów. Skala fonowa, mimo że nie ma żadnych podstaw

Tabela I

Natężenie pospolitych dźwięków w fonach

Górna granica słyszalności tzw. granica bólu	130
Śmigło samolotu w odległości ok. 5 m	120
Kotłarnia, motocykl bez tłumika	110
Najgłośniejszy sygnał samochodu w odległości ok. 7 m	100
Elektryczny sygnał samochodowy, motocykl z tłumikiem	90
Silny ruch uliczny z sygnałami samochodowymi, głośna muzyka radiowa	80
Hałaśliwa restauracja, tramwaj	70
Samochód osobowy w odległości 4-15 m, normalna rozmowa	60
Szum w biurach, przeciętna restauracja	50
Spokojne biuro, mieszkanie, rwanie papieru	40
Bardzo spokojna ulica bez ruchu kołowego	30
Szept, cichy ogród	20
Szmer liści przy łagodnym wietrze	10
Dolna granica słyszalności	0

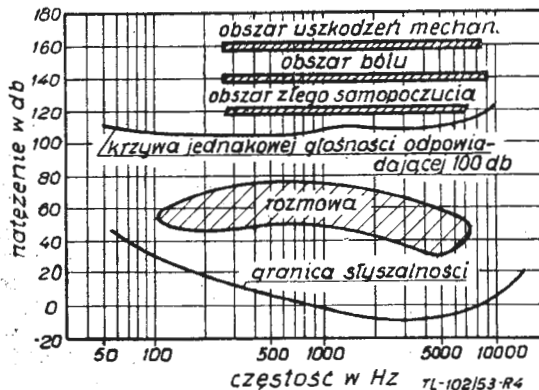
fizykalnych, utrzymuje się jednak, ponieważ najlepiej odzwierciedla wrażliwość ucha na bodźce akustyczne.



Rys. 3. Przyrównanie fonów do decybeli

W tabeli I podane są natężenia dźwięków panujące w różnych środowiskach, z którymi spotykamy się w życiu codziennym. Najbardziej typowe dźwięki, z jakimi powszechnie mamy do czynienia mieszczą się mniej więcej w środku obszaru słyszalności, podobnie jak rozmowa prowadzona zwykłym tonem. Rys. 4 przedstawia poglądowo stopniowe przejście od dźwięków typowych do dźwięków wywołujących uszkodzenie ucha.

Wykres ten oraz tabelę I można potraktować, w przypadku braku danych doświadczalnych, za podstawę do ogólnego wytyczenia celu, do którego należy zmierzać przy opracowywaniu uciszania. Oczywiście, bezcelowe jest dążenie do



Rys. 4. Rozmieszczenie typowych dźwięków w obszarze słyszalności

osiągnięcia takiego stopnia uciszania hamowni, przy którym natężenie dźwięku byłoby mniejsze a nawet równe przeciętnemu poziomowi natężenia dźwięku w otoczeniu hamowni, pochodzącemu od źródeł dźwięku, znajdujących się poza hamownią.

Z obserwacji i badań osób zatrudnionych w miejscach hałaśliwych, w szczególności na hamowniach silników odrzutowych, wynika, że przy zastosowaniu specjalnych ochron uszu można przez krótkie okresy czasu wykonywać zajęcia przy natężeniu nie przekraczającym 135 db. Zwiększenie natężenia do 150 db, nawet na krótki okres czasu, jest szkodliwe dla zdrowia i powoduje trwałe uszkodzenie ucha środkowego, w pewnych przypadkach może być śmiertelne. Lekarze wypowiadają się, że praca ciągła bez obawy szkodliwego wpływu na zdrowie możliwa jest przy natężeniu nie przekraczającym 85 db.

3. Przyczyny hałasów silnikowych i tłumienie ich u źródła

Dopiero w ostatnich latach uczyniono poważny krok w poznaniu przyczyn hałasów silnikowych, mimo że od dawna znane były na ten temat mniej lub bardziej słuszne domysły. Konieczność wykrycia przyczyn i mechanizmu powstawania hałasów wynikała przede wszystkim w związku z szybkim rozwojem silników odrzutowych, będących coraz poważniejszymi wytwornicami drgań akustycznych. Badania poszły w kierunku znalezienia przyczyn celem stwierdzenia możliwości tłumienia hałasów silnikowych u źródła, względnie niedopuszczenia do ich powstania. Takie postawienie problemu rokuje poważne nadzieje, szczególnie dla sprawy uciszania silników w locie i w ślad za tym zakreśla nowe możliwości uciszania hamowni.

Źródła hałasu powodowanego przez silnik tłokowy są dość liczne. Najważniejsze z nich podane są w tabeli II. Zatrzymamy się jedynie nad pierwszymi dwiema pozycjami, których udział jest najpoważniejszy.

Hałas śmigła zależy w głównym stopniu od prędkości obwodowej końca łopaty śmigła. Do wartości liczby Macha około 0,75 zależność między natężeniem dźwięku *n* wyrażonym w decybelach a prędkością obwodową *w* (m/sek) w grubym przybliżeniu jest liniowa, tak że może być określona empirycznym wzorem

$$n = C + 0,36 w \text{ (db)}$$

gdzie *C* = stała zależna od liczby łopat śmigła

C = 24 dla dwułopatowego śmigła

C = 19 dla trzyłopatowego śmigła.

W tych warunkach przyczyną hałasu są gradienty prędkości w strudze powietrza opływającej śmigło, szczególnie na końcu łopat, w wyniku których powstają okresowe zmien-

ne wiry i drgania łopaty śmigła. Dla $Ma > 0,75$ natężenie dźwięku przestaje być funkcją liniową prędkości obwodowej i rośnie z jej wysoką potęgą. Przyczyna tego upatrywana jest w zjawiskach charakterystycznych dla przepływów przydźwiękowych.

Hałas powodowany przez wydech ma dwie przyczyny. Pierwszą jest przepływ spalin przez zawór wydechowy wraz z końcowym etapem turbulencyjnego spalania, co uzewnętrznia się akustycznie przez zazwyczaj krótkie rury wydechowe silnika lotniczego. Przyczyną drugą jest pulsacyjny wpływ spalin w atmosferę z dużą prędkością maksymalną.

Tabela II
Źródła hałasów silnika tłokowego

Źródło	Natężenie w	
	A	B
Śmigło	122	100 - 104
Wydech	118	100 - 104
Mechanizmy silnika	104	88 - 99
Całkowite natężenie	126	100 - 106
A — konstrukcja zła akustycznie		
B — konstrukcja dobra akustycznie		

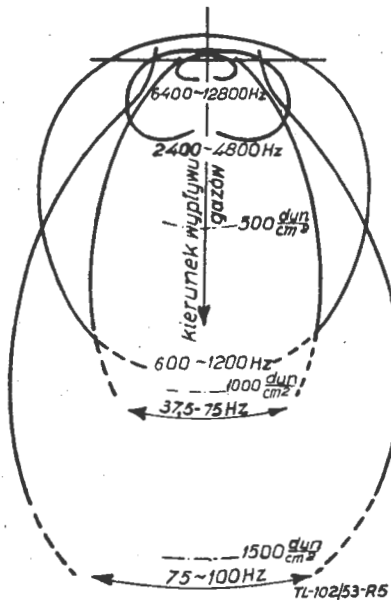
Z powyższego wynika niedwuznacznie, jakie środki mogą być zastosowane dla obniżenia natężenia dźwięków powodowanych przez silnik tłokowy. O ile zastosowanie tych środków (śmigła o $Ma < 0,75$, tłumiki wydechu) na samolocie jest ograniczone, to przeciwnie użycie ich na hamowni może nie przedstawiać większych trudności.

Źródła hałasu powodowanego przez silnik odrzutowy są zasadniczo dwa. Pierwszym jest wlot do sprężarki, a właściwie sama sprężarka, drugim zaś — dysza wylotowa. Dźwięk wywoływany przez sprężarkę ma swoją przyczynę w przepływie między łopatkami wirnika i łopatkami kierownic. Nie będziemy się jednak nad sprężarką jako wytwornicą hałasów zatrzymywać dlatego, że drugie z kolei źródło hałasów, jakim jest dysza wylotowa silnika, jest przyczyną dźwięku o daleko wyższych natężeniach, przez co wymaga najpoważniejszego potraktowania.

Przyczyna hałasu powodowanego przez wypływające gazy została rozpoznana niedawno. Ogólnie tkwi ona w charakterze wypływu rzeczywistego gazów wylotowych w otaczające powietrze. Jak wiadomo, obraz tego wypływu jest taki, że w krawędzi wylotu dyszy różnica prędkości między strumieniem gazów a prędkością otaczającego powietrza jest największa. Gradient prędkości w warstwie wzajemnego oddziaływania tuż za krawędzią wylotu dyszy jest niezwykle wysoki. Maleje on w miarę oddalania się od krawędzi dyszy, a pojawia się obszar wirów pierścieniowych, początkowo małych, lecz szybko rosnących i przechodzących w obszar o dużej burzliwości. Począwszy od krawędzi wylotu zachodzi udzielanie energii prędkości oraz energii cieplnej otaczającemu powietrzu połączone z wielkimi stratami energii prędkości, zależącymi od różnicy prędkości czynnika pierwotnego, jakim są gazy wylotowe i prędkości przyspieszonego czynnika wtórnego, jakim jest otaczające powietrze. Straty te pochłaniają bezpowrotnie znaczną część energii kinetycznej wypływających gazów. Ogólnie są one proporcjonalne do kwadratu różnicy prędkości, a więc są w przypadku silnika odrzutowego bardzo wielkie. Straty te w części zamieniają się w ciepło, w części zaś przejawiają się w postaci energii drgań akustycznych. Obserwuje się, że przy prędkościach poddźwiękowych wyrażone w jednostkach bezwzględnych natężenie dźwięku, jakiego przyczyną jest wypływ z dyszy silnika, jest proporcjonalne do wspomnianej różnicy prędkości w potęgę ok. 8. Obserwacje te znalazły potwierdzenie w badaniach stoiskowych dysz poddźwiękowych i zgodne są z opublikowaną w r. 1952 przez M. J. Lighthilla *) ogólną teorią, ujmującą matematycznie aerodynamiczne przyczyny powstawania dźwięku oraz charakter pola akustycznego. Zgodnie ze wspomnianą teorią i opisaną fizykalną stroną zachodzących zjawisk, przyczyną dźwięku jest gradient prędkości, jaki ma miejsce za krawędzią dyszy, gdzie powstaje najwyż-

sze natężenie i najwyższe częstotliwości. W odległościach stopniowo oddalających się od krawędzi dyszy powstają dźwięki o częstotliwościach coraz to niższych, powodowanych burzliwością przepływu, jak pokazuje rys. 5, otrzymany z pomiarów. Charakterystyczny układ linii stałych częstości na wykresie wskazuje, że rzeczywście główną przyczyną dźwięków jest strumień gazów poza silnikiem.

Pomiary na silnikach oraz na dyszach modelowych wykazują, że przy prędkościach wypływu bliskich prędkości dźwięku i prędkościach naddźwiękowych natężenie dźwięku rośnie szybciej niż w 8 potęgę prędkości. Dla tych warunków trudno ustalić wykładnik potęgi, który średnio wy-



Rys. 5. Pole akustyczne dyszy silnika odrzutowego

nosi 14, jednakże dla niektórych dysz osiąga wartości dochodzące do 29. Ostatnich faktów teoria nie tłumaczy, przez co poprzestaje się na fizykalnych wyjaśnieniach zjawisk. Powstawanie w tych warunkach dźwięków o wielkim natężeniu tłumaczone jest interferencją wirów poruszających się w kierunku prądu ze stojącymi falami uderzeniowymi strumienia naddźwiękowego. Istnieją przypuszczenia, że dodatkową przyczyną dźwięku jest rezonans u krawędzi dyszy. Podane przyczyny powodują w rezultacie dodatkowy, znaczny wzrost natężenia powstałego z różnic prędkości strumienia pierwotnego i wtórnego, wyrażający się wzrostem wykładnika potęgi.

Poznanie zasadniczej przyczyny dźwięków powodowanych przez silnik wyjaśniło zagadkę mniejszej hałaśliwości silnika odrzutowego w locie niż przy starcie lub na hamowni. Ponadto pozwoliło na ustalenie odpowiednich środków przeciwdziałania, które jednakże nie zawsze mogą być wykorzystane w pełni. Z tego powodu zastosowanie środków przyczyniających się do wytłumienia hałasu in statu nascendi powoduje spadek natężenia tylko o kilka do kilkunastu db.

Jednym ze środków, który narzucił się w związku z wyjaśnieniem mechanizmu powstawania dźwięku było polepszenie warunków wypływu rzeczywistego z dyszy przez zmniejszenie różnic prędkości. Możliwe było to do zrealizowania przez ograniczenie ilości wprawianego w ruch powietrza zewnętrznego, zasysanego przez strumień gazów, a za to doprowadzenie tej zmniejszonej ilości z prędkością większą od prędkości, jaka ustaliłaby się w przypadku swobodnego wypływu z dyszy nieruchomej lub poruszającej się z prędkością lotu. W zastosowaniach na samolotach doprowadziło to do użycia na wylocie eżekto-injektora oraz do odrodzenia koncepcji silnika „wentylatorowego” (dwuchkonturnej turboreaktywnej dwigateli, ducted fan engine). W zastosowaniach hamowniczych realizacja tej metody tłumienia jest łatwiejsza i prowadzi do użycia tłumików rurowych z doprowadzeniem wtórnego powietrza przy użyciu eżekto-injektora. W zastosowaniu tej metody na hamowni istnieją jednak pewne ograniczenia, o których będzie mowa dalej.

*) M. J. Lighthill — On Sound Generated Aerodynamically. I. General Theory. — Proc. Roy. Soc. A. Vol. 211 str. 564, 1952.

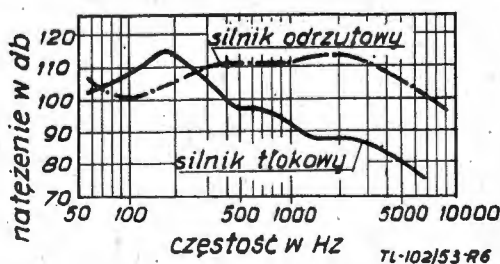
Przebadano ponadto szereg innych środków mających ten sam cel. Między innymi dysze z krawędziami zaopatrzonymi w pazury zagięte do wewnątrz oraz dysze z karbowanymi krawędziami. W tych przypadkach, jak i przy zastosowaniu miękkich „rękawów” na wylocie dyszy, osiągnięto spadki natężenia nie przekraczające około 4 db przy prędkościach poddźwiękowych i 15 do 20 db przy prędkościach naddźwiękowych.

Zastosowanie rękawów okazało się najskuteczniejsze przy nadkrytycznych stosunkach ciśnień i rozprężaniu poza dyszą.

Istnieją podstawy do przypuszczeń, że większa skuteczność tych środków przy prędkościach naddźwiękowych wynika zarówno ze zmniejszenia gradientu prędkości, jak i z zapobiegania oddziaływaniu fal uderzeniowych oraz powstawaniu rezonansów. Należy przy tym wspomnieć, że dla zmniejszenia tego gradientu były czynione próby z dyszami z częścią wylotową o długości 1/10 średnicy o rozbieżności 30°. Wyniki były przeciwne do oczekiwanych, gdyż nastąpił znaczny wzrost natężenia dźwięku, który przypisywany jest wzrostowi burzliwości powstałej z oderwania strumienia.

4. Charakter hałasów silników tłokowych i odrzutowych

Tłokowe silniki lotnicze największych mocy łącznie ze śmigłem są źródłem dźwięku o natężeniu ok. 150 db. Tabela III, do której już poprzednio odwoływano się, podaje natężenie dźwięków dwóch niewielkich silników jednakowej mocy i wskazuje, jak znaczne efekty możliwe są do osiągnięcia już na drodze konstrukcyjnej. Na ogół jednak konstruktor niewiele może uczynić dla zmniejszenia hałaśliwości silnika. Najpoważniejszy udział w hałasie zespołu silnikowo-śmigłowego dużej mocy ma śmigło, w związku ze stosowaniem przy takich zespołach dużych prędkości obwodowych śmigła. Różnica między natężeniami dźwięków, powodowanych śmigłami a natężeniami dźwięków pochodzących z innych przyczyn w silnikach większych mocy jest znacznie większa niż wynika to z liczb podanych dla akustycznie złej konstrukcji. Wraz ze wzrostem liczby Macha zwiększają się natężenia dźwięku oraz rośnie udział wysokich częstotliwości w widmie akustycznym. Ogólnie widmo akustyczne zespołu silnikowo-śmigłowego, podane na rys. 6, zawiera w sobie szeroki za-



Rys. 6. Widmo akustyczne silnika tłokowego i odrzutowego

kres częstotliwości, który należy wziąć pod uwagę przy opracowywaniu uciszania hamowni.

Odrzutowy silnik lotniczy o średnim ciągu, za który w obecnej chwili można uważać 2500 do 3000 kG, jest źródłem dźwięku o natężeniu 140 db, taki sam zaś silnik z dopalaniem jest źródłem dźwięku o natężeniu około 165 db. Natężenia te odnoszą się do silnika pracującego w pobliżu obrotów maksymalnych i maleją z 7-mą do 8-ej potęgi obrotów. Spreżarka i wlot powietrza do silnika jest źródłem dźwięków o bardzo wysokich częstotliwościach, zależnych w głównym stopniu od obrotów i od liczby łopatek wirnika oraz kierownic, jeżeli chodzi o spreżarkę osiowe. Te ostatnie w porównaniu ze spreżarkami promieniowymi są źródłem wyższych częstotliwości, dochodzących nawet do 16 000 c/sek. Jak już podano, najwyższe decydujące natężenia wytwarzane są w krawędzi dyszy wylotowej oraz za silnikiem w strumieniu gazów wylotowych. Częstotliwości stamtąd pochodzące zawierają się w granicach od 35 do 14 000 c/sek. Całe widmo akustyczne silnika zawiera więc na ogół wszystkie częstotliwości wchodzące w obszar słyszalności. Fakt ten utrudnia bardzo walkę z hałasem silnika odrzutowego. Na rys. 6 podane jest typowe

widmo akustyczne silnika odrzutowego. Na jego podstawie można dokonać doboru najwłaściwszych i najskuteczniejszych metod tłumienia hałasu silnika. Jak widać, największe natężenia przypadają na częstotliwości średnie. Wobec rozległości widma akustycznego silnika odrzutowego w uciszaniu hamowni muszą znaleźć zastosowanie liczne znane w akustyce środki uciszania.

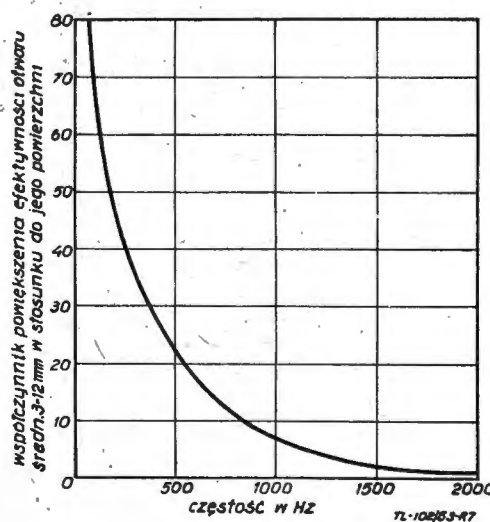
5. Środki uciszania hamowni

Wszystkie znane i stosowane środki uciszania wykazują na ogół największą skuteczność w ograniczonym zakresie częstotliwości. Dlatego w tłumieniu hałasu silników lotniczych na hamowniach wykorzystywany jest zespół środków dla osiągnięcia maksymalnych spadków natężenia w całym widmie. Wynika to z tego, że zastosowanie takiego lub innego środka podyktowane jest przede wszystkim charakterem hałasów i oczywiście, w następnym etapie — możliwościami realizacji.

W uciszaniu hamowni znajdują zastosowanie następujące środki:

- ściany akustyczne,
 - przegrody dźwiękochłonne,
 - przegrody rozszczepiające dźwięk,
 - przegrody odbijające dźwięk,
 - komory rezonansowe
- oraz
- wtrysk wody.

a. Działanie ściany akustycznej polega na otoczeniu źródła dźwięku ścianą poprzeczną do zasadniczego kierunku ruchu fali akustycznej. W ogólnym przypadku będzie to jedno- lub wielowarstwowa ściana, wykonana z materiałów o dużej chłonności dźwięku. Ściany akustyczne wykazują ogromną skuteczność w zakresie wszystkich częstotliwości, o ile otaczają szczelnie źródło dźwięku. Spełnienie ostatniego warunku konieczne jest dla zachowania skuteczności ściany na skutek charakterystycznej własności fal akustycznych szczególnie długich, polegającej na uginaniu się na otworach i szczelinach. Dzięki tej właściwości ilość energii drgań akustycznych uchodząca na zewnątrz jest nieproporcjonalnie wielka do wielkości otworu. Rys. 7 ujmuje zjawisko to ilościowo dla

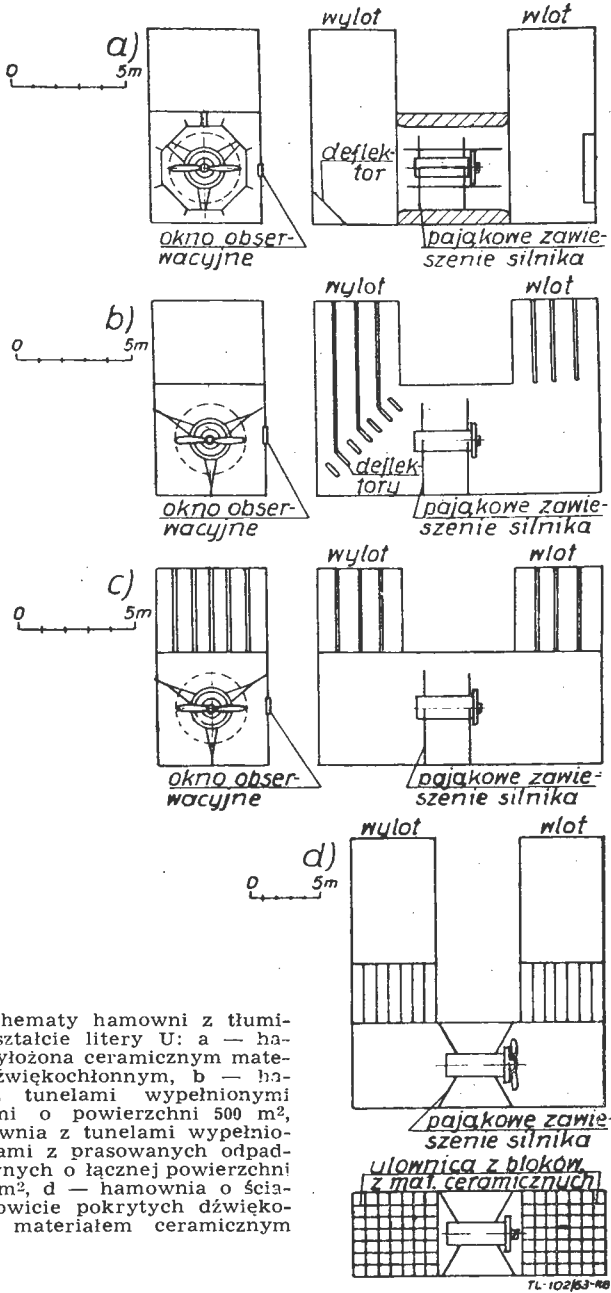


Rys. 7. Przepuszczalność dźwiękowa otworu \varnothing 3—12 mm

otworu średnicy 3 — 12 mm. Chociaż przy użyciu szczelnych ścian możliwe jest praktycznie zupełne uciszenie, udział tego środka w uciszaniu hamowni jest niewielki, ponieważ w zwykłych warunkach pomieszczenie silnikowe musi być zaopatrzone przynajmniej w dwa znacznej wielkości otwory dla doprowadzenia powietrza i odprowadzenia powietrza lub gazów wylotowych na zewnątrz. Poważny udział ścian akustycznych w uciszaniu ogranicza się do nielicznych przypadków „laboratoryjnych” wodnych hamowni silników tłokowych chłodzonych cieczą oraz do użytkowania ich dla akustycznego odseparowania kabiny od pomieszczenia silnikowego.

W związku z tym, zagadnienie tłumienia koncentruje się na przeszkodzeniu dźwiękowi w wydostawaniu się na zewnątrz przez otwory pomieszczenia silnikowego, w czym znajdują zastosowanie pozostałe środki.

b. *Przegrody dźwiękochłonne* ustawia się w kanałach wlotowych i wylotowych równoległe do kierunku przepływu



Rys. 8. Schematy hamowni z tłumikami o kształcie litery U: a — hamownia wyłożona ceramicznym materiałem dźwiękochłonnym, b — hamownia z tunelami wypełnionymi przegrodami o powierzchni 500 m², c — hamownia z tunelami wypełnionymi płytami z prasowanych odpadków drzewnych o łącznej powierzchni około 440 m², d — hamownia o ścianach całkowicie pokrytych dźwiękochłonnym materiałem ceramicznym

powietrza lub gazów oraz równoległe do głównego kierunku ruchu fali akustycznej. Przegrody dźwiękochłonne mają na ogół postać płyt w przypadku kanałów o przekrojach czworokątnych, lub współśrodkowych pierścieni — w przypadku kanałów o przekrojach okrągłych. Działanie przegrody polega na absorpcji drgań najbardziej skutecznie wysokich częstotliwości przez jej materiał dźwiękochłonny. Jednakże ogólna skuteczność takich przegród, nawet przy zastosowaniu materiałów o wysokich zdolnościach absorpcyjnych jest niewielka, szczególnie w odniesieniu do małych częstotliwości. Niewiele też do zwiększenia skuteczności przyczynia się powiększenie ich długości i co za tym idzie — wydłużenie kanału tłumikowego. Na fakt ten zostanie jeszcze zwrócona uwaga w przykładzie rozwiązania konstrukcyjnego tłumika. Poszukiwanie sposobów zwiększenia skuteczności przegród dźwiękochłonnych doprowadziło do zastosowania przegród rozszczepiających i przegród odbijających.

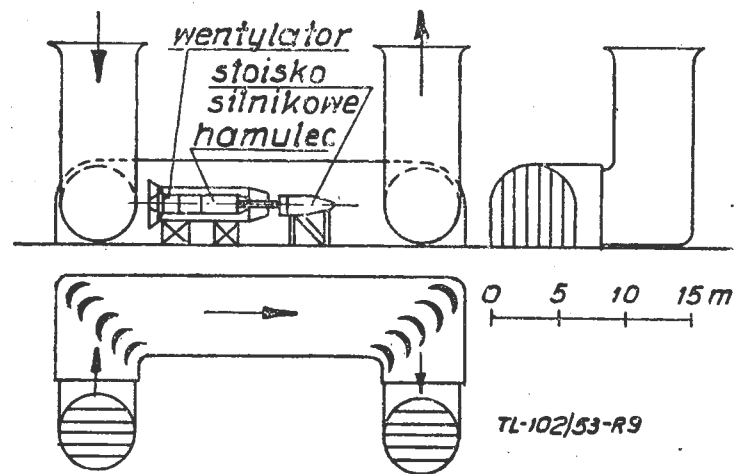
c. Sposób ustawienia przegród rozszczepiających dźwięk jest taki sam jak dźwiękochłonnych. Zasada działania przegród rozszczepiających dźwięk polega na rozbiciu drgań małych częstotliwości na drgania o częstotliwościach wyższych, łatwiejszych już do wytłumienia na przegrodach dźwiękochłonnych. Rozszczepienie dźwięku osiąga się przez wprowadzenie

przerw między przegrodami dźwiękochłonnymi i przesunięcie poszczególnych rzędów o połowę lub część podziałki (odległości między dwiema sąsiednimi przegrodami). Dla zwiększenia zdolności rozszczepiania w większych zakresach częstotliwości korzystne jest stosowanie różnych podziałek w kolejnych rzędach.

d. *Przegrody odbijające dźwięk* ustawia się wzdłuż kierunku przepływu powietrza lub gazów, a prostopadle lub ukośnie do głównego kierunku rozchodzenia się fali akustycznej. Zadaniem tych przegród jest powodowanie załamania, odbicia i interferencji fal powrotnych z falami nabiegającymi. Przy przegrodach ustawionych ukośnie wielokrotne odbicie powoduje obniżenie natężenia dźwięków wydostających się na zewnątrz. Przegrody odbijające mogą być różnych rodzajów. Mogą to być na przykład przegrody pochłaniające i jednocześnie rozszczepiające o płytach zakrzywionych, załamanych lub ustawionych względem siebie poprzecznie. Przykładem takich przegród są też stożki, najczęściej z blachy, niekiedy perforowanej, zwrócone rozwarością w kierunku źródła dźwięku. Tunel zagięty pod kątem 90° jest także pewną postacią przegrody odbijającej. Przegrody odbijające, w zależności od kształtu i materiałów, mogą wykazywać dużą skuteczność w szerokim zakresie częstotliwości. Zastosowanie ich jednakże posiada ograniczenie, którym jest znaczna strata ciśnienia przepływającego między nimi lub napływającego na nie powietrza lub gazów wylotowych.

e. *Komory rezonansowe* lub komory rozprężne są to przestrzenie o znacznej objętości, najczęściej puste, wyłożone materiałem dźwiękochłonnym, w których następuje wyrównanie ciśnień i prędkości przepływającego strumienia. Zastosowanie ich jest konieczne jedynie przy przepływie pulsacyjnym gazów wylotowych (tłumiki wydechu silników tłokowych). Z użyciem ich związana jest konieczność powiększenia gabarytu tłumika. Komory rezonansowe są skutecznym środkiem na wytłumienie niskich częstotliwości.

f. *Tłumienie za pomocą wtrysku wody* jest na ogół celem ubocznym wtrysku wody i znajduje zastosowanie jedynie w uciszeniu wylotu silnika odrzutowego. Polega ono na doprowadzeniu strumienia wody do strumienia gorących gazów wylotowych, przez co osiąga się obniżenie ich temperatury. Na skutek tego możliwa jest budowa tłumika z pospolitych



Rys. 9. Schemat hamowni z tłumikiem o kształcie załamanej litery U

materiałów konstrukcyjnych i zmniejszenie jego wymiarów. Dzięki doprowadzeniu wody osiąga się spadek natężenia dźwięków, jakich źródłem jest strumień, o kilka db. Zjawisko to nie jest dostatecznie wyjaśnione, chociaż uważa się, że jest ono wynikiem zmian temperatury. W zastosowaniach hamowniczych dodatkowym czynnikiem wpływającym na zmniejszenie natężenia dźwięków, wydostających się na zewnątrz tłumika, jest zwiększona chłonność dźwięku powietrza wilgotnego.

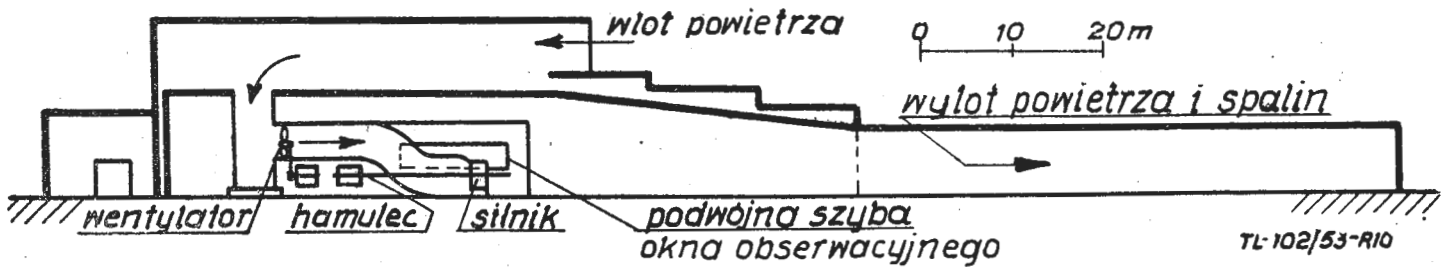
6. Konstrukcje tłumików w hamowni silników tłokowych

Tłumieniem hamowni silników tłokowych zajęto się już przed ostatnią wojną. W niektórych krajach i miastach konieczność tłumienia dokuczliwych hałasów hamownianych wynikała nawet z lokalnych przepisów porządku publicznego. Poniżej omówione zostały uciszone hamownie stosowane w kilku krajach produkujących silniki tłokowe dużych mocy.

Największe rozpowszechnienie znalazły hamownie w postaci litery U, o tunelach tłumikowych pionowych, jak przedstawiono na schematach rys. 8. Liczne odmiany tych ha-

mowni różnią się między sobą wysokością tuneli, zawierającą się w granicach od 15 do 20 m, oraz kształtem i materiałami przegród wypełniających tunele. Zadaniem tych przegród jest obniżenie natężenia dźwięku przede wszystkim drogą absorpcji fal dźwiękowych. Przegrody dźwiękochłonne mają postać ścian, płyt lub ulownic wykonywanych początkowo z drewna i prasowanej waty drzewnej, a później z ceramicznych materiałów dźwiękochłonnych.

krytych od zewnątrz dziurkowaną blachą stalową. Należy zwrócić uwagę, że decydujący spadek natężenia, wynoszący 20 fonów zachodzi na pierwszych pięciu metrach długości tłumika wypełnionego przegradami dźwiękochłonnymi, spadek zaś natężenia o dalszych 20 fonów osiągany był na dodatkowych aż piętnastu metrach długości. Świadczy to o małej skuteczności samych przegród dźwiękochłonnych, nawet przy zastosowaniu ich bardzo wielkiej długości. Naniesione na rys. 11 liczby



Rys. 10. Schemat hamowni z tłumikiem poziomym z górnym tunelem wlotowym

O osiąganym stopniu uciszenia mówi następujący przykład: przy pracy silnika o mocy 1500 KM ze śmigłem metalowym, przy liczbie Macha na końcu łopaty $Ma = 0,9$, natężenie dźwięku w pomieszczeniu silnikowym wynosiło 142 db. Natężenie dźwięków na szczycie tunelu tłumikowego wynosiło jeszcze 120 db, a dopiero w odległości około 800 m, przy swobodnym rozprzestrzenianiu się dźwięku, spadało do 69 db, co odpowiadało natężeniu dźwięków przejeżdżającego pociągu. Przy śmigle drewnianym o liczbie Macha na końcu łopaty $Ma = 0,73$ możliwa już była praca tego samego silnika na pełnych obrotach w ciągu nocy przy hałasie nie wzbudzającym już zastrzeżeń mieszkańców sąsiadujących z fabryką.

O wiele lepsze wyniki osiągnięto w hamowniach o kształcie złamanej litery U. Schemat takiej hamowni podano na rys. 9. W układzie tym doszły dwa dodatkowe załamania, pod kątem 90° , co przyczyniło się bardzo skutecznie do uciszenia dzięki wywołaniu powrotnych fal dźwiękowych w prostych odcinkach kanału. Wpłynęło to bardzo korzystnie na obniżenie natężenia niskich częstotliwości, które dla ucha nie są tak nieprzyjemne jak wysokie, lecz za to mają większy zasięg.

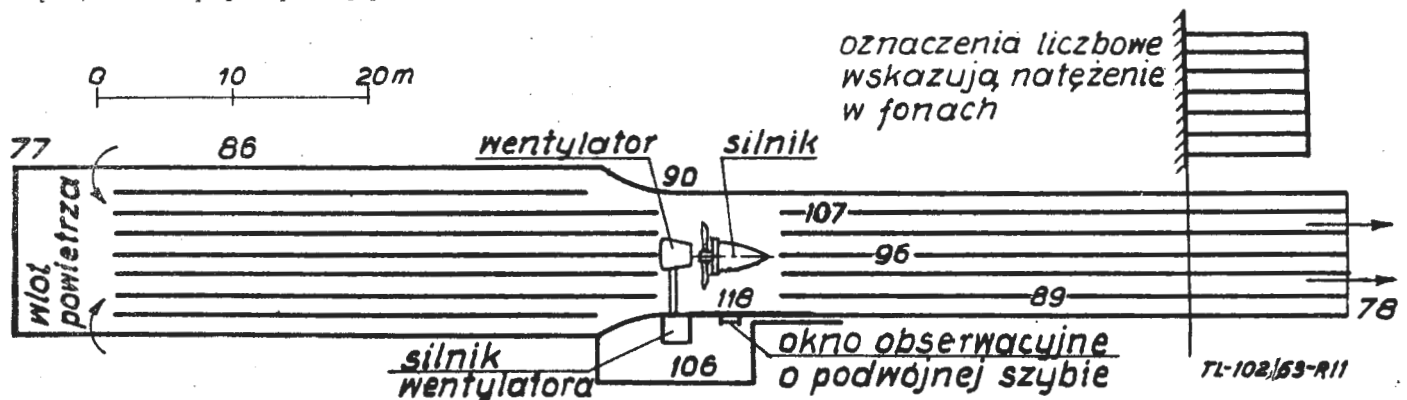
Niezależnie od opisanych typów stosowane były, już w okresie przedwojennym, inne rozwiązania układów tłumików hamowniczych. Były to hamownie z poziomymi tunelami tłumikowymi. Jedną z nich była hamownia z tunelem wlotowym i wylotowym, położonym po jednej stronie pomieszczenia silnikowego. Rys. 10 pokazuje, że kanał wlotowy zagięty o 180° był krótszy, zaś kanał wylotowy — prosty i bardzo długi. Oba kanały tej hamowni miały przekroje prostokątne, a ściany pokryte były dziesięciocentymetrową

podają wartości natężenia dźwięku w fonach mierzone w różnych punktach wewnątrz i na zewnątrz budynku hamowni.

Były również budowane hamownie podobne do powyższej pod względem układu, z tą różnicą, że miały bardziej złożoną postać przegród. Przegrody te posiadały zakrzywienia i załamania. Dla zwiększenia efektów tłumiących w odniesieniu do szerszego zakresu częstości tunele zawierały ulownice z umieszczonymi za nimi płaskimi płytami absorpcyjnymi z wełny mineralnej, pokrytej tkaniną. Płyty nachylone były pod małym kątem względem osi ulownic. Przy zastosowaniu tych wszystkich środków osiągnięto znaczny spadek natężenia dźwięku przy niewielkich wymiarach tłumika.

Oba omówione powyżej układy, pionowy i poziomy, posiadają zalety i wady, dlatego na decyzję wyboru wpływa przede wszystkim wielkość powierzchni, jaką dysponuje się pod budowę hamowni. Do zalet układów pionowych należą:

1. Dodatkowe działanie tłumiące zagięć tuneli pod kątem 90° .
 2. „Wypadanie” oleju gubionego przez silnik, na zagięciu ze strumienia powietrza i spalin, co przyczynia się do utrzymania własności dźwiękochłonnych płyt.
 3. Oszczędność miejsca.
- Do zalet układów poziomych należą:
1. Nisko położony wlot i wylot.
 2. Możliwość dowolnego kształtowania i ustawiania przegród.
 3. Łatwość dobudowy w razie potrzeby powiększenia skuteczności tłumienia.
 4. Dobra ochrona przegród przed wpływami atmosferycznymi.
 5. Prostota i mniejszy koszt budynku.



Rys. 11. Schemat hamowni z tłumikiem poziomym

matą z wełny mineralnej z zewnętrzną warstwą z perforowanych płyt azbestowo-cementowych. Pomieszczenia hamowniane posiadały podwójne ściany i oddzielne fundamenty. Wszystkie ściany pomieszczenia silnikowego i kabiny wyłożono materiałem dźwiękochłonnym.

Inna hamownia pozioma, pokazana na rys. 11, stanowi prosty tunel o długości około 45 m, w połowie którego znajdowało się pomieszczenie silnikowe. Części wlotowa i wylotowa tunelu wypełnione są pionowymi przegradami z materiału dźwiękochłonnego, umieszczonego w drewnianych ramach po-

Wymienione powyżej zalety jednego układu są jednocześnie brakami drugiego.

Odnośnie usytuowania wlotu i wylotu, które są źródłem dźwięków rozprzestrzeniających się w otoczenie hamowni, stwierdza się, że ma ono decydujący wpływ na „zasięg” fali akustycznej w obszarze przyziemnym. Przy niskim położeniu źródła dźwięków względem poziomu terenu, osiąga się spadki natężenia rozprzestrzeniającego się dźwięku w kierunku promieniowym, większe niż wynikałyby one z praw rozchodzenia się fali akustycznej przy swobodnym rozchodzeniu się

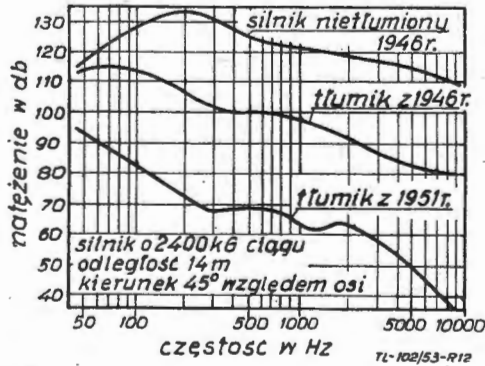
dźwięku w przestrzeni. Przyczyną tego jest absorpcyjno-tłumiące działanie pokrycia terenu (zabudowania itp.).

Niewątpliwie korzyści wynikające ze stosowania układów poziomych są tym większe, że doświadczenia zdobyte w ich budowie dla dużych silników tłokowych mogły być bezpośrednio wykorzystane w budowie tłumików dla silników odrzutowych.

7. Zagadnienie specjalnie związane z tłumieniem hamowni silników odrzutowych

Tłumienie hamowni silników odrzutowych pociąga za sobą kilka specyficznych zagadnień, wymagających w etapie projektowania tłumika szczegółowej analizy i możliwie dokładnej oceny.

Problem uciszenia hamowni silników odrzutowych jest utrudniony na skutek konieczności zredukowania znacznych temperatur gazów wylotowych. Temperatury wynoszące około 600°C dla silnika bez dopalania i przekraczające często 1650°C przy dopalaniu, należy zredukować do niższych od 500°C dla umożliwienia zastosowania w budowie tłumika niezbyt kosztownych materiałów lub konstrukcji. Chodzi przede wszystkim o wyeliminowanie w budowie tłumika drogiej stali nierdzewnych lub równie drogich konstrukcji z ceramicznych materiałów ognioodpornych, np. z cegły szamotowej. Obniżenie temperatur i jednocześnie natężenia dźwięków osiąga się przez doprowadzenie strumienia powietrza atmosferycznego do strumienia gorących gazów i stworzenie dostatecznych warunków sprzyjających wymieszaniu. Dla spowodowania odpowiedniego wydatku powietrza atmosferycznego wykorzystuje się energię prędkości gazów wypływających z dyszy silnika. Prowadzi to do zastosowania na wylocie silnika eżekto-injektora, w którym czynnikiem pierwotnym jest strumień gazów silnika. O ile hamownia znajduje się w okolicy,



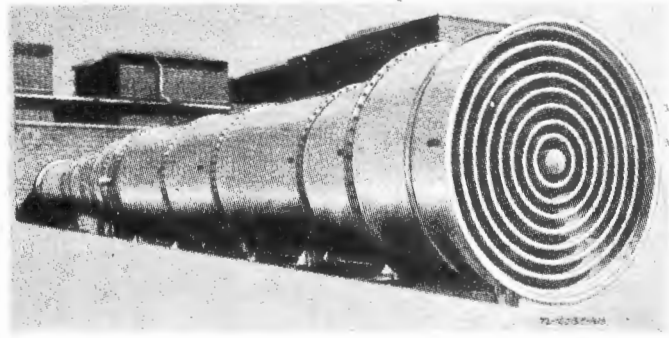
Rys. 12. Porównanie wyników tłumienia dwóch rozwojowych tłumików z danymi akustycznymi silnika nietłumionego

w której dostępna jest woda w ilości około kilkunastu do kilkudziesięciu kg/sek, optaca się, szczególnie przy zastosowaniu dopalania, użycie wtrysku wody, prowadzącego, jak już wspomniano, do znacznego zmniejszenia wymiarów tłumika.

Dalsze kłopoty nastęrcza konieczność zredukowania wielkich prędkości gazów wylotowych. Prędkości te, wynoszące w obecnej chwili około 600 m/sek, bez dopalania i dochodzące do 800 m/sek przy dopalaniu, należy stopniowo zmniejszyć do kilkudziesięciu m/sek w pobliżu wylotu z tłumika, to znaczy do takich, które by nie były same źródłem hałasu.

Dodatkowym zagadnieniem, obchodzącym głównie użytkowników hamowni, jest zapewnienie silnikowi takich warunków

pracy, w których pomiary byłyby wiarogodne i sprowadzalne do warunków normalnych. Pociąga to za sobą potrzebę zwrócenia bacznej uwagi nie tylko na połączenie dyszy silnika z tłumikiem, ale też na ukształtowanie i wypełnienie kanału



Rys. 13. Standartowy tłumik metalowy

wlotowego i wylotowego. Ogólnie niedopuszczalne jest bezpośrednio i szczelnie powiązanie dyszy silnika z kanałem tłumika, ze względu na występującą w tym przypadku zupełną zmianę warunków na wylocie silnika, przejawiającą się spadkiem ciśnienia statycznego. Dlatego doprowadzenie wtórnego powietrza, niekorzystnie wpływające na wymiary tłumika, jest niestety konieczne również przy stosowaniu wtrysku wody. Posiadane dane doświadczalne wskazują na to, że takie ukształtowanie połączenia dyszy silnika z wlotem do tłumika, przy którym zasysany wydatek ciężarowy powietrza wtórnego jest przynajmniej równy wydatkowi pierwotnemu (wydatkowi silnika), stwarza już zadowalające warunki pracy silnika przy nieznacznym spadku ciśnienia w okolicy dyszy silnika. Nie ulega jednak najmniejszej wątpliwości, że poza wielkością wydatku wielki wpływ ma tutaj kształt kanałów i ich wypełnień oraz występujące na nich straty ciśnienia. Zagadnienie jest jednak do tego stopnia złożone, że ostatecznie o potrzebie stosowania takiej czy innej formuły poprawkowej na ciąg silnika decyduje badanie hamowni w ruchu.

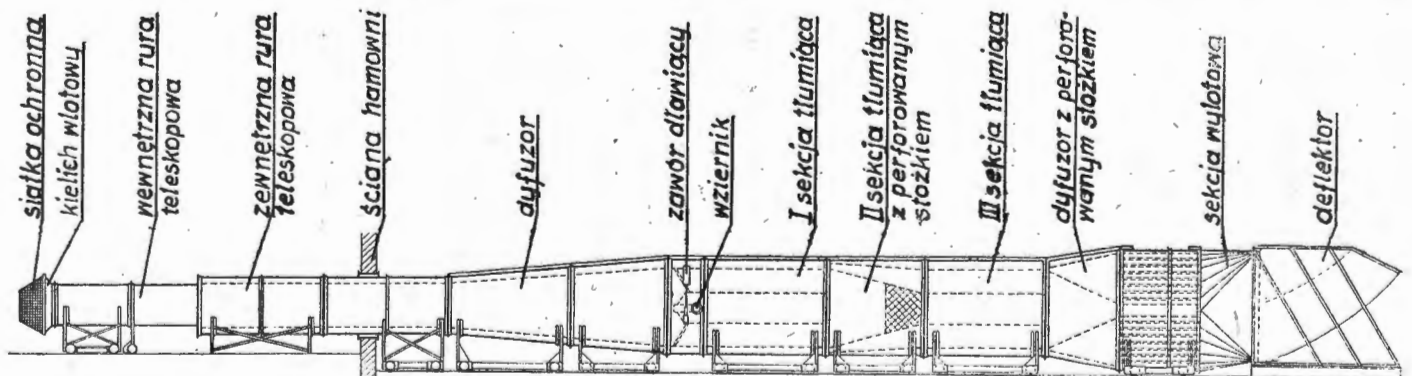
Z powyższego krótkiego omówienia wynika, że uciszenie hamowni silnika odrzutowego, szczególnie zaś silnika z dopalaniem, o ile jest potraktowane poważnie, jest złożonym zagadnieniem akustyczno-budowlano-aero-termodynamicznym oraz silnikowym. Przy zastosowaniu do chłodzenia jedynie powietrza wtórnego, w zagadnieniu tym na pierwszym planie występuje dobór lub obliczenie właściwego kształtu eżekto-injektora, najlepszego dla danych warunków pracy i przeznaczenia hamowni. W każdej jednak okoliczności należy zupełnie świadomie dążyć do tego, aby proces udzielania energii czynnikowi wtórnemu przez pierwotny zachodził z największą sprawnością, która odbija się na wielkości wydatku powietrza chłodzącego.

Jeżeli chodzi o stronę akustyczną, to odnosi się wrażenie, że w budowie skutecznych tłumików hamownianych więcej niż w innych dziedzinach decyduje doświadczenie zarówno projektantów jak i wykonawców, czego wyrazem jest rys. 12. Doświadczenie w tej dziedzinie pozwoliło, między innymi, na opracowanie standartowych modeli tłumików metalowych.

8. Konstrukcje tłumików hamowni silników odrzutowych

Tłumiki hamowni silników odrzutowych podzielić można na dwie grupy:

1. standartowe tłumiki metalowe wylotu, nadające się do zainstalowania w istniejących lub budowanych hamowniach,



Rys. 14. Przekrój standartowego tłumika metalowego

2. tłumiki wykonane z materiałów budowlanych, tworzące wraz z pomieszczeniem silnikowym, kabiną i innymi pomieszczeniami, zespół hamowniano-tłumikowy.

W pierwszej grupie najbardziej rozpowszechniły się tłumiki rurowe. W jednym z typowych takich tłumików, podobnie jak w tłumikach wcześniejszych tej serii, zastosowano zasadę prowadzenia strumienia gazów kanałami z materiałów o ścianach dźwiękochłonnych. Jak pokazuje rys. 13 i rys. 14, tłumik ma kształt cylindryczny i wykonany jest całkowicie z miękkiej blachy ze stali węglowej. Posiada trzy starannie opracowane pod względem akustycznym sekcje tłumiące, których zadaniem jest obniżenie natężenia dźwięków w wąskich zakresach częstości. Mianowicie, idąc w kierunku przepływu strumienia sekcje powodują maksymalne wytłumienie dźwięków:

- 1 w zakresie częstości 1000—10000 (c/sek)Hz,
- 2 w zakresie częstości 150—1000 (c/sek)Hz,
- 3 w zakresie częstości 10—150 (c/sek)Hz.

Częstości te obejmują zasadniczą część widma akustycznego, charakterystycznego dla tych silników odrzutowych, dla których przewidywane jest zastosowanie tłumika. Wymiary podłużne przedniej części tego tłumika dają się zmieniać teleskopowo dla umożliwienia dostosowania tłumika do różnych silników. Poszczególne części tłumika zamontowane są na wózkach, spoczywających na szynach, dla umożliwienia wydłużeń cieplnych, oraz dla łatwości demontażu. Ustaleniu ulega jedynie wózek wewnętrznej rury teleskopowej, znajdującej się w pomieszczeniu silnikowym, oraz pierwszy wózek na zewnątrz, najbliższy budynkowi. Doprowadzenie zimnego powietrza czerpanego z pomieszczenia silnikowego, odbywa się przy zastosowaniu dwóch inektorów. Wlot do pierwszego, chroniony siatką dla zabezpieczenia obsługujących przed nieszczęśliwym wypadkiem zassania do tłumika, znajduje się na początku rury tłumika, wlot zaś do drugiego — w szeregowej powstałej z różnicy średnic teleskopowych rur. W toku doświadczeń osiągnięto taki kształt inektorów, że praktycznie biorąc w środku długości tłumika w miejscu, gdzie znajduje się talerzowy zawór dławiący rozkład temperatur, jest już równomierny. Pierwotnie, zanim osiągnięto to, istniała konieczność stosowania w pewnych partiach stali nierdzewnych. Za inektorami znajduje się dyfuzor zakończony wspomnianym zaworem dławiącym. Zawór dławiący wprowadzono celem zmniejszenia oddziaływania tłumika na silnik, to znaczy celem niedopuszczenia do nadmiernych spadków ciśnienia w przekroju wylotowym dyszy silnika. Zaworem tym można nawet w czasie pracy silnika zmniejszać wydatek powietrza wtórnego i co za tym idzie — ciśnienie statyczne w okolicy wylotu silnika. Jednocześnie zmiana położenia zaworu, powodująca zmianę wydatku, wywołuje zmianę temperatur gazów przepływających przez tłumik i zmianę rozkładu temperatur wzdłuż tłumika. Jednakże nawet przy zupełnie zamkniętym zaworze istnieje wystarczający przelot dla przepływu świeżego powietrza, zapewniający bezpieczną pracę tłumika. Położenie dobiera się tak, aż otrzymuje się warunki najbardziej zbliżone do warunków swobodnego wypływu. Po ustale-

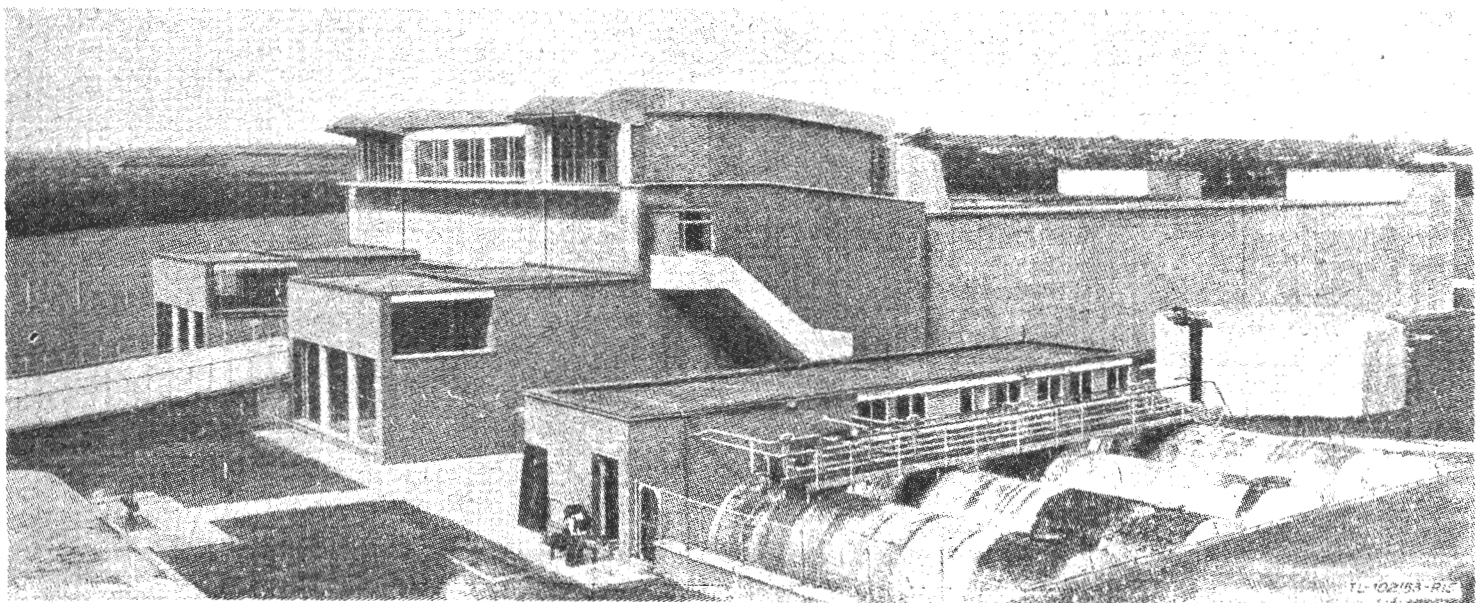
niu właściwego położenia zawór się zasadniczo unieruchamia, a zmianę pozycji przeprowadza w wyjątkowych okolicznościach, np. przy zmianie typu silnika, zmianie położenia rury teleskopowej względem dyszy silnika lub zmianie jej wysunięcia. W środku zaworu znajduje się otwór dla wziernika peryskopu umożliwiającego wgląd do dyszy silnika. Za zaworem znajdują się sekcje tłumiące. Ogólnie biorąc, są to przestrzenie cylindryczne wypełnione przegrodami dźwiękochłonnymi, wykonanymi z materiałów o dużej zdolności absorpcyjnej w wąskim zakresie częstości, oraz komory rezonansowe zawierające perforowane stożki bardzo skutecznie tłumiące niskie częstości. Na końcu tłumika znajduje się komora o największej średnicy, zawierająca siedem współśrodkowych, krótkich dwuciennych rur wypełnionych materiałami dźwiękochłonnymi. Aby przepływ przez te rury sam nie był przyczyną dźwięków wydostających się na zewnątrz, zamocowano je tylko od strony wnętrza tłumika. Jeżeli wylotem z tłumika jest wylot z ostatniej komory, to zaopatruje się go tylko w daszek przeciwdeszczowy. W innym przypadku wylot z komory łączy się z deflektorem skierującym gazy ku górze.

Opisany typ tłumika daje wyniki przedstawione na rys. 12 — krzywa dla tłumika z 1951 r.

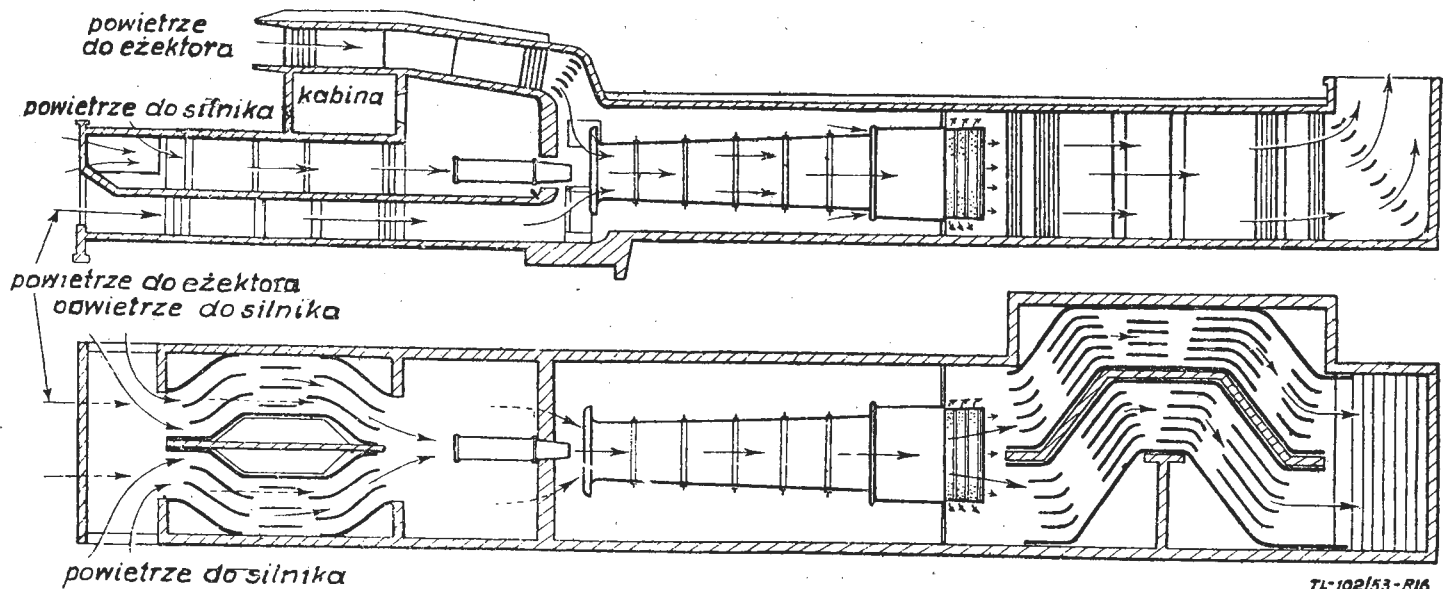
Dla silnika o 2400 kG ciągu i wydatku ok. 40 kG/sek, przy 10100 obr/min natężenie dźwięku w odległości 90 m wynosi 61 fonów, to znaczy mniej niż średnio ruchliwej ulicy. Tłumik ten przeznaczony jest dla silników do 4500 kG ciągu bez dopalania. Dla silników większych o wydatku do 145 kG/sek, bez dopalania lub wydatku, 70 kG/sek z dopalaniem i temperaturach do 1720°C przewidziany jest dalszy typ rozwojowy.

Innym typem tłumika metalowego jest tłumik podobny do opisanego, zwracający uwagę przede wszystkim rozrzutnością materiałów. Tłumik jest cylindryczny i ma centralny kanał, przez który przepływają gazy z dużą prędkością. Kanał ten tworzą dwie współśrodkowe perforowane rury, zewnętrzna z blachy ze stali węglowej, wewnętrzna z blachy ze stali nierdzewnej, przebiegające wzdłuż całego tłumika. Przestrzeń między rurami wypełnia wełna niklowa, miedziana oraz wata szklana, co przyczynia się do absorpcji wysokich częstości. Przestrzeń między zewnętrzną perforowaną rurą a ściankami tłumika podzielona jest na komory, w których zachodzi wytłumienie niskich częstości. Konstrukcja taka jest zgodna z ogólnie słuszną i stosowaną zasadą tłumienia wysokich częstości drogą absorpcji na przegrodach dźwiękochłonnych, zaś niskich częstości w komorach rozprężnych.

Wyniki osiągnięte przy zastosowaniu metalowych tłumików wylotu są jednakże w warunkach miejskich na ogół niezadowalające. W związku z tym stosowane są rozwiązania, będące rozwinięciem metod uciszania hamowni silników tłokowych za pomocą tłumików poziomych, wykonanych z materiałów budowlanych, zaopatrzonych w przegrody. Kształty i materiały tych przegród w stosowanych obecnie wykonaniach chronione są patentami. Ze względu na wielkie możliwości, które w naszych warunkach reprezentuje budownictwo, postaramy się krótko omówić jedną z takich hamowni wybu-



Rys. 15. Bliźniaczy zespół hamowniano-tłumikowy



Rys. 16. Przekrój zespołu hamowniano-tłumikowego

dowaną w układzie bliźniaczym, której układ jest przedmiotem patentu szwedzkiego nr 140 454, kl. 42 k, 20. Przekrój hamowni przedstawiony jest na rys. 15. Hamownia przeznaczona jest dla silników o ciągu 4500 kG. Z uwagi na brak dostatecznej ilości wody w okolicy hamowni obniżenie temperatury gazów przy pracy silnika bez dopalania osiągnąć jest tylko przez doprowadzenie wtórnego powietrza przy użyciu pojedynczego eżekto-injektora. Przy pracy z dopalaniem wtrysk wody był jednak nie do uniknięcia, przez co obok hamowni zbudowano, widoczny na zdjęciu (rys. 16), ośmiokątny zbiornik na wodę. W czasie projektowania przewidywano osiągnięcie wydatku zimnego powietrza w ilości czterokrotnego wydatku silnika, co miało wystarczająco zapobiegać uszkodzeniom cieplnym elementów konstrukcyjnych tłumika wylotu. Badania wykonane na modelu w skali 1:24 wykazały jednak, że można oczekiwać aż siedmio- do ośmiokrotnego wydatku silnika, oraz że mieszanie strumieni zachodzi wewnątrz dyfuzora. Wykonanie prób modelowych okazało się bardzo korzystne — w wyniku ich poszerzono np. dolny wlot do eżekto-injektora.

Jak widać z rys. 15 i 16, układ hamowni jest taki, że chłodzące powietrze wchodzi poprzez dwie niesymetrycznie położone komory tłumiące, umieszczone powyżej i poniżej wspólnej dla obu stoisk kabiny. Powietrze dla silnika doprowadzane jest przez pojedynczą komorę tłumiącą z płaszczyzną wlotu ustawioną pod kątem 90° do wlotów powietrza chłodzącego. Wszystkie komory wypełnione są zagiętymi, załamany, przerywanymi i przesuniętymi w płaszczyźnie poziomej bateriami przegród, wykonanych z materiałów dźwiękochłonnych. Płyty przegród komór wylotowych wykonane są z odpornych na temperaturę materiałów ceramicznych. Próby na gorąco płyt wykazały wytrzymałość ich na temperaturę 500°C przy prędkościach przepływu spalin 42 m/sek. Ponieważ wytrzymałość ta jest wyższa od potrzebnej, tłumik nadaje się do pracy przy silnikach o ciągu większym od 4500 kG. Dzięki troskliwemu opracowaniu wszystkich kanałów i przegród pod względem aerodynamicznym, straty ciśnienia nie przekraczają 50 mm słupa wody. Oczywiście przyczyniło się to bardzo poważnie do osiągnięcia nadspodziewanych wydatków powietrza.

Rura eżekto-injektora, będąca łagodnym dyfuzorem, wykonana jest z trzymilimetrowej blachy stalowej i zamontowana na rusztowaniach spoczywających na szynach celem umożliwienia przesuwania przedniej części wraz z kielichem wlotowym. Pomieszczenie, w którym się znajduje, zostało wykonane z monolitycznych płyt betonowych o grubości 30 cm. Temperatura powierzchni betonu utrzymana jest na poziomie 70°C dzięki wyłożeniu około dziesięciocentymetrową warstwą wełny mineralnej i pokryciu karbowaną blachą aluminiową.

Przy wspomnianym silniku na hamowni tej osiągnięto uciszenie, w wyniku którego w odległości 400 m natężenie dźwięków wynosi 56 fonów.

9. Uwagi końcowe

Uciszenie kabiny, będące problemem łatwiejszym, nie zostało rozważone, ponieważ związane jest z możliwością zewnętrznego uciszenia hamowni, bez którego uciszenie kabiny praktycznie trudno zrealizować. Należy tylko nadmienić, że uciszenie kabiny osiąga się przez zastosowanie izolacji dźwiękowej ze szczelnych ścian akustycznych, przez umieszczenie jej w części hamowni o osobnych fundamentach oraz przez unikanie metalicznych połączeń kabiny z pomieszczeniem silnikowym.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę na następujące fakty:

1. Możliwe jest uciszenie hamowni silnika odrzutowego lub tłokowego w dowolnie wielkim stopniu, zależnie od potrzeby, jednakże związane jest to z koniecznością powiększenia wymiarów tłumika,

2. możliwe jest dobudowanie tłumika do każdej istniejącej hamowni, jednakże przy jednakowych wynikach koszty dla takiego przypadku będą większe niż w przypadku, gdyby projekt tłumika przedsięwzięto równoległe z projektem hamowni,

3. wyniki osiągnięte na uciszzonej hamowni silnika odrzutowego, zarówno pod względem akustycznym jak i silnikowym, zależą od ścisłej współpracy szerokiego grona specjalistów, silnikowców akustyków i konstruktorów budowlanych.

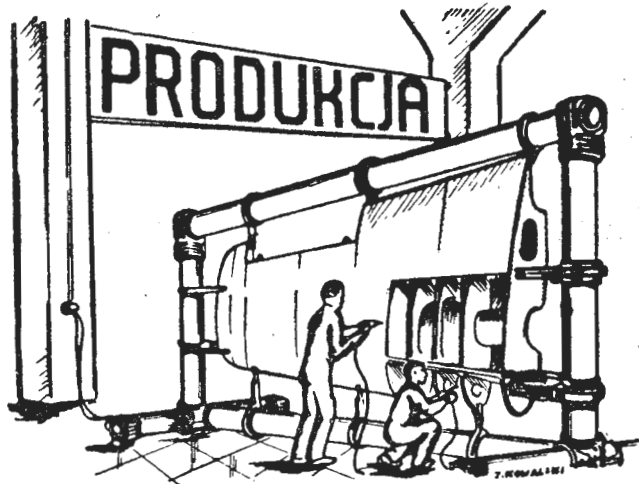
Artykuł wpłynął dnia 18 grudnia 1953 r.

W walce o oszczędność surowca i energii, podniesienie produkcji i wzrost wydajności niezbędną pomocą jest książka i prasa techniczna.

Mgr inż. ROMAN SZNEE

Podstawowe wiadomości o spawaniu w lotnictwie

621.79:629.13



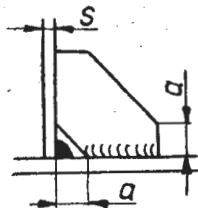
Wstęp

Spawanie jest jednym ze sposobów otrzymywania połączeń nierozdzielalnych. Sposób ten odznacza się prostotą urządzeń i łatwością otrzymywania skomplikowanych kształtów, pod warunkiem, że spawanie jest wykonywane przez sumiennego i wysokokwalifikowanego pracownika. Występujące przy spawaniu odkształcenia utrudniają dotrzymanie wymiarów; dlatego przy produkcji seryjnej konieczne jest stosowanie skomplikowanego oprzyrządowania. Z tych powodów spawanie najbardziej nadaje się do produkcji jednostkowej lub małoseryjnej.

Aby wykonane połączenie spawane było należytej jakości, musi być spełniony cały szereg warunków. Warunki te, to prawidłowe rozwiązanie konstrukcyjne połączenia, spawalny materiał, odpowiednio dobrane spoiwo i topniki, właściwa technologia, prawidłowo wykonane czynności przygotowawcze, odpowiednio kwalifikowani spawacze, przestrzegający sumiennie wskazań technologicznych oraz fachowa kontrola.

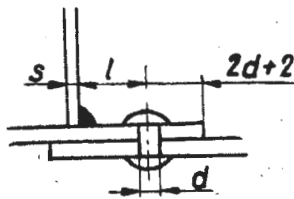
Rozwiązania konstrukcyjne

Twórcą połączenia spawanego jest konstruktor i od niego w pierwszym rzędzie zależy, czy połączenie to będzie należy-



TL-44/54-R1

rys. 1



TL-44/54-R2

Rys. 2

tej jakości. Żle zaprojektowane połączenie albo będzie niemożliwe do wykonania, albo będzie powodować powstawanie dużej liczby braków.

Prawidłowe rozwiązanie konstrukcyjne winno uwzględniać następujące wskazania:

1. należy dążyć do symetrii elementów spawanych unikając mimośrodowych obciążeń,
2. dbać o możliwość i łatwość wykonania prac spawalniczych,
3. zabezpieczać dostęp palnika lub elektrody do złącza spawanego,
4. ze względu na koncentrację naprężeń unikać krzyżowania się spoin, a odległość między równoległymi spoinami zachować co najmniej 10 — 12 mm,
5. przy spawaniu blach nierównej grubości należy ukosować grubszą blachę, gdyż w przeciwnym przypadku odkształca się tylko cieńsza blacha,
6. w pobliżu spoiny przewidywać elementy sprężyste (fały, zagięcia itp.), które zmniejszają odkształcenia, zapobiegają powstawaniu pęknięć i ułatwiają prostowanie,
7. pożądany stosunek grubości 1:1 i 1:2, najwyżej 1:3, wyjątkowo 1:4, dla wszystkich rodzajów spawań,
8. przy spawaniu zeber usztywniających należy robić ścięcia dla ominięcia spoin według wymiarów

gdy nie ma spoin dawać $a = 2$ mm,

s	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
a	5	5	6	7	8

9. przy nitowaniu elementów spawanych umieszczać nity w odległości nie mniejszej niż $3d$, lub zgodnie z tabelą:

d	2	2,6	3	3,5	4	5	6
l	8	9	10	11	12	14	16

dla grubości s od 0,5 do 5 mm,

10. unikać otworów w pobliżu spoiny, ponieważ powstają pęknięcia i przepalenia. Najmniejsza odległość 10 — 15 mm. Jeśli otwór konieczny bliżej — wiercić po spawaniu nie naruszając spoiny,

11. unikać niepotrzebnego spawania — stosować spoinę przerywaną,

12. przy spawaniu przestrzeni zamkniętych przewidywać na rysunkach otwory $\varnothing 1,5$ — 2 mm dla ujścia gazów. W razie konieczności zaopatrzyć uwagę: „zaspawać otwór po zakończeniu spawania”,

13. nie spawać elementów z zakończoną obróbką mechaniczną — nakrętki, śruby itp. Przewidywać możliwości obróbki mechanicznej po zesparaniu dla usunięcia wpływu odkształceń, zerdrowania itp.,

14. w węzłach spawanych unikać elementów obrabianych przed lub po spawaniu. Uważać, aby w czasie obróbki nie podcinano spoin,

15. przy obliczaniu spoiny na obciążenie znakozmienne, przekrój spoiny należy powiększyć o 30 — 35%,

16. dla uwzględnienia zmęczenia spoiny, według danych zagranicznych, należy brać do obliczeń:

$$\text{moment } M = M_{\max} + 0,5 (M_{\max} - M_{\min})$$

$$\text{podłużna siła } P = P_{\max} + 0,5 (P_{\max} - P_{\min})$$

$$\text{poprzeczna siła } Q = Q_{\max} + 0,5 (Q_{\max} - Q_{\min})$$

Wytrzymałość spoin — patrz tabela I,

17. dla obciążeń zmęczeniowych najlepsze są spoiny boczne i czołowe,

18. przy projektowaniu zbiorników rozmieszczać spoiny na części walcowej, a nie na sferycznej,

19. przewidywać możliwości remontu,

20. stosować na rysunkach oznaczenia spoin ustalonymi symbolami, podającymi rodzaj spoiny oraz podawać rodzaj spawania (tabela II),

21. pamiętać o rzeczywistych wymiarach spoin (tabela III),

Ogólne wskazówki stosowania rodzajów spawań:

1. Spawanie gazowe acetylenem najbardziej celowe do 1,5 mm grubości, jakkolwiek może być stosowane do 10 mm i więcej. Stosunek grubości części łączonych 1:1 i 1:2. Strefa ogrzania 20 — 25 mm na stronę, co powoduje duże naprężenia i odkształcenia. Stosuje się do spawania części pracujących statycznie, uderzeniowo, zmęczeniowo oraz na połącze-

nia szczelne. Poleca się stosować do spoin czołowych z obrzeżem, czołowych i narożnych krawędziowych.

2. Spawanie łukowe daje 2 — 4-krotnie większą wydajność w stosunku do acetylenowego. Stosuje się od 1,2 mm

Tabela I

Wytrzymałość spoin różnych stali (spoiwo 0.12% C)

Stal	Obróbka cieplna	R _r materiału kG/mm ²	R _r spoiny			Obciążenie
			acetylen kG/mm ²	łukowe kG/mm ²	atomowe kG/mm ²	
20 30 HMA 30 HGSA	bez obróbki " " "	40 45 55	30 50 50	34 45 50	— — —	rozciąganie " "
30 HMA 30 HGSA	wyżarzenie izotermiczne	45 55	50 45	40 40	— —	" "
30 HMA 30 HGSA	hartowanie do 80 kG/mm ²	80 ± 10 80 ± 10	60 60	— 55	— —	" "
30 HMA 30 HGSA	hartowanie do 100 kG/mm ²	100 ± 10 100 ± 10	70 70	— 65	— —	" "
30 HMA 30 HGSA	hartowanie do 120 kG/mm ²	120 ± 10 120 ± 10	80 80	— 75	— 90	" "
20 30 HMA 30 HGSA	bez obróbki " " "	30 33 40	20 — 32	25 27 32	— — 40	ściananie " "
30 HMA 30 HGSA	hartowanie do 100 kG/mm ²	— 70	— 52	— 50	— —	" "

Uwaga: dane tabeli dotyczą grubości do 4 mm

Ogólna zależność wytrzymałości spoin od rodzaju spawania i wytrzymałości materiału podstawowego (przybliżona)

Rodzaj i obróbka cieplna stali	Spoina acetylenowa i łukowa	Spoina atomowa
Stal węglowa i stopowa przy obróbce cieplnej do 80 ± 10 kG/mm ²	R _r sp = 0,75 R _r R _c sp = 0,60 R _r	R _r sp = 0,85 R _r R _c sp = 0,75 R _r
Stal stopowa przy obróbce cieplnej do 100 ± 10 kG/mm ²	= 0,7 R _r = 0,55 R _r	= 0,80 R _r = 0,65 R _r
Stal stopowa przy obróbce cieplnej do 120 ± 10 kG/mm ²	= 0,65 R _r = 0,50 R _r	= 0,75 R _r = 0,60 R _r
Stal stopowa przy obróbce cieplnej do 140 ± 10 kG/mm ²	= 0,60 R _r = 0,45 R _r	= 0,65 R _r = 0,50 R _r

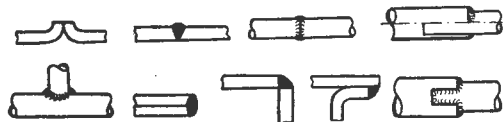
w górę. Stosunek grubości spawanych elementów 1:1 do 1:3. Z powodu małej strefy ogrzania występują minimalne naprężenia i odkształcenia. Części małej grubości spawa się prądem stałym przy użyciu grubych otulin (lecz również i zmien-

Tabela II

Rodzaj spoiny	GOST 5263-50		DIN - L
	Widoczne	Niewidoczne	
Krawędziowa z obrzeżem			
Czołowa (brzeźna)			
Czołowa jednostronna bez ukosowania			
Czołowa dwustronna bez ukosowania			
Spoina czołowa na kształt V			
Spoina krawędziowa (narożna)			
Spoina na nakładkę			
Spoina pachwinowa jednostronna ciągła			
Spoina pachwinowa dwustronna ciągła i przerywana			

TL-44/54-II

zenia i odkształcenia. Części małej grubości spawa się prądem stałym przy użyciu grubych otulin (lecz również i zmien-



TL-44/54-03

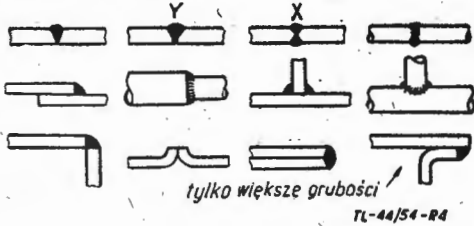
Rys. 3

nym). Używa się do spawania części pracujących przy obciążeniach statycznych i uderzeniowych. Przy stosowaniu elektrod

Tabela III
Wymiary gabarytowe spoin.

Spawanie acetylenem i atomowe	Grubość blach spawanych mm										Uwagi
		a	b	a	b	a	b	c	a	b	
Spawanie acetylenem i atomowe	0,5 + 0,5	3	—	3,5	—	3,5	—	3	—	3	1. Nie mniej 0,5 grubości blachy 2. Przy różnej grubości blach nie mniej 0,5 grubości cieńszej blachy. 1. Nie mniej 1,25 grubości górnej bl. Gdy konieczna równa powierzchnia dopuszczalne usunięcie wzmocnienia. Do grubości górnej blachy 1. Nie mniej sumarycznej grubości blach. W koniecznych przypadkach dopuszcza się szczytowanie spoiny do grubości blach 2. Nie mniej 1,5 grubości cieńszej blachy W poszczególnych przypadkach przy spawaniu narożników odbijających płomienie dopuszczalne odchyłki od podanych wymiarów do 25% w kierunku zwiększenia.
	0,5 + 1	3	—	4	—	4	—	3,5	—	3,5	
	1 + 1	4	—	4,5	—	4,5	—	4	—	4	
	1 + 1,5	4	—	5	—	5	—	4,5	—	4,5	
	1 + 2	4	—	5,5	—	5,5	—	5	—	5	
	1,5 + 1,5	5	—	6	—	6	—	5,5	—	5,5	
	1,5 + 2	5	—	6,5	—	6,5	—	6	—	6	
	2 + 2	5	—	7	—	7	—	6,5	—	6,5	
	2 + 2,5	6	—	7,5	—	7,5	—	7	—	7	
	2,5 + 2,5	6	—	8	—	8	—	7,5	—	7,5	
3 + 3	7	—	9	—	9	—	8	—	8		
3 + 4	8	—	10	—	10	—	9	—	9		
4 + 4	9	—	11	—	11	—	10	—	10		
Spaw. łukowe	1	4	—	2,5	—	2,5	—	1	—	1	Wymiary sprawdza się szablonem — dopuszczalne przekroczenie wymiarów 20% na długości. 20% spoiny dla elementów odpowiedzialnych 30% spoiny dla pozostałych.
	1,5	4	—	3,5	—	3,5	—	1,5	—	1,5	
	2	4	—	4	—	4	—	2	—	2	
	2,5	5	—	4,5	—	4,5	—	2,5	—	2,5	
	3	5	—	5	—	5	—	3	—	3	
	3,5	6	—	5,5	—	5,5	—	3,5	—	3,5	
	4	6	—	6	—	6	—	4	—	4	
	4,5	7	—	6,5	—	6,5	—	4,5	—	4,5	
	5	7	—	7	—	7	—	5	—	5	
	6	8	—	7,5	—	7,5	—	6	—	6	

o grubych otulinach można spawać elementy o grubości powyżej 1,5 mm, pracujące na obciążenia zmęczeniowe i na połączenia szczelne. Łukowo spawa się spoiny (rys. 4).



rys. 4

3. Spawanie atomowe (arcatom) stosuje się z powodzeniem przy spawaniu wszelkiego rodzaju stali, a mianowicie: niklowych, chromowych, molibdenowych, wysokowęglowych i żaroodpornych. Stosuje się przy dużej różnicy grubości oraz do prac odpowiedzialnych, jak zbiorniki wysokiego ciśnienia (do 3 mm grubości), grubsze spawa się łukowo specjalnymi elektrodami, oraz do naprawy pęknięć. Wadą tego rodzaju spawania są niewygodne i duże palniki, uniemożliwiające spawanie w ciasnych miejscach (węzły kratownic). Poleca się spawać spoiny (rys. 5).



rys. 5

4. Spawanie łukowe w atmosferze argonu stosuje się przy spawaniu stali nierdzewnej i żaroodpornej oraz stopów aluminium i magnezu z bardzo szczelnymi spoinami do grubości 1,5 mm.

Poleca się spawać spoiny (rys. 6).

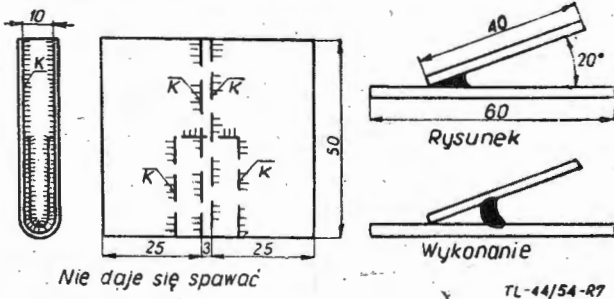


rys. 6

5. Zgrzewanie punktowe stosuje się do grubości 10 mm (łącznie) dla wszelkich rodzajów obciążeń.

6. Zgrzewanie liniowe stosuje się do łącznej grubości 6 mm dla wszelkiego rodzaju obciążeń przy łączeniu na nakładkę.

Najczęściej popełnianym przez konstruktorów błędem jest brak miejsca na podejście palnikiem do spawania, oraz niewiadomianiu sobie rzeczywistych wymiarów spoin, które szczególnie przy spawaniu pachwinowym acetylenem są bardzo znaczne. Poza tym spoiny pachwinowe w kątach mniejszych niż 90° nie zawsze dają się położyć w miejscu podanym przez konstruktora.



rys. 7

Materiał

Ażeby wykonane połączenie spawane było należytej jakości, tj. odpowiadało postawionym przez konstruktora wymaganiom, łączone części muszą być wykonane z materiału posiadającego obok innych własności — cechę spawalności. Pod tym pojęciem należy rozumieć zbiór własności metalu, powodujących przy danym sposobie spawania i przyjętej technologii:

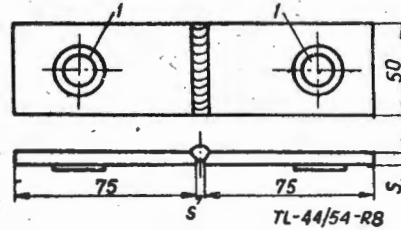
1. fizyczną możliwość otrzymania związania między atomami łączonych elementów,

2. możliwość osiągnięcia wymaganych dla konstrukcji własności fizycznych i mechanicznych spoiny w czasie procesu łączenia i po zakończeniu,

3. określone zmiany własności metali łączonych w wyniku łączenia,

4. znoszenie naprężeń bez zniszczenia (pęknięć).

Badaniu na spawalność podlega gatunek stali celem otrzymania charakterystyki obejmującej: zmiany struktury, własności mechanicznych, skłonności do pęknięć itp. danych, po-



rys. 8

trzebnych konstruktorom i technologom. Jednakże skład chemiczny, struktura i własności mechaniczne nie charakteryzują całkowicie materiału pod względem skłonności do pęknięć. Dlatego też każda partia materiału danego gatunku winna być badana na skłonność do pęknięć.

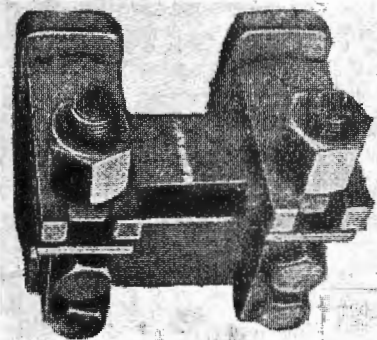
Prób spawalności wysuwanych przez różnych badaczy jest bardzo wiele, lecz żadnej z nich nie można uważać za doskonałą.

Poniżej przytoczone są najważniejsze z nich:

A. Dla spawania acetylenowego:

1. Dwie próbki blachy o grubości od 0,5 do 1,2 mm o wymiarach 50 × 75 wycięte z blachy zaciska się w przyrządzie aż do powstania wygniecia, zachowując między nimi odstęp równy grubości blachy. Spawanie przeprowadza się palnikiem acetylenowym metodą w prawo od brzegu próbki w jednym przejściu, bez przedniego podgrzewania. Próbkę po ostygnięciu wyjmuję się z przyrządu, piaskuje i bada przez lupę występujące pęknięcia. Skłonność do pęknięć określa się procentowym stosunkiem długości sumarycznej pęknięć po jednej stronie spoiny do długości spoiny. Pęknięcia rozkładają się przeważnie na krawędzi spoiny z dolnej strony próbki. Za wynik przyjmuje się wartość średnią z 5 próbek. Do spawania acetylenem nadaje się stal, jeśli długość pęknięć nie przekracza 10%. Stal wykazująca większą skłonność do pęknięcia może być użyta przy zastosowaniu specjalnych drutów austenitycznej klasy.

2. Badanie na skłonność do pęknięcia stali niskowęglowej można przeprowadzić na próbkach kwadratowych o wymiarach 75 × 75 mm (rys. 10). Próbkę spawa się od krawędzi do



rys. 9

środką, prostopadle do kierunku walcowania, kładąc spoinę przy użyciu drutu o zawartości węgla 0,1%. Z pęknięć na dolnej powierzchni określa się skłonność do pęknięć jak uprzednio.

B. Dla spawania łukowego:

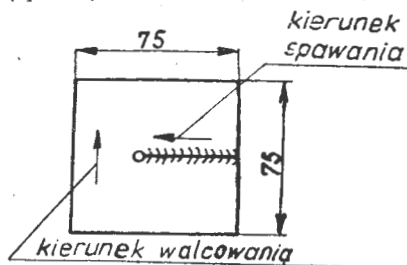
używa się próbek z blach o grubości od 3 do 8 mm, wycinając co najmniej po 4 próbki o wymiarach 50 × 150 i 30 × 150.

a) płytkę 30 × 150 spawa się do 50 × 150 tworząc teownik jak na rysunku (rys. 11). Jeżeli występują pęknięcia, to materiał nie nadaje się do spawania. O ile pęknięcia nie występują, prowadzi się próby dalej.

b) spawa się ze sobą dwa teowniki. Jeśli występują pęknięcia, stal nadaje się do spawania tylko w specjalnych warunkach (druć austenityczny, spawanie z podgrzewaniem) (rys. 12). O ile pęknięcia nie występują,

c) do czoła teowników z obu stron spawa się ścianki. Jeśli wystąpią pęknięcia, stal jest spawalna i dopuszcza się do

spawania z obowiązkową kontrolą wszystkich spoin. Jeśli pęknięć nie ma, stal uważa się za bardzo dobrze spawalną (rys. 13).

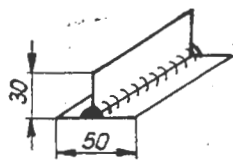


TL-44/54-R10
rys. 10

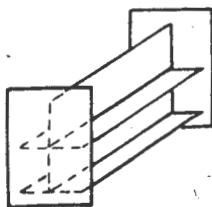


TL-44/54-R12

rys. 12



TL-44/54-R11
rys. 11



TL-44/54-R13
rys. 13

Kontrolę pęknięcia należy dokonywać co najmniej w 0,5 godziny po zakończeniu spawania, po opłaskowaniu. Brać pod uwagę pęknięcia w strefie przejściowej i na spoinie. Pęknięcia na samej spoinie nie charakteryzują blachy, lecz spoiwo (elektrodę).

Spoiwo

1. Skład chemiczny spoiwa musi być ściśle określony, gdyż od tego zależą własności spoiny, doraźna wytrzymałość i wydłużenie. Zwykle skład spoiwa winien odpowiadać materiałowi spawanemu, lub dla mniejszych wytrzymałości stosuje się spoiwo ze stali niskowęglowej o specjalnie małej ilości zanieczyszczeń (000/10), 10A.
2. Średnica drutu musi odpowiadać grubości materiału spawanego. Zbyt gruby drut za późno się topi, co powoduje przepalenie lub przegrzanie materiału spawanego oraz zwiększenie strefy ogrzewania. Za cienki drut topi się zbyt szybko, przepala się i kładzie się na nieroztopiony materiał, dając zamiast spoiny „sklejenie”.
3. Powierzchnia spoiwa powinna być czysta od rdzy, tlenków, tłuszczów, farby itp., gdyż zanieczyszczenia te dostają się do „jeziorka”, powodując powstawanie rozbryzgiwania, porowatość spoiny lub wtrącenia niemetaliczne, obniżając jakość spoiny.
4. Spoiwo nie powinno dawać rozbryzgiwania. Spoiwo nie dające rozbryzgiwania daje zwykle największą wytrzymałość. Są przypadki, że spoiwo o dużym rozbryzgu daje dużą wytrzymałość, ale praca takim spoiwem powoduje częste zatykanie się palnika, zmianę regulacji płomienia i częste przerwy, co obniża jakość spoiny.
5. Spoina musi być dobrze obrabialna skrawaniem.
6. Spoina nie może być porowata — zależy to od obecności w spoinie wtrąceń żuźlowych, zawartości siarki, która robi metal gęsto płynnym, co utrudnia uchodzenie gazów, oraz od zawartości krzemu, który tworzy trudno topliwy żużel, utrudniający wydzielanie się gazów. Spoiwo powinno być dostarczane w zwojach, przy czym każdy zwój przeznaczony do spawania acetylenowego lub atomowodorowego należy poddać analizie chemicznej oraz próbie na topliwość. Próbę wykonuje się na blasze 100 X 100 o grubości zależnej od średnicy drutu przez położenie spoiny bez topnika, dokładnie obojętnym płomieniem. Spoiwo winno się topić spokojnie, bez widocznego powstawania żużla i wyprysków. Spoina winna być niska, bez zacieków, z gęsto rozłożoną łuską. Zakończenie spoiny nie powinno mieć porów i pęknięć. Przy badaniu wysokostopowego spoiwa austenitycznego w zakończeniu spoiny dopuszczalne jest powstawanie pęcherzyków gazowych. W trudnych przypadkach ocenę przeprowadza się przez porównanie próbek z ustalonymi wzorcami.

Topniki

Działanie topników polega na rozpuszczaniu warstwy tlenków dla zabezpieczenia dobrego zlewania się topionego materiału i spoiwa przy równoczesnym usunięciu niemetalicznych wtrąceń. Usuwanie z płynnego metalu tlenków oraz niemetalicznych wtrąceń odbywa się dwiema drogami:

- a) przez tworzenie łatwotopliwych związków chemicznych nierozpuszczalnych w płynnym metalu,
 - b) przez rozpuszczanie tlenków w topniku i związkach powstających w wyniku działania topnika.
- Topniki muszą spełniać następujące warunki:
- 1) winny dobrze łączyć się z tlenkami, tworząc żużel,
 - 2) ciężar właściwy żużla winien być znacznie mniejszy niż ciężar właściwy metalu,
 - 3) żużel powinien być łatwotopliwy i winien łatwo rozplwać się po powierzchni jeziorka, ochraniając stopiony metal od dalszego utleniania,
 - 4) po ostygnięciu spoiny żużel i resztki topnika winny dawać się łatwo usunąć z powierzchni spoiny.

Jako topników używa się najczęściej mieszanin, podstawowym składnikiem których jest SiO₂, tworzący z tlenkami żelaza żużel FeO. SiO₂, oraz rozpuszczalniki, w skład których wchodzi chlorki i fluorki sodu, potasu i litu.

Technologia

Pod pojęciem „właściwa technologia” rozumiemy prawidłowe opracowanie instrukcji wykonawczych, według których proces wykonywania złącza będzie przeprowadzany.

Instrukcje wykonawcze winny podawać:

1. Rodzaj spawania (acetylenowe, łukowe itp.).
2. Rodzaj materiału rodzimego — gatunek, norma.
3. Rodzaj i oznaczenie spoiwa, jego wymiar.
4. Rodzaj prądu przy spawaniu elektrycznym (stały, zmienny, biegunowość dodatnia, ujemna).
5. Przygotowanie krawędzi — rodzaj ukosowania.
6. Sposób szepiania — palnikiem acetylenowym, łukiem, kolejność szepiania, odstęp szepień, odstęp między elementami.
7. Technika spawania — w lewo, w prawo, numer palnika, rodzaj płomienia (obojętny, nawęglający), natężenie prądu, szybkość posuwu, liczba warstw itd.
8. Kolejność kładzenia spoin.
9. Podgrzewanie — miejsce i sposób podgrzewania.
10. Wyżarzanie po spawaniu — sposób przeprowadzania, przebieg temperatur w czasie.

Instrukcje wykonawcze opracowywane są w prostszych przypadkach na podstawie ogólnie obowiązujących zasad i instrukcji oraz doświadczeniach opracowującego. W bardziej skomplikowanych przypadkach instrukcje opracowuje się na podstawie szeregu prób. Kolejność kładzenia spoin wybiera się taką, która daje najmniejsze odkształcenia konstrukcji.

Spawacze

Do spawania elementów samolotu dopuszcza się wyłącznie spawaczy, którzy zdali egzamin teoretyczny i praktyczny, oraz otrzymali odpowiednie świadectwa. Świadectwo określa rodzaj spawania i grupę prac, jaką może dany spawacz wykonywać.

Każdy spawacz raz na rok przechodzi badania kontrolne praktyczne, a raz na dwa lata teoretyczne z zakresu technologii spawania i bezpieczeństwa pracy.

Dopuszczenie spawacza do nowego rodzaju prac może nastąpić tylko na podstawie egzaminu.

Egzamin kwalifikacyjny i kontrolny obejmuje:

- a) spawanie płyt doczołowo i na zakładkę dla badań wytrzymałościowych, rentgenowskich, metalograficznych i technologicznych,
- b) spawanie elementów wykonywanych w produkcji przez spawacza o danych kwalifikacjach,
- c) wiadomości teoretyczne z zakresu technologii spawania i bezpieczeństwa pracy.

Do wykonania próbek bierze się ten sam gatunek materiału, jaki spawacz spawa w produkcji. Jeśli spawacz spawa różne gatunki materiałów, rodzaj materiału ustala komisja egzaminacyjna. Grubość płytek dobiera się w zależności od grubości spawanych elementów. Dla elementów do 4 mm grubość płyty wynosi 1,5 lub 2 mm. Płyty o wymiarach 250 X 100 spawa się wzdłuż krawędzi, która powinna być prostopadła do kierunku walcowania. Płyty wycina się z arkuszy w takim stanie obróbki cieplnej, w jakim są dostarczane do warsztatu.

Spawacz przygotowuje krawędzie, dobiera średnicę spoiwa, natężenie prądu, reguluje płomień itd. oraz wykonuje spawanie w obecności komisji. Komisja ocenia wykonanie prób pod a) i b) na podstawie obserwacji przebiegu spawania, wyglądu zewnętrznego i na podstawie prześwietleń rentgenowskich. Po prześwietleniu, z płyt spawanych doczołowo wycina się przynajmniej 5 próbek do badań wytrzymałościowych połączenia spawanego i samej spoiny. Płyty z materiału, który w wy-

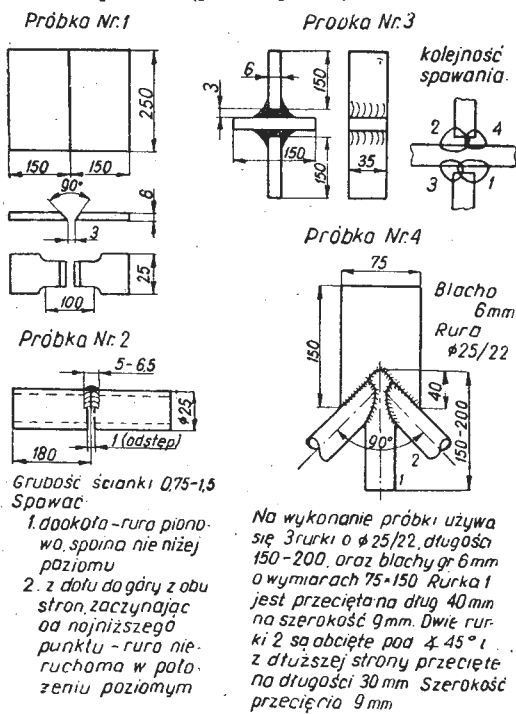
konywanych elementach podlega obróbce cieplnej, poddaje się takiej samej obróbce razem z próbką niespawaną. Wytrzymałość względnie spoiny określa się przez porównanie wytrzymałości obu próbek, przy czym wytrzymałość spoiny winna wynosić co najmniej 90% wytrzymałości materiału.

Według innych przepisów spawaczy dzieli się na grupy, zależnie od rodzaju spawanego metalu, oraz klasy — zależnie od umiejętności. Grupy obejmują:

- I. stale węglowe i niskostopowe,
- II. stale nierdzewne,
- III. stopy niklowe,
- IV. stopy aluminiowe,
- V. stopy magnezowe

Klasa A obejmuje spawaczy uprawnionych do wykonywania wszelkich prac przy produkcji zespołów lotniczych z materiałów swej grupy. Klasa B obejmuje spawaczy grupy I uprawnionych do spawania mało obciążonych zespołów lotniczych, jak owiewki, konsolki dla przyrządów itp.

Próby kwalifikacyjne dla spawaczy grupy I obejmują wykonanie czterech próbek (patrz rys. 14):



rys. 14

Próbka 1. Spawanie dwu odcinków blachy, gatunku używanego do produkcji o wymiarach 250 × 150, o grubości 6 mm, zukosowanych. Spawanie wykonuje się jednym przejściem. Spoinę należy usunąć do powierzchni blachy i wyciąć 3 próbki na zerwanie. Średnia wytrzymałość spoiny — przy użyciu spoina o zawartości 0,07 do 0,12% węgla — nie powinna być niższa niż 35 kG/mm² dla stali węglowych i 56 kG/mm² dla stali stopowych. Najniższa wartość otrzymana przy badaniu próbek nie powinna być niższa niż 90% podanych wartości.

Próbka 2. Spawanie rury ϕ 25 o grubości ścianki 0,75 do 1,5 mm w dwu położeniach:

- a) w położeniu poziomym bez obracania — spawac dwustronnie, zaczynając od najniższego punktu,
- b) w położeniu pionowym — spoina na wysokości nie niższej od poziomu oczu. Wytrzymałość próbki nie powinna być niższa niż 35 kG/mm² dla stali węglowych i 56 kG/mm² dla stali stopowych.

Próbka 3. Spawanie krzyża z 3 blach 35 × 150. Szczelina między blachami 3 mm. Spoinę pachwinową kładź dwustronnie według pokazanej kolejności. Próbkę podlega zerwaniu oraz zbadaniu prawidłowości wtopienia przez trawienie. Próbkę winna wykazać wytrzymałość przynajmniej 30 kG/mm² dla stali węglowej i 45 kG/mm² dla stali stopowych.

Próbka 4. Wykonanie węzła składającego się z blachy i 3 rurek. Węzeł przecina się w przekroju AA, poleruje się i trawi 50% roztworem kwasu solnego przy temp. 80° celem określenia wtopienia. Dla grubości 6 mm wystarcza wtopienie 25—40%.

Roczne próby kontrolne można ograniczyć do próbki 4. Próby kwalifikacyjne dla grupy III, IIII, IV i V polegają na

wykonaniu spoin doczołowych z blachy najcieńszej i najgrubszej, spotykanej w produkcji. Wymiary blach 150 × 250. Spawa się ze sobą blachy jednakowej grubości. W przypadku blach grubszych niż 3 mm stosuje się spawanie dwustronne. Spoina powinna być jednakowej grubości, odpowiednio gładka, wolna od wtrąceń i nieregularności świadczącej o braku wprawy. Z zespanych blach wycina się próbki o szerokości 25 mm. Spodnią stroną spoiny (lico grani) oczyszcza się. Próbkę w miejscu spawania zgina się o 180° na promieniu równym grubości blachy, licem spoiny na zewnątrz. Próbkę nie powinna pęknąć, ani wykazać zmian na linii granicznej spoiny i blachy. Dla stopów grupy V próby gięcia nie stosuje się.

Na podstawie dodatniego wyniku prób, spawacza dopuszcza się do produkcji lotniczej.

Spawacze podlegają badaniom kontrolnym co 6 miesięcy, przy czym minimum prób obejmuje: dla spawaczy klasy A próbkę Nr 4 lub zespół z produkcji o podobnych własnościach, dla spawaczy klasy B grupy 1 — próbkę Nr 2 spawaną nad głową. Spawacze grup II, III, IV i V nie podlegają badaniom kontrolnym, jeżeli stale spawają stopy swej grupy.

Przygotowanie materiału i zespołów do spawania. Szczipanie

Wycięte z blachy lub wytłoczone półfabrykaty winny być przez kontrolę odcchowane, dla określenia rodzaju materiału, w odległości nie mniejszej niż 10 mm od spoiny. Głębokość cechowania dla blach grubości od 0,8 do 1,5 mm nie powinna przekraczać 10% grubości materiału. Materiał podlegający tłoczeniu i gięciu powinien być poddany izotermicznemu wyżarzeniu przed tymi procesami. Elementy takie przed spawaniem nie wymagają obróbki cieplnej.

Dla prawidłowego przebiegu procesu spawania konieczne jest zachowanie pomiędzy spawanymi elementami luzów, podanych na załączonej tabeli IV. Przy ręcznym przygotowywaniu krawędzi dopuszczalne są odchylenia od podanych wartości w wysokościach \pm 50%.

Tabela IV

Spawanie	Wysokość	Wymiary
Spawanie czotowe	$s < 0,8$	s_1 od 0,5 do 1,5 s_2 od 0,5 do 1,5
	$s = 0,8-1,5$	dla spoiny s_1 od 1,5 do 3 s_2 od 1,5 do 3
	$s = 1,6-2$	s_1 od 2 do 3 s_2 od 2 do 3
	$s = 2,5-5,5$	s_1 od 2 do 3 s_2 od 2 do 3
	$s = 6-10$	s_1 od 3 do 6 s_2 od 3 do 6
Spawanie pachwinowe	$s = 6-10$	s_1 od 6 do 10 s_2 od 6 do 10
	$s = 10-15$	s_1 od 6 do 10 s_2 od 6 do 10
	$s = 15-20$	s_1 od 6 do 10 s_2 od 6 do 10
Spawanie na nakładkę	s_1 od 0,5 do 10 s_2 od 0,5 do 10	
	s_1 od 0,5 do 3 mm s_2 od 0,5 do 3 mm	
Spawanie krawędziowe	s_1 od 3 do 10 s_2 od 3 do 15	
	s_1 od 1 do 2 s_2 od 1 do 4 s od 0 do 1	

TL-44/54-17

Wąsy, zadziory itp. nierówności krawędzi muszą być opilowane dla zabezpieczenia jednostajnego odstępu na całym obrysie. Elementy grubsze od 3 mm powinny być ukosowane. Elementy przeznaczone do spawania powinny być oczyszczone z zendry, tuszczu, farby itp., najlepiej przez piaskowanie. Resztki piasku usuwa się przez przedmuchanie. Rury przed piaskowaniem zabezpieczyć na końcu korkami. Ewentualne ślady miedzi usuwa się roztworem kwasu chromowego, po czym płucze się.

Przed spawaniem przygotowane w ten sposób elementy szczipa się ze sobą. Szczipanie powinno być dokonane w przyrządach nie pozwalających na przesunięcie części względem siebie i zapewniających zachowanie odpowiednich luzów. Podziałka szczipania zależy od grubości materiału (patrz niżej).

Szczipanie przeprowadzać od środka ku brzegom kładzionych później spoin. Unikać szczipień w miejscach skupienia

naprężen, a więc miejsc gięcia o małych promieniach, miejsc zakończeń spoin itp. Końcowe szpewienia powinny być umieszczone w odległości najmniej 10 mm od krawędzi. Przy szpewianiu cylindrów, kołnierzy, rur, podkładek itp. szpewie-

Grubość materiału w mm	Podziałka szpewiania w mm	
	dla spawania gazowego	dla spawania łukowego
0,5 - 1	20 - 30	-
1 - 2	30 - 50	45 - 75
2 - 4	-	60 - 80
ponad 4	-	80 - 150

nia rozmieszczać symetrycznie. W przypadku dwustronnego szpewiania punkty szpewień rozkładać kolejno na przemian po obu stronach.

Szpewienia można wykonać za pomocą spawania gazowego (polecane dla grubości do 1,2 mm) lub łukowego (polecane dla grubości powyżej 1,5 mm), niezależnie od sposobu późniejszego spawania. Jako spoiwa używa się stali niskowęglowej (00010) w formie drutu lub elektrod w cienkiej otulinie. Jeśli spawanie ma być wykonane elektrodami w grubej otulinie, to szpewienie wykonuje się tymi samymi elektrodami. Przy szpewianiu palnikiem gazowym płomień powinien być obojętny, tylko dla chromo-krzemomanganowych z lekką nadwyżką acetylenu. Miejsce szpewienia podgrzewa się dookoła na odległości 20-35 mm do koloru czerwonego, a następnie po stopieniu krawędzi dodaje się spoiwo i w dalszym ciągu podgrzewając dookoła — stopniowo odprowadza się płomień w górę dla uniknięcia gwałtownego chłodzenia, aż do pociemnienia. Wówczas płomień można odjąć. Takie postępowanie zapobiega powstawaniu pęknięć. Przy łączeniu części nierównej grubości poleca się podgrzewać część grubszą z drugiej strony.

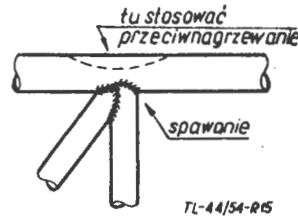
Szpewianie elektryczne dokonuje się łukiem krótkim (nie więcej niż średnica elektrody). Części szpewiane powinny mieć położenie poziome lub najwyżej 15° nachylenia. Napięcie

Spawanie

Poszpewiany przedmiot zostaje pospawany. W zależności od grubości materiału oraz innych warunków produkcyjnych instrukcje technologiczne narzucają wykonanie za pomocą spawania acetylenowego, łukowego, wodoro-atomowego lub łukowego w atmosferze argonu. Każdy z tych procesów powinien przebiegać przy zachowaniu odpowiednich warunków.

Spawanie acetylenowe

Spawanie elementów lotniczych dopuszczalne jest w temperaturze nie niższej niż + 50°C. Ze względu na niewielkie grubości materiału używanego na elementy lotnicze, stosuje się prawie wyłącznie sposób spawania „w lewo”. Wymiary końcówek, ciśnienie tlenu i średnice drutu-spoiwa, w zależności od grubości materiału, podaje tabela V.



rys. 15



rys. 16



rys. 17

Spawanie stali przeprowadza się obojętnym płomieniem, nagrzewanie wstępne płomieniem lekko odtleniającym. Koniec jądra płomienia min. 1 mm od roztopionego metalu. W czasie spawania nie należy odrywać płomienia palnika od spoiny. Jest to dopuszczalne celem uniknięcia przegrzania materiału tylko w następujących przypadkach:

1. spawanie w trudno dostępnych miejscach odbijających płomień,
2. przy spawaniu materiału o grubości do 1 mm,
3. przy nakładaniu zakończenia spoiny.

W razie konieczności przerwy w spawaniu należy płomień odprowadzać powoli do góry, ogrzewając materiał w odle-

Tabela V Warunki spawania typowych połączeń acetylenem

Grubość materiału spawanego	Spawanie doczołowe				Spawanie pachwinowe			Spawanie na zakładkę			Spaw. krawędziowe (narożn)		
	nr palnika	moc palnika l/godz.	ciśnienie tlenu	średnica drutu	nr palnika	ciśnienie tlenu	średnica drutu	nr palnika	ciśnienie tlenu	średnica drutu	nr palnika	ciśnienie tlenu	średnica drutu
0,5 + 0,5	00-0	50-75	1,5	1,0	00-0	1,5	1,0	00-0	1,5	1,0	00-0	1,5	1,0
0,5 + 1,0	00-0	50-75	1,5	1,0	0	1,5	1,0	0	1,5	1,0	00-0	1,5	1,0
0,8 + 0,3	0	75	1,5	1,0	0	1,5	1,0	0	1,5	1,0	00-0	1,5	1,0
0,8 + 1,5	0	75	1,5	1,0	0	1,5	1,0	0	1,5	1,0	0	1,5	1,0
1,0 + 1,0	0	75	1,5	1,0	0	1,5	1,0	0	1,5	1,0	0	1,5	1,0
1,0 + 2,0	0-1	75-150	1,5	1-1,5	0	1,5	1,0-1,5	0	1,5	1,0	0	1,5	1,0
1,0 + 3,0	1	150	2,0	1,5	0-1	1,5	1,5	0-1	1,5	1,0-1,5	0	1,5	1,5
1,5 + 1,5	1	150	2,0	1,5	1	2,0	1,5	1	2,0	1,5	1	2,0	1,5
1,5 + 3,0	1-2	150-300	2,0	2,0	1-2	2,5	2,0	1-2	2,5	2,0	1	2,0	2,0
2,0 + 2,0	1-2	150-300	2,5	2,0	1-2	2,5	2,0	1-2	2,5	2,0	1	2,0	2,0
2,0 + 3,0	2	300	2,5	2,0	2	2,5	2,0	2	2,5	2,0	1-2	2,5	2,0
2,5 + 2,5	2	300	2,5	2,0	2	3,0	2,5	2	2,5	2,0	2	2,5	2,0
3,0 + 3,0	2	300	3,0	2,3	2-3	3,0	2,5	2	3,0	2,5	2	3,0	2,5

25-30% wyższe niż przy spawaniu. Łuk odrywać w momencie wypełnienia krateru. Szpewienie powinno być niskie, normalnie do 75% szerokości i wysokości spoiny. Za wysokie szpewienie zeszlifować. Zużel usunąć.

Tabela VI Wielkość wtopienia „p” w zależności od rodzaju spawania i grubości materiału

Rodzaj spawania	Grubość materiału w mm				Uwagi
	do 5	5-15	powyżej 15		
Pachwinowe Na nakładkę 	więcej 15%	10%	7%		Mniejsze wtopienie uważa się za nieprzetopienie spoiny.
Doczołowe 	do 2	2-4	4-15	powyżej 15	
	więcej 100%	więcej 100%	więcej 100%	więcej 100%	
	Dopuszcza się na 10% długości spoiny nieprzetop				
na głębokości mm	0,5	0,7	1,0	1,3	

głości 20-40 mm dookoła miejsca przerywania spoiny, aż do temperatury ciemnoczerwonego żaru.

Spawanie należy rozpoczynać w odległości 10-15 mm od krawędzi. Zostawiony odcinek spawa się w przeciwnym kierunku. Spoiny wykonywać należy w kolejności, ściśle według instrukcji wykonawczych. W razie braku instrukcji należy próbami ustalić kolejność dającą najmniejsze odkształcenia i tej ustalonej kolejności ściśle przestrzegać. Spoiny równolegle umieszczać w odległości co najmniej 10 mm i spawać po ostygnięciu pierwszej.

Wskazane jest, aby spawanie bardziej skomplikowanych zespołów odbywało się w przyrządach. Przyrządy do spawania powinny zapewniać swobodne rozszerzanie się i kurczenie metalu przy spawaniu. W konstrukcjach spawanych (kadłuby, kratownice) najpierw spawać spoiny nie tworzące sztywnych połączeń. Dla uniknięcia odkształcenia się, wskazane podgrzewanie elementów nie objętych spawaniem (przeciwnagrzewanie) (patrz rys. 15).

Dla uniknięcia zakończeń spoin na krawędziach przedmiotów należy, o ile to tylko możliwe, przechodzić spoiną na drugą stronę na długości 5-7 mm. Kątów trudno dostępnych do spawania można nie spawać po uzgodnieniu z biurem konstrukcyjnym. Elementy do grubości 1,5 mm spawać tylko z jednej strony. Zwracać uwagę na prawidłowe wtopianie

Tabela VII Warunki spawania łukowego stali węglowej i niskostopowej (orientacyjne), o ile nie ma zleceń fabryk spoiwa.

Grubość materiału w mm	Spawanie doczołowe		Spawanie pachwinowe		Spawanie na zakładkę		Spawanie pachwinowe rur	
	średnica spoiwa mm	napięcie prądu a	średnica spoiwa mm	napięcie prądu a	średnica spoiwa mm	napięcie prądu a	średnica spoiwa mm	napięcie prądu a
1,0	2,0	25 - 35	2,0	30 - 50	2,0	30 - 50	2,0	30 - 50
1,5	2,0	30 - 50	2,5	40 - 70	2,5	45 - 75	2,5	40 - 70
2,0	2,5	45 - 70	2,5 - 3,25	50 - 80	2,5 - 3,25	55 - 85	2,5 - 3,25	55 - 85
2,5	2,5 - 3,25	60 - 90	3,25	40 - 105	3,25	75 - 110	3,25	70 - 110
3,0	3,25	70 - 100	3,25 - 4,0	80 - 120	3,25 - 4,0	85 - 135	3,25	80 - 120
4,0	3,25 - 4,0	90 - 130	4,0	100 - 145	4,0	105 - 150	4,0	105 - 155
5,0	4,0	115 - 160	4,0 - 5,0	150 - 180	4,0 - 5,0	125 - 190	4,0	140 - 190
6,0	4,0 - 5,0	145 - 200	4,0 - 5,0	160 - 225	5,0 - 6,0	155 - 200	4,0 - 5,0	175 - 240

Uwaga: Przy spawaniu elementów różnej grubości dobierać warunki według dolnej granicy dla grubszego elementu.

spoiny (tabela VI). W węzłach dopuszczalne jest stosowanie kilku rodzajów spawań, przy czym poleca się następującą kolejność: punktowe, łukowe, acetylenowe i atomowe.

Do spawania stali węglowych i stopowych (chromo-molibdenowych, chromo-krzemomanganowych), jeśli wymagana wytrzymałość po spawaniu jest mniejsza od 90 kG/mm², stosuje się spoiwo o małej zawartości węgla (00010 lub 1A). Do spawania stali stopowych (chromo-molibdenowych, chromo-krzemomanganowych), jeśli wytrzymałość po spawaniu ma być większa niż 90 kG/mm² stosuje się spoiwo o małej zawartości węgla (00010 lub 10A), albo też spoiwo stopowe odpowiedniego gatunku (według oznaczeń radzieckich IV lub V).

Przy spawaniu stali węglowych ze stopowymi (chromo-molibdenowymi, chromo-krzemomanganowymi) stosuje się spoiwo o małej zawartości węgla lub jeśli chodzi o zwiększenie wytrzymałości — stopowe.

Spawanie łukowe

Spawanie łukowe stosuje się do spawania elementów powyżej 1 mm grubości, jednak najlepsze warunki spawania występują przy grubościach powyżej 2,5 mm. Przy spawaniu stosować napięcie prądu i średnice elektrod według tabeli VIII.

Dla materiału o grubości do 2 mm stosuje się elektrody w cienkich otulinach. Elektrody w grubych otulinach stosuje się przy spawaniu elementów o większych grubościach celem otrzymania:

- spoin o dużej wytrzymałości,
- spoin o dużej wytrzymałości i szczelnych,
- płynnych przejść z materiału w spoinie,
- przy spawaniu wielowarstwowym.

Elektrody stosować zgodnie z tabelą VII.

Krawędzie elementów przeznaczonych do spawania powinny być przygotowane zgodnie z poprzednimi wskazaniem, t. zn. zukosowane, oczyszczone, dopasowane i szczipione. Spawanie przeprowadzać w temperaturze nie niższej od 150°C. Długość łuku nie powinna przekraczać średnicy elektrody. Przy spawaniu elektrodą z cienką otuliną elektroda powinna wykonywać ruchy prostolinijne.

Przy spawaniu elektrodą z grubą otuliną, gdy zauważa się zwiększoną porowatość, stosować ruchy ósemkowe.

Przy spawaniu wielowarstwowym od drugiej warstwy najlepsze wyniki dają ruchy pętlowe.

Spawanie należy prowadzić w miarę możliwości bez przerw. W razie konieczności, przerwy powinny być jak najkrótsze.

Spoinę należy zakańcząć wracając. Elektrode odprowadzić powoli. Zużel po spawaniu grubo otulonymi elektrodami usuwać przecinakami i szczipką stalową.

Najlepsze wyniki daje spawanie w poziomie. Nachylenie spoiny większe od 45° jest niepożądane. Spoiny pułapowe są niedozwolone. Przy spawaniu spoin pachwinowych elektrodami z grubymi otulinami poleca się ustawiać przedmiot w poziomie tak, aby ścianki tworzyły kąt 45°, to znaczy — by położenie ich było podobne.

Spawanie atomowe

Spawanie atomowe stosuje się do spawania stali stopowych, szczególnie nierdzewnych i chromowych, żaroodpornych, oraz aluminium i miedzi, a w ogóle do elementów cienkich. Jest to jeden ze sposobów spawania w atmosferze ochronnej gazu, przy czym wodór spełnia tu rolę przenośnika ciepła. Łuk elektryczny pomiędzy dwiema nachylonymi do sie-

bie pod kątem elektrodami wolframowymi powstaje wskutek działania prądu zmiennego pod napięciem 70—150 V. Wzdłuż elektrod przepływa wodór, którego cząsteczki H₂ w temperaturze łuku rozpadają się na atomy, pobierając ciepło z łuku. Atomy wodoru w zetknięciu z zimnym metalem łączą się w cząsteczki oddając pobrane ciepło, które topi metal. Moc palnika reguluje się odległością elektrod. Duża odległość elektrod daje łuk dzwięczący, tj. wydzielający dźwięk syczenia lub gwizdania. Zmniejszenie odległości elektrod do 1 mm daje łuk małej mocy — „cichy”. Spawa się nim materiał do grubości 1 mm. Wzbudzenie łuku przeprowadzać w zapalonym gazie przez zwarcie elektrod kawałkiem węgla i szybkie oderwanie elektrod. Warunki spawania podaje następująca tabela:

Grubość materiału	Elektroda	Prąd	Drut ø mm	Wodór litr/l mb	Wolfram elektrody mm/l mb	Ciśnienie wodoru
0,5 - 1	1,5	26 - 32	1,0	30	9	0,15
1 - 1,5	1,5	28 - 34	1,0 - 1,5	30	9	0,15
1,5 - 3	1,5	32 - 38	2,0 - 2,5	40	10,5	0,15
3 - 5	1,5 - 3	32 - 50	2,0 - 2,5	80	12	0,15

Ilość wodoru reguluje się za pomocą urządzeń pomiarowych wskazujących przepływ, lub w razie ich braku w taki sposób, aby to była minimalna ilość wodoru, przy której nie występuje jeszcze topienie się elektrod lub ich dymienie. Ciśnienie wodoru winno być równe 0,1 — 0,3 kG/cm². Stale do grubości 2,5—3 mm spawa się w lewo, grubsze w prawo. Palnik winien posuwać się szybko i równomiernie. Niedopuszczalne jest powtarzanie grzanie i topienie metalu. Dla stali węglowych i niskostopowych (chromo-molibdenowych, chromo-krzemomanganowych) jako spoiwa używa się drutu 1A (00010, 10A) przy wytrzymałości do 90 kG/mm², lub drutu IV lub V przy wytrzymałości powyżej 90 kG/mm². Blachy do 2 mm z wywinętym obrzeżem na wysokość do dwu grubości, oraz spoiny krawędziowe można spawać bez dodawania spoiwa. Spoiny czołowe do grubości 1 mm wykonuje się bez odstepu, powyżej tej grubości daje się odstęp 0,5 — 1 mm. Przy spawaniu blach cienkich wskazane mieć z lewej strony podkładkę. Przy większych grubościach materiału krawędzie należy ukosować jak do spawania łukowego. Szczipanie krawędzi zgodnie z ogólnymi wskazaniem. Spawać można w położeniu poziomym i pionowym. Spoiny zakańczać cichym łukiem.

Kontrola

Jednym z czynników zapewniającym dobre wykonanie złącza jest należyta kontrola całego procesu. Kontrola rozpoczyna się w momencie nadejścia materiału do zakładu i obejmuje sprawdzenie jego zgodności z zamówieniem pod względem cechy i składu chemicznego, oraz zbadanie spawalności. Równocześnie bada się materiał na brak takich wad, jak zawalcowania, pęknięcia. Tak sprawdzony materiał dostaje się do przykrawalni, gdzie zostaje pocięty na „surówkę”. Każdy odcinek materiału przeznaczonego na spawanie winien posiadać cechę materiałową, wybitą w odległości co najmniej 10 mm od przyszłej spoiny, oraz stempel kontroli. Tak odcznowane elementy zostają przesłane do rozdzielni wydziału spawalniczego, skąd są wydawane do warsztatu pod nadzorem kontroli, która stwierdza zgodność pobieranych materiałów z technologią. Tak samo jak materiał rodzimy, tak i spoiwo — zanim trafi do spawacza — przechodzi badania kontrolne, polegające na stwierdzeniu zgodności z zamówieniem pod względem cech, wymiarów, składu chemicznego oraz własności spa-



TL-44/54-RB

rys. 19

walniczych. W tym celu spawa się spoiny próbne z obserwacją zachowania się spoiwa, żużlu oraz wyglądu spoiny. Ze stopiwa wykonuje się próbki dla zbadania jego własności mechanicznych przez zerwanie oraz przez badanie twardości. (Stopiwem nazywa się metal uzyskany przez stopienie spoiwa metodą spawalniczą. Materiał spoiny nie jest stopiwem, gdyż stanowi mieszaninę stopiwa z materiałem rodzimym). Spoiwo odpowiadające wymaganiom zamówienia i warunkom technicznym zostaje przyjęte do magazynu, skąd jest wydawane dla warsztatu pod kontrolą, stwierdzającą zgodność używanego spoiwa z technologią.

Ze względu na to, że najważniejszym czynnikiem, mającym wpływ na prawidłowe wykonanie połączenia, jest umiejętność i sumienność pracy spawacza, kontrola techniczna obejmuje również dopuszczanie spawaczy do pracy i kontrolę nad wykonywaniem spawania. Kontrola czuwa nad tym, aby pracę wykonywali spawacze uprawnieni, odpowiadający wymaganiom podanym powyżej, a uznanym za minimum gwarantujące, że spawacze ci opanowali technikę wykonywania danego rodzaju pracy w sposób zapewniający uzyskanie połączenia wymaganej jakości. Podejrzania kontroli, że poziom prac spawacza uległ z jakichkolwiek względów obniżeniu, dają podstawę do przeprowadzenia prób kontrolnych.

Kontrola wykonania odbywa się przez stały nadzór nad pracami spawalniczymi i ma za zadanie stwierdzać, czy w czasie produkcji spawacz jest dostatecznie sumienny i obowiązkowy, czy przestrzega technologii, czy czynności wstępne, jak ukosowanie, szcepianie itp. są wykonywane prawidłowo, oraz czy przebieg procesu spawania jest zgodny z ustalonym w czasie prób. Kontrola pilnuje również, aby po zakończeniu spawania spoina została ocechowana stemplem spawacza.

Odbiór ostateczny obejmuje sprawdzenie wymiarów przed-

miotu, wymiarów kształtu i wyglądu spoiny, oraz sprawdzenie na brak pęknięć. To ostatnie badanie przeprowadza się najczęściej przez obkładanie złączy szmatami nasyconymi naftą i późniejsze piaskowanie. Wady wewnętrzne — jak nieprzetopły, pory itp. bada się za pomocą promieni Roentgena, jednak metoda ta, podobnie jak i wiele innych (magnetyczna, akustyczna) nastęrcza duże trudności.

W razie konieczności poprawek kontrola oznacza miejsca podlegające naprawie. Poprawki przeprowadza się w obecności kontroli. W razie wątpliwości co do jakości wykonania, kontrola może przeprowadzić badania ze zniszczeniem przedmiotu. Badania te mogą obejmować próby wytrzymałościowe, chemiczne, metalograficzne itp. Odebrane zespoły kontrola cechuje jako przyjęte.

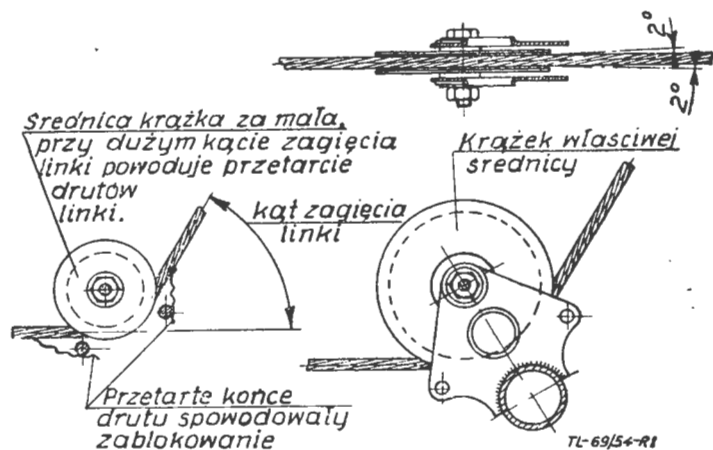
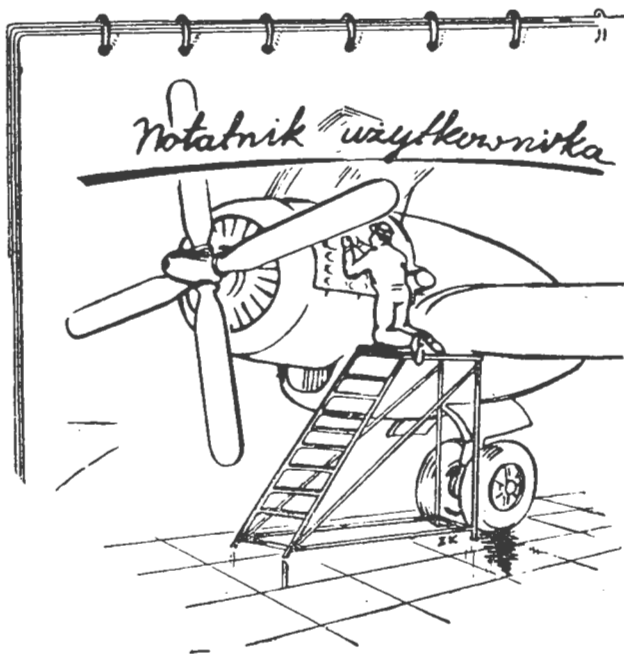
Artykuł wpłynął dnia 6 lipca 1954 r.

LITERATURA

- W. Czyrski — Spawanie stali stopowych, PWT, 1953 r.
 WNITOS — Sprawozdanie materiały dla swarszczyków, Maszgis 1951 r.
 Maszynostrojenie, t. V, Maszgis, 1947 r.
 Zdanow — Technologia dugowej elektroszwarki, Maszgis, 1948 r.
 Pogodin-Aleksiejew — Teoria swarocznych prociessow, Maszgis, 1945 r.
 Falkiewicz — Swarka i obrabotka metaliow gazo-kislorodnym plamieniem, Maszgis, 1950 r.
 Nazarov — Kontrol kaczestwa swarnych sojedinenij, Maszgis, 1950 r.
 Owczynnikow — Konstruirowanje mietalliczeskich samolotow, Oborongiz, 1944 r.
 Pogodin-Aleksiejew, Nazarov, Gapczenko — Metody ispytania swarnych sojedinenij i konstrukcji, Maszgis, 1952 r.
 R. Hofmann — Der Flugzeug — Schweisser, Marhold Verlagshandlung, Halle 1943 r.
 K. Queitsch — Schweissttechnik im Flugzeugbau, Matthiesen Co, Berlin 1941 r.
 L. S. Elzea — Aircraft Welding.

Przetarta linka spowodowała zablokowanie sterownicy

Na podstawie materiału opublikowanego przez Guggenheim Aviation Safety Center opracował mgr inż. Stanisław Madeyski.



W układach sterownic samolotu (lotki, stery wysokości i kierunku, kłapki wyważające itp.) oraz urządzeń sterowniczych agregatów wyposażenia samolotu (zdalnie sterowane zawory paliwowe i olejowe, żaluzje chłodnicy itp.) stosuje się bardzo często napęd za pomocą linek. Linki prowadzone są wzdłuż konstrukcji samolotu na krążkach linowych, przy czym zależnie od potrzeby zmiany kierunku, linki oplatają krążki na odpowiednich kątach opasania. Warunki techniczne linek określają m. in. minimalny promień zgięcia linki przy obciążeniu roboczym, wymiar średnicy krążka linowego, kształt rowka krążka oraz dopuszczalne odchylenie płaszczyzny wyznaczonej przez linkę od osi krążka linowego.

Względy konstrukcyjne (brak miejsca, trudność wyznaczenia przebiegu linki w przestrzeni itp.) powodują, że bardzo często nie są przestrzegane wskazane wymagania. Niewłaściwej wielkości i rodzaju krążek zostaje zastosowany i w użytkowaniu dopiero, nieraz śmiertelny, wypadek ujawnia przyczynę katastrofy. Zbyt mały krążek linowy, duży kąt opasania oraz za duże tarcie krążka o sworzeń, na którym krążek jest osadzony na łożysku ślizgowym (lewa strona rysunku) — oto często spotykany zbieg nieprawidłowości. Spowodowały one:

przedwczesne zużycie i przetarcie linki niedostrzeżone przez obsługę, zablokowanie linki przez odstające konce przerwanego drutu linki, które zaczepiły o kołki mające zabezpieczać linkę przed wypadnięciem z rowka krążka. Następstwem tego było unieruchomienie steru i katastrofa samolotu.

Uniknąć takich tragicznych następstw pozwoliłoby zastosowanie prawidłowego układu (strona prawa rysunku): odpowiedni krążek linowy dużej średnicy, osadzony na łożysku kulkowym, okucie mocujące tworzące osłonę linki opasującej, odchylenie linki od osi rowka krążka o kąt mniejszy niż 20° na boki. Ponadto zapewnienie dogodnego dostępu do przeglądu linki, zwłaszcza na części nawijanej na krążek podczas pracy i do sprawdzania stanu krążka, szczególnie krawędzi rowka krążka oraz łożyska kulkowego.

Wnioski, jakie można wyciągnąć z opisanego przykładu: dla konstruktora: konieczność przestrzegania wymagań warunków technicznych pracy stosowanych linek, zapewnienie dostępu do miejsc linki narażonych na uszkodzenie;

dla użytkownika: uniknięcie wypadku jest możliwe przy częstym pieczołowitym przeglądaniu linek, zwłaszcza na miejscach przecięć oraz sprawdzaniu stanu linek i krążków.

Skrzynka Techniczna

Redakcja „Techniki Lotniczej” otrzymała od inż. Zbigniewa Osińskiego, autora artykułu, opublikowanego w zes. 2/54, następujący list:

„W artykule moim pt. „Fabrykacja spawanych kratownic kadłubowych” nr 2 z r. 1954 wkradła się pewna nieścisłość, którą pragnę sprostować. Na str. 47 w prawej szpalcie w w. 21—26 od dołu obliczone zostały naprężenia (33 kG/mm²). Na skutek nieuwzględnienia wpływu zginania podłużnic naprężenia te nie są zgodne z rzeczywistością (są zbyt wysokie). Wskutek tego podawanie naprężeń w artykule staje się niecelowe. Wspomniane wiersze najlepiej skreślić.

Zbigniew Osiński”

Mgr inż. Włodzimierz Prosnak, autor artykułu „Obliczanie

charakterystyki aerodynamicznej śmigła” (zeszyt nr 5/1954 „Techniki Lotniczej”) znalazł następujące błędy w swej pracy:

Na stronie 140 w prawej kolumnie w wierszu 2 od góry zamiast ξ (ksi) powinno być ζ (dzeta); w wierszu 5 od góry — zamiast ξ_z powinno być ζ_z ; w wierszu 10 od góry — zamiast ξ powinno być ζ ; w wierszu 13 od góry — zamiast ξ powinno być ζ ; w wierszu 25 od góry zamiast α^0 powinno być α_0 ; w wierszu 26 od góry wstawić znak β (beta) po słowie „kąta”. Na stronie 142 w prawej kolumnie, w wierszach 7,2 i 1 od dołu — zamiast CP powinno być Cp. Na stronie 144 w wierszu 15 od dołu zamiast β (beta) powinno być β ; w podpisie zaś pod rysunkiem 14 dodać: „= 6, 8 i 10%”.

S. M.

Lotnicze słownictwo techniczne

Zamieszczamy poniżej notatkę, jaką otrzymaliśmy od jednego z naszych Czytelników i współpracowników, mgr inż. Stanisława Witkowskiego. Autor notatki formułuje wytyczne dla prac słownicznych, zwraca uwagę na pewne niekonsekwencje w aktualnym słownictwie z dziedziny silników i przedstawia swoje propozycje. Podany materiał traktujemy jako zaczątek dyskusji, ponieważ nie wszystkie sformułowania mogą być bez zastrzeżeń przyjęte.

W sprawie słownictwa lotniczych silników tłokowych

Po 50 latach nasilonego rozwoju weszły lotnicze silniki tłokowe w pewien raczej statyczny okres swych dziejów. Nadeszła tedy stosowna pora na ostateczne uporządkowanie logiki i polskości polskiego słownictwa z tej dziedziny. Oto pięć najdogodniejszych, zdaniem autora, zasad (a zarazem kryteriów) do takiego uporządkowania:

1. polskość źródłosłów
2. ścisłość językowa w doborze słów
3. zwięzłość określeń; krótkie słowa
4. logiczna poprawność w odniesieniu do wszystkich typów maszyn tłokowych
5. dopuszczalność analogii funkcjonalnych z żywymi organizmami.

Ostatnia zasada stanowi, podług długoletnich obserwacji autora, bardzo cenne rozszerzenie możliwości wyboru wymownych słów do słownictwa technicznego w niektórych przypadkach.

A teraz — cztery konkretne omówienia.

I. Dlaczego G.M.P. i D.M.P.?

Litery G. M. P. to pierwsze litery słów „Górny Martwy Punkt” (położenia tłoka), a D. M. P. to pierwsze litery słów „Dolny Martwy Punkt” (położenia tłoka). Powyższe określenia są słuszne tylko dla stojącego układu cylindrów. W lotniczych silnikach tłokowych spotyka się ten układ w silnikach chłodzonych cieczą — jako układ stojące V. Również jednocylindrowe, chłodzone powietrzem silniczki (zazwyczaj o objętości skokowej kilku cm³) do modeli latających miewają stojące cylindry. Natomiast większe silniki chłodzone powietrzem są budowane we wszelkich innych układach, a więc gwiazdowe, rzędowe o cylindrach wiszących, o cylindrach poziomych (układ płaski, bokser), wreszcie odwrócone „A” — lecz stojącego układu cylindrów nie spotyka się tu. Określenia G. M. P. i D. M. P. w odniesieniu do poziomego układu cylindrów nie mają sensu, a w odniesieniu do układu gwiazdowego oraz do cylindrów wiszących — wywołują zupełne pomieszanie pojęć.

Uporządkowanie sprawy tych określeń stało się więc zasadniczym dezyderatem logiki.

Norma lotnicza PN/L-02003 (norma w druku) zaprowadza wreszcie ład w tym zakresie.

Podług ww. normy wewnętrzną stroną dla położenia tłoka jest ta strona, w którą dąży on podczas suwu rozprężania. Na tej zasadzie wprowadza norma zamiast długiego określenia „Górny Martwy Punkt” — zwięzłe określenie „Zwrot Zewnętrzny” (ZZ), oraz zamiast długiego określenia „Dolny Martwy Punkt” — zwięzłe określenie „Zwrot Wewnętrzny” (ZW).

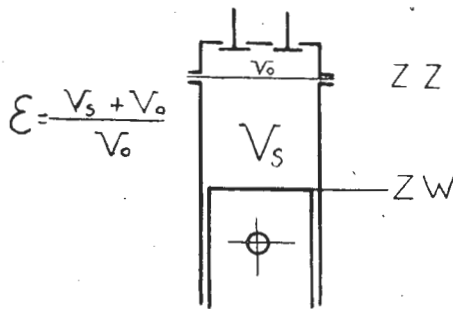
Powyższe nowe określenia nie tylko zachowują właściwy sens dla wszelkich układów cylindrów maszyn tłokowych, lecz są ponadto zwięzlejsze zarówno w pełnym brzmieniu jak i w symbolice; nie zawierają wreszcie — obco brzmiącego w języku polskim — słowa „punkt”.

W tym miejscu wypada jednak niestety wytknąć dwie

wielkie wady. Norm Polskich, które w znacznym stopniu ograniczają użyteczność tych norm. Pierwsza zasadnicza wada to zbyt małe nakłady Norm Polskich i brak ponownych nakładów norm wyczerpanych. Druga wada to zbyt „hermetyczny” sposób ich udostępniania. Normy powinny być sprzedawane w każdej księgarni technicznej Domu Książki. Normy powinny być specjalnie rozpowszechniane.

II. Dlaczego „denko” tłoka?

„Denko” tłoka oznacza tę ściankę tłoka, która jest zasadniczo wystawiona na ciśnienie gazu podczas pracy tłoka w cylindrze. Otóż w silnikach o cylindrach stojących — tłoki są ustawione w takich pozycjach, że „denka” tłoków stanowią właściwie sklepienia tłoków, a nie ich dna. To tak jakbyśmy na „czarne” — mówili „białe”. W silnikach o cylindrach poziomych (bokser), „denka” tłoków nie są ani dnami ani sklepieniami tłoków; są bowiem wówczas ich ściankami bocznymi. Tylko w silnikach lotniczych o cylindrach wiszących („odwróconych”) tłoki są ustawione w takich pozycjach, że nazwa „denko” tłoka ma sens.



Aby nazwać powyższą część tłoka mianem nienagannym w zasadzie pod względem funkcjonalnym, i niezwiązanym z ustawieniem tłoka w cylindrze, proponuję nazwę „ciemie” tłoka.

III. Dlaczego „stopień sprężania”?

W rozważaniach z zakresu silników tłokowych postępujemy się często określeniem „stopień sprężania”. Na podstawie brzmienia tego określenia można by mniemać, że jego wartość liczbowo określa bezpośrednio, w jakim stopniu został gaz sprężony, tzn. ilokrotnie wzrosło jego ciśnienie w porównaniu z ciśnieniem początkowym. Tymczasem wiemy, że liczbę wyrażającą wartość stopnia sprężania ϵ otrzymujemy jako wynik podzielenia: sumy dwóch liczb, wyrażających wartość objętości skokowej V_s plus wartość objętości swobodnej V_0 (zwanej też komorą sprężania lub dawkową) cylindra — przez jedną z tych liczb, wyrażającą wartość objętości przestrzeni swobodnej V_0 , vide szkic.

Innymi słowy wartość stopnia sprężania jest to iloraz liczb wyrażających pewne niezmiennie objętości, wynikające z konstrukcji cylindra i układu korbowego silnika. Iloraz ten okre-

śla pewną ważną cechą silnika tłokowego, lecz nie jest bezpośrednio ilorazem liczb wyrażających wartości ciśnień, jak to błędnie sugeruje określenie „stopień sprężania”.

Ciśnienie gazu przy końcu suwu sprężania zależy w dosyć zawiły sposób od wartości ilorazu objętościowego, zwanego dotychczas „stopniem sprężania”, oraz od początkowego ciśnienia sprężania. Np. przy początkowym ciśnieniu sprężania $p_p = 1$ ata i stopniu sprężania $\epsilon = 6$ (wg. dotychczasowej definicji) wypada ze wzoru politropy $p_k = p_p \cdot \epsilon^n$ końcowe ciśnienie sprężania mieszanki benzyny z powietrzem ok. $p_k = 11$ ata.

Właśnie wartość końcowego ciśnienia sprężania p_k , wyrażona liczbowo w atmosferach, jest zazwyczaj dosyć bliska rzeczywistego stopnia sprężenia gazu, o ile zaczynamy sprężać od ciśnienia bliskiego 1 ata, a więc o ile nie ma np. znaczącego nadładowania. Rzeczywisty, zgodny z językowym znaczeniem tego określenia — stopień sprężania jest więc zazwyczaj ok. dwukrotnie większy od wartości, wynikającej z dotychczasowej „geometrycznej” jego definicji.

Dotychczasowe określenie „stopień sprężania”, używane nawet w Polskich Normach, jest więc mylącą sugestią i powinno zostać zastąpione logicznym określeniem „iloraz objętościowy” mimo że jest ono nawet nieco dłuższe. Określenie

zaś „stopień sprężania” może oznaczać w polskim języku tylko: iloraz liczby wyrażającej wartość końcowego ciśnienia sprężania gazu — przez liczbę wyrażającą wartość ciśnienia na początku sprężania. Lecz taki iloraz nie ma większego oddzielnego znaczenia w rozważaniach silnikowych, gdyż na ogół wystarczy znajomość odnośnych ciśnień. Autor poruszał już m. in. to zagadnienie w r. 1938, w N-rze 8 „Techniki Samochodowej”.

IV. Na razie tyle — w odniesieniu do logiki polskiego słownictwa silników tłokowych.

Oddzielne zagadnienie stanowi polonizacja tego słownictwa. Bliższe rozpatrzenie sprawy wykazuje, że już zastąpienie polskimi słowami kilkunastu takich zastarzałych naleciałości obcojęzycznych, jak cylinder, blok cylindrowy, indyktor, wał, korba, czop — bądź też „hybrydów” jak korbowód, zachwaszczających polskie słownictwo silników tłokowych — przyniosłoby zasadnicze oczyszczenie tego słownictwa. Wszak udało się już zrobić walny początek przez zastąpienie „motoru” — „silnikiem”, określeniem wprawdzie nie dość ścisłym — lecz przynajmniej rdzennie polskim. Udało się również doskonale zastąpić „wentyl” — przez „zawór” i „boleć” — przez „sworzeń”. Teraz więc kolej na następne słowa.

Mgr inż. Stanisław Witkowski

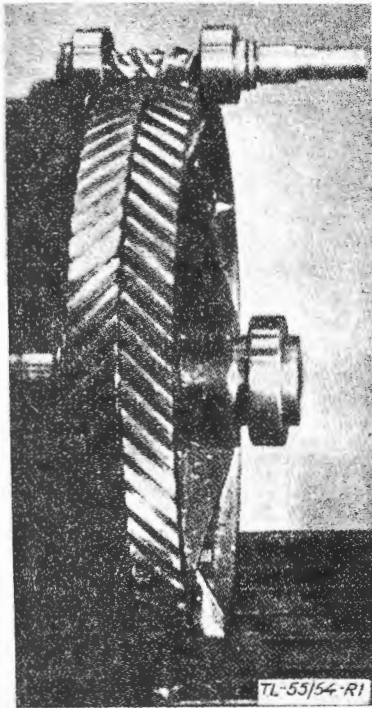
Nowości techniczne

Nowa przekładnia zębata

601.433.4/.6 *mechaniczne*
zobacz

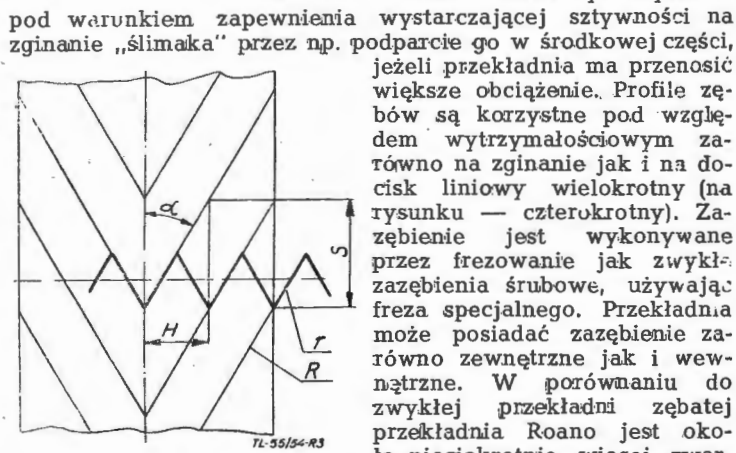
W mechanizmach płatowcowych, silnikowych a także i w osprzęcie lotniczym często zachodzi potrzeba stosowania

przekładni zębatych o dużym przełożeniu, przy czym zwartość i małe gabaryty są sprawą pierwszorzędnej wagi.



Rys. 1. Widok przekładni Roano

Włoski inżynier A. Roano opatentował ostatnio szczególną przekładnię o dwóch równoległych, ząbiających się kołach, przy których można otrzymać przełożenie nawet do 1:40 przy stosunkowo małym gabarycie. Jak widać z rys. 1, koło mniejsze jest jakby podwójnym prawym-lewym ślimakiem. Można uzyskać przekładnie nie tylko samohamowne, ale także i niesamohamowne. Zęby „ślimaka” i koła dużego mają różne profile (patrz rys. 2) stykają się one na dużej linii przyporu wskutek czego dociski jednostkowe są małe, powodując małe zużycie i dobrą sprawność, która może być uzyskana

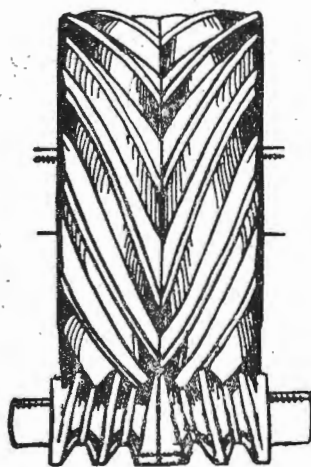


Rys. 3. Stosunki geometryczne dla obliczenia przełożenia

koło mniejsze może mieć bardzo małą średnicę koła podziałowego, będąc po prostu ślimakiem. Przełożenie obliczamy w sposób następujący: na 1 obrót „ślimaka” koło duże obróci się o odległość s , czyli przełożenie wyniesie i

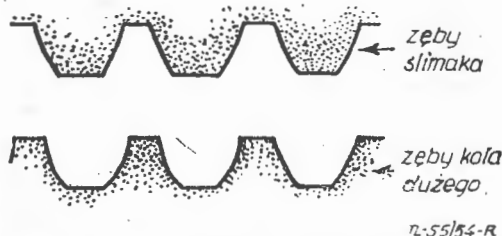
$$i = \frac{2\pi R}{s} = \frac{2\pi R}{H \operatorname{ctg} \alpha} = \frac{2\pi R}{2 \pi r \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \alpha} = \frac{R}{r}$$

przy czym R oznacza promień koła podziałowego koła dużego, a r promień koła podziałowego „ślimaka”.



Tam, gdzie dotychczas trzeba było stosować dwie pary kół zębatych czołowych, wystarczy jedna para kół Roano, a zamiast skrzynki przekładniowej z trzema parami kół zwykłych wystarczy dwie pary kół nowego typu. Wskutek tego zaoszczędza się na ciężarze, gabarycie i koszcie przekładni.

Przekładnia Roano, wykonana w wytwórni S. I. R. A. w Gemui, przeznaczona do przenoszenia mocy 20 KM przy prędkości obrotowej 2 000 obr./min, została wypróbowana z pozytywnym



Rys. 2. Schematyczny rysunek przekładni oraz kształt zębów

wynikiem. Średnica koła dużego wynosiła 725 mm, podczas gdy przy zwykłej przekładni czołowej potrzeba by średnicy 3 200 mm. Zastosowanie koła nawet o średnicy 436 mm dało również zadowalające wyniki. Ślimak był wykonany ze stali, koło duże może być wykonane również ze stali lub też z żeliwa lub brązu. Przydatność opisywanej przekładni do przenoszenia dużych mocy, takich np. jakie występują w nowoczesnych silnikach turbośmigłowych, nie została jeszcze zbadana.

K. W., R. L.

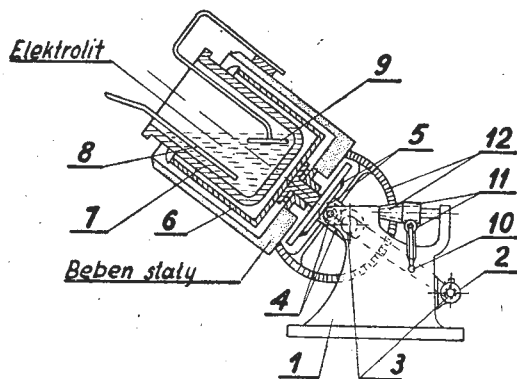
Przeglądamy usprawnienia

Pod wskazanym ogólnym tytułem zamieszczamy zarówno usprawnienia pracownicze jak i udoskonalenia techniczne, zaczerpnięte z wydawnictw Urzędu Patentowego PRL, pod tytułem: „Opisy udoskonalień technicznych i usprawnień”. Wydawnictwo to ukazuje się w zeszytach, zawierających około stu opisów usprawnień pracowniczych i udoskonalień technicznych, ułożonych według kolejności klas patentowych. Po tytule opisu umieszczamy w nawiasach następujące informacje: numer klasy patentowej, do której należy temat usprawnienia lub udoskonalenia według klasyfikacji patentowej; numer kolejny drukowanego opisu usprawnienia lub udoskonalenia, przy czym usprawnienia posiadają numer poprzedzony literą O, udoskonalenia zaś — numer z literami OU; numer kolejny zeszytu. Poza tymi informacjami w nawiasach, umieszczono nazwisko twórcy pomysłu. Przy opisach ulepszeń, zaczerpniętych z czasopism i tym podobnych publikacji, poza tytułem podajemy nazwę tej publikacji i datę jej ukazania się oraz informację, znalezione w materiale źródłowym dotyczące twórcy.

Aparat do galwanizowania drobnych przedmiotów

(Kl. 48 a; Nr O — 1461; Z. Nr 6) Władysław Nowak, Władysław Rynarzewski, Józef Zydlewicz, Czesław Cegiełka.

Dotychczas z powodu braku aparatu kielichowego do galwanizowania wiązano pojedynczo drobne przedmioty drutem, co pochłaniało wiele czasu, a bardzo drobne przedmioty, jak np. wkręty, nakładano na sita, z których często wypadały i ginęły.



W celu skrócenia czasu pomocniczego zastosowano w myśl usprawnienia aparat do galwanizowania drobnych przedmiotów, uwidoczniiony na rysunku. Aparat składa się z korpusu 1, do którego przymocowany jest silnik elektryczny 2; silnik ten przez przekładnię kół pasowych 3, kół zębatach czołowych 4 i kół stożkowych 5 wywołuje obracanie się (60 obr/min) metalowego bębna 6 wraz z naczyniem kamionkowym 7. W naczyniu kamionkowym 7 umieszczono anodę 9 połączoną z biegunem dodatnim źródła prądu oraz katodę 8 połączoną z biegunem ujemnym źródła prądu.

W celu dokonania powleczenia galwanicznego wystarczy odłuszczone drobne przedmioty wysypać do naczynia kamionkowego 7, nadać aparatowi odpowiedni ruch obrotowy i włączyć prąd. Oprócz roboczego ruchu obrotowego (od silnika) dookoła osi, bęben 6 posiada jeszcze ruch przechyłny, nadawany rączką 10 przez przekładnię ślimakową 11 i zespół kół zębatach stożkowych 12 a służący do ustawiania pod odpowiednim kątem bębna podczas galwanizowania i wyładowywania przedmiotów z naczynia kamionkowego 7.

Po skończonym procesie galwanizacji zawartość naczynia 7 wylewa się na sito kamionkowe urządzenia, wykonane również w myśl usprawnienia, na którym przedmioty pozostają, a elektrolit ścieka do specjalnego zbiornika.

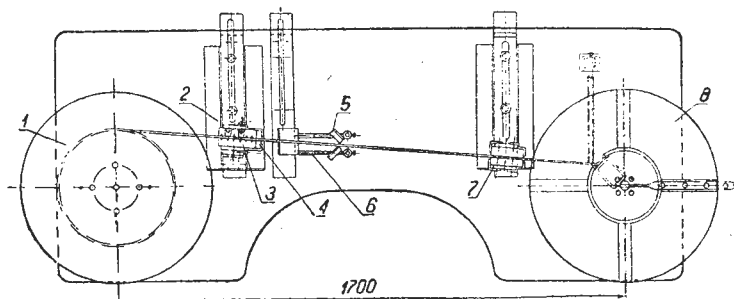
Zaletą omawianego aparatu jest to, że przez wymianę naczynia 7 można przeprowadzać w nim różne procesy galwanizacyjne, np. nikielowanie, miedziowanie, cynkowanie i kadmowanie.

Urządzenia do badania, czyszczenia i konserwacji taśm stalowych podczas odbioru technicznego

(Kl. 42 I; Nr OU — 172; Z. Nr 4) Piotr Praśkowicz

Taśmy stalowe, przeznaczone jako surowiec do masowej produkcji części tłoczonych, zginanych itp., wymagają bardzo sta-

ranego odbioru technicznego, czyszczenia i konserwacji. W przeciwnym przypadku duży procent braków, postaje maszyny i niszczenie przyrządów są nieuniknione. Przeważnie odbiór odbywał się dotychczas prymitywnym sposobem ręcznym, powodującym dalsze zanieczyszczenie powierzchni taśmy przez dotyk skaleczenie rąk robotników wykonujących odbiór.



Urządzenie pokazane na rysunku udoskonala kontrolę techniczną taśmy i pozwala na równoczesne czyszczenie, prostowanie i konserwację taśmy.

Po ułożeniu krążka taśmy na tarczę 1 rozwija się ją i przepuszcza przez obejmę przyrządu 2, czyszczącego taśmę za pomocą szczotek gumowych 3 i wójłoka polerującego 4, oraz między dwoma zwierciadłami 5 i 6. Następnie taśma przechodzi przez przyrząd 7 konserwujący taśmę (przejście poprzez czyściwo natłuszczone) i zostaje wprowadzona do bębna 8, gdzie jest z powrotem zwinięta w krążek.

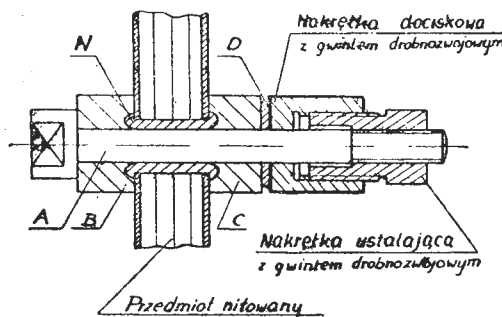
Wymienione zwierciadła powiększające pozwalają na dokładny obustronny przegląd taśmy na całej długości, dobre zaś naświetlenie i oczyszczenie taśmy umożliwia łatwe i dokładne mierzenie jej grubości i szerokości. Zmechanizowanie przewijania taśmy pozwala unikać dotyku palcami i kaleczenia rąk.

Odbiór i konserwację taśmy na opisanym urządzeniu przeprowadza dwóch pracowników przy normie 0,13 godz na 100 mb, podczas gdy bez tego urządzenia czynności te były wykonywane przez trzech pracowników przy normie 0,45 godz na 100 mb.

Przyrząd do nitowania za pomocą nitów rurowych

(Kl. 49 g; Nr OU — 226; Z. Nr 6), Rudolf Czauderna.

W konstrukcjach lotniczych używa się często nitów rurow-



wych dla otrzymania możliwie najmniejszego ciężaru konstrukcji. Nitowanie to odbywa się normalnie za pomocą wspornika i zakownika, w który uderza się młotkiem, jednak nie

zawsze jest to możliwe ze względu na trudny dostęp i delikatność części nitowanych.

Według udoskonalenia zamiast młotka używa się sworznia śrubowego o gwincie drobnozwojowym i nakrętek. Na sworznie A nasuwa się wspornik B, następnie zaś wsuwa się go w nit rurowy N. Na drugi koniec sworznia wsuwa się zakownik C dosuwając go do nita. Do zakownika dosuwa się po sworzniu podkładkę mosiężną D, której zadaniem jest zmniejszenie oporu tarcia podczas dociskania. Następnie nasuwa się na sworznie nakrętkę dociskową, a w końcu nakręca się nakrętkę ustalającą (obie z gwintami drobnozwojowymi).

Przebieg nitowania odbywa się w sposób następujący. Kluczem przytrzymuje się nakrętkę ustalającą, tak aby sworznie nie obracał się, a pokręca się nakrętkę dociskową, która wykrcając się z nakrętki ustalającej dociska zakownik do nita, tworząc w ten sposób w wyżłobieniu zakownika łeb nita.

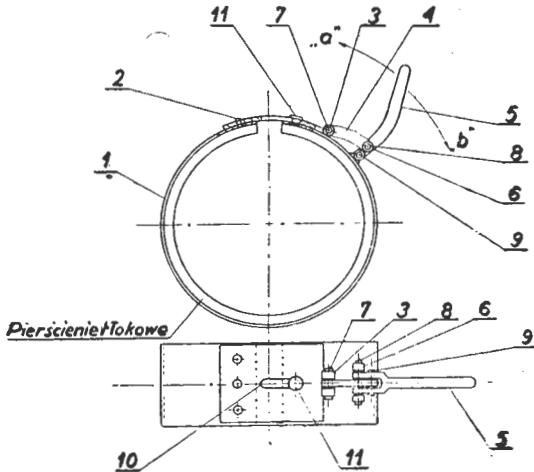
W czasie tej czynności sworznie narażony jest tylko na rozciąganie bez skręcania. Ze względu na dopuszczalną wytrzymałość na rozrywanie nie należy stosować sworzni o średnicy mniejszej niż 6 mm.

Przyrząd do ściskania pierścieni tłokowych przy wkładaniu ich w uchwyt tokarski

(Kl. 49 a; Nr O - 1463; Z. Nr 6) Jan Kocyba.

Przy wkładaniu przeciętych pierścieni tłokowych w uchwyt tokarski w celu wytoczenia ich powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej na wymiar, ścisniono je w opasce skręcanej śrubami, tracąc przy tym dużo czasu na zakręcanie oraz rozkręcanie śrub.

Mając na celu skrócenie czasu wykonania tej czynności,



zastosowano w myśl usprawnienia uwidoczniony na rysunku przyrząd, który pozwala na jednoczesne szybkie ściśnięcie dziesięciu pierścieni tłokowych za jednym ruchem dźwigni.

Przyrząd składa się z opaski 1 wykonanej z blachy stalowej,

nakładki 2 przynitowanej jednym końcem do opaski i zakończonej zawiasą 3, ciągną 4, dźwigni 5 i zaczepu 6, połączonych ze sobą przegubowo sworzniami 7, 8 i 9. Kołek 11, zamocowany w opasce 1 i przesuwający się w otworze podłużnym 10 w nakładce 2, zapobiega wchrowaniu się opaski podczas ściskania pierścieni tłokowych.

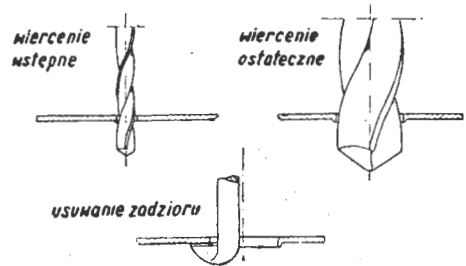
Zakładanie pierścieni tłokowych w przyrząd, ewentualnie przyrządu na pierścienie, odbywa się po przechyleniu dźwigni 5 w kierunku „a”. Ściskanie pierścieni tłokowych po włożeniu ich w przyrząd dokonuje się przechyleniem tejże dźwigni w kierunku „b”.

Zaletą przyrządu jest wielokrotne skrócenie czasu ściskania pierścieni tłokowych w stosunku do sposobu dawniejszego.

Wiertło do wiercenia otworów w cienkich blachach

(Kl. 49 a; Nr O — 1471; Z. Nr 6) Marcei Pawełczyk.

Przed usprawnieniem wiercenie otworów o średnicy 25 mm w blachach o grubości 1 mm (w częściach do szoferki samochodu „Star”) składało się z trzech operacji. Wiercono najpierw wstępny otwór o ϕ 6 mm, po czym rozwiercano go wiertłem krętym na potrzebną średnicę 25 mm. Po przejściu wiertła przez blachę krawędzie otworu posiadały zadziory. W celu usunięcia zadzioru stosowano dodatkową trzecią operację, używając narzędzia ręcznego w rodzaju skrobaka. Przebieg tych operacji wyjaśnia rys. 1.



Rys. 1



Rys. 2.

W myśl usprawnienia do wiercenia otworów w blachach stanowiących części konstrukcyjne szoferki samochodu „Star” zastosowano wiertło kręte o ϕ 25 mm, o specjalnie zaszlifowanym ostrzu, jak to uwidoczniono na rys. 2. Za pomocą tego wiertła otwory są wykonywane w jednej operacji, przy czym dobrze naostrzone krawędzie tnące wiertła wycinają w blasze krążek, pozostawiając gotowy otwór o brzegach gładkich, bez zadzioru.

Kronika

Komunikat Naczelnej Organizacji Technicznej w sprawie wniosków o Nagrody Państwowe w Dziale Postępu Technicznego i w Dziale Nauki w 1955 roku

Zarządy główne stowarzyszeń naukowo-technicznych rozpoczęły akcję w związku z wydanymi przez Urząd Rady Ministrów instrukcjami w sprawie zgłaszania wniosków o Nagrody Państwowe w Dziale Postępu Technicznego i w Dziale Nauki w 1955 roku.

Odpowiedni komunikat Naczelnej Organizacji Technicznej oraz instrukcje w tej sprawie zostały rozesłane do zarządów głównych wszystkich stowarzyszeń naukowo-technicznych oraz do wiadomości terenowych wojewódzkich i powiatowych oddziałów NOT. W związku z terminarzem ustalonym przez Urząd Rady Ministrów na składanie wniosków o Nagrody Państwowe — zaakceptowane przez zarządy główne stowarzyszeń, wnioski wysunięte przez oddziały stowarzyszeń powinny być przesłane do Sekretariatu Generalnego NOT (Dział Postępu Technicznego) w nieprzekraczalnym terminie do dnia 5 marca 1955 r.

Zgodnie z wytycznymi instrukcji wniosek powinien zawierać:

- 1) Dane personalne kandydata,
- 2) charakterystykę pracy zgłoszonej do Nagrody Państwowej, oraz obszernie umotywowanie wniosków określające użyteczność dla gospodarki narodowej, nowość koncepcji, stopień gotowości do praktycznego wykorzystania,
- 3) udział kandydata w wykonaniu pracy lub osiągnięciu, za które ma być przyznana nagroda,
- 4) bibliografię i egzemplarze ważniejszych prac naukowych względnie pełną dokumentację techniczną,
- 5) opinię o kandydacie wydaną przez organizację zawodową i polityczną z miejsca pracy,
- 6) podpis wnioskodawcy.

Na półkach księgarskich

Metalizacja natryskowa, mgr inż. mech. Józef Łapiński, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1953 r., stron 143.

Książka porusza podstawowe problemy dotyczące metalizacji natryskowej, a zwłaszcza: fizyko-mechaniczne właściwości warstwy natryskowej, proces technologiczny i warunki techniczne metalizacji natryskowej przy regeneracji zużytych części, przygotowanie powierzchni do natrysku, wykonanie natrysku, obróbka warstw natryskanych, metalizacja natryskowa w zastosowaniu do napraw wadliwych części, w celu ochrony przed korozją w normalnej i wysokiej temperaturze, projektowanie warsztatów i stanowisk metalizacyjnych oraz higienę pracy w warsztatach metalizacji natryskowej. Praca może być przydatna dla pracowników przemysłu lotniczego. S. M.

Fizykalne osnowy ustrojstwa i raboty awiacyнных priborow, F. A. Gorbaczew i Je. A. Mielkobrodow, Oborongiz, 1953 r., stron 523.

Książka zawiera omówienie zasad mechanicznych i elektrycznych pomiarów stosowanych w przyrządach lotniczych, jak również zagadnienia kontroli pracy grup napędowych i metody pomiarów pilotażowo-nawigacyjnych. Treść podzielona jest na pięć części. Część pierwsza — ogólne wiadomości o pomiarach na samolocie — omawia: klasyfikację lotniczych przyrządów pokładowych, warunki pracy, metody pomiarów i błędy wskazań, warunki pomiarów na samolocie, przyrządy pomiarowe odległościowe i wskaźniki przyrządów. Część druga zawiera zasady pomiarów mechanicznych, podając zasady działania elementów sprężystych, opis mechanizmów przekładniowych i mnożących oraz opis giroskopu i jego własności. Część trzecia — to zasady pomiarów elektrycznych, a w szczególności omówienie układów elektrycznych przyrządów, opis logometrów, zasady elektrycznych pomiarów wielkości nieelektrycznych, opis przekładni elektrycznych odległościowych oraz własności i charakterystyki materiałów stosowanych w przyrządach elektrycznych. W części czwartej — kontrola pracy grupy silnikowej — podano kolejno zasady pomiarów ciśnienia, temperatury, ilości paliwa, zużycia paliwa i liczby obrotów na minutę. W ostatniej części, omawiającej przyrządy pilotażowo-nawigacyjne, podano zasady pomiaru wysokości, prędkości lotu, prędkości wznoszenia, zasady pracy busol i giroskopowych wskaźników kursu, zasady pomiaru zakrętu i położenia samolotu względem horyzontu. Książka zawiera wiele ważnych danych liczbowych, schematów i układów przyrządów. Treść jej może być wykorzystana w praktyce jak i w czasie studiów. L. S.

Przykładna gazowaja dinamika, G. N. Abramowicz, Gosud. Izdat. Tjechn.-Literat. 1953 r., stron 736.

Jest to drugie wydanie powyższego podręcznika, znacznie rozszerzone i uzupełnione. Pierwsze wydanie, o objętości 511 stron z roku 1951, zawierało dodatkowo krótki rozdział o teorii osrodkowej dyszy. Nowe wydanie, zawierające dziesięć rozdziałów, omawia, jak i poprzednie — zasady dynamiki gazów w zastosowaniu do teorii silników odrzutowych, sprężarek i turbin. Poszczególne rozdziały dają kolejno: równania dynamiki gazów dla pojedynczej strugi, zagadnienie fali uderzeniowej, przyspieszenie strumienia gazu, teorię warstwy przysięennej, opory dyszy i dyfuzora, elementy teorii profilu i palisady profilów, elementy dynamiki gazów sprężarek i turbin oraz zagadnienia siły odrzutowej w silnikach turbo-odrzutowych. W nowym wydaniu uległ całkowitej zmianie rozdział o maszynach łopatkowych, omawiający obecnie zasady dynamiki gazów nie tylko turbin osiowych, lecz także osrodkowych. Treść uzupełniają liczne rysunki, wykresy i fotografie (około 370). Dodatek zawiera tabele ułatwiające obliczanie naddźwiękowych przepływów gazu oraz tabele i wykresy gazodynamicznych funkcji. Warunkiem korzystania z książki jest znajomość zasad hydrauliki i termodynamiki. Książka opracowana została jako podręcznik dla słuchaczy wydziałów silnikowych instytutów lotniczych. L. S.

Teoria awiacyнных gazowych turbin, W. Ch. Abianc, Oborongiz, 1953 r., stron 216.

W pracy tej autor zebrał podstawowe pojęcia z teorii lotniczych turbin gazowych i niezbędne dane do obliczeń termodynamicznych. Główne rozdziały książki omawiają przekształcanie energii w kolejnych częściach turbiny. Poszczególne rozdziały, których jest jedenaście, omawiają poza tym: teorię i obliczanie dysz wylotowych, charakterystyki turbin gazowych, straty w przewodnicach i ich doświadczalne badania, komory spalania i nowoczesne lotnicze turbiny gazowe. Książka opracowana została jako podręcznik szkolny dla wyższych szkół lotniczych, może być również wykorzystana przez konstruktorów i pracowników instytutów badawczych w zakresie gazowych turbin i turbo-odrzutowych silników. L. S.

Szumu sowniennych samolotow i metody ich umienschiznja, Ju. S. Bykow, Oborongiz, 1953 r., stron 66.

Zadaniem powyższej pracy jest uzupełnienie rozdziałów książki Pawłowskiego i Liberchejna „Zwukoizolacja samolotow” z roku 1950, (omówionej w zeszytach 2 z 1951 r. „Techniki Lotniczej”), a wówczas niewystarczająco opracowanych. Praca ta jest równocześnie wynikiem własnych badań autora w dziedzinie hałasu samolotów i rezultatem szeregu prac opublikowanych w licznych czasopiśmie. Dla ułatwienia korzystania z książki podano na wstępie najbardziej charakterystyczne wielkości liczbowe oraz podstawowe określenia i oznaczenia. Na właściwą treść składają się 4 rozdziały, omawiające szczegółowo: hałas na samolotach, składowe hałasu i ich główne źródła, poziomy hałas oddzielnych źródeł, dopuszczalny poziom hałasu na samolocie, wpływ hałasu na organizm człowieka, metody zmniejszenia hałasu w jego źródłach, izolacja i tłumiki dźwięków, pomiar hałasu na samolocie. Treść uzupełnia opis pomiarowego analizatora szumu, o małych wymiarach. Książka przeznaczona jest dla inżynierów-techników pracowników budowy samolotów, pracowników przedsiębiorstw eksploatacji samolotów i studentów wyższych uczelni. L. S.

Toksykologia przemysłowa, prof. dr Emil Paluch, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1954 r., stron 380.

Zatwierdzona przez Centralny Instytut Ochrony Pracy książka poświęcona jest zagadnieniu zwalczania zatruc zawodowych. W części ogólnej

podano podstawowe wiadomości o przemianie ciał trujących w organizmie ludzkim, patogeniezie (powstawaniu) zatruc i zapobieganiu zatruciom. W części szczegółowej omówiono poszczególne związki trujące, ich własności chemiczne i fizyczne, zastosowanie w przemyśle, działanie na organizm oraz metody wykrywania ich w powietrzu pomieszczeń roboczych. Podano również wskazówki o udzielaniu pierwszej pomocy osobom zatrutym. Książka może być bardzo przydatna dla referentów bhp w zakładach przemysłu lotniczego. S. M.

Metallurgia metali lekkich, prof. dr A. I. Bielajew, tłum. z ros. mgr inż. Waclaw Ryży, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1954 r., stron 312.

Omawiana książka zawiera szereg wiadomości, które mogą być przydatne dla pracowników lotnictwa, gdzie użycie lekkich metali jest powszechne. Książka dzieli się na trzy części (łącznie 21 rozdziałów), omawiające metalurgię aluminium (12 rozdziałów), metalurgię magnezu (6 rozdziałów) oraz metalurgię berylu, wapnia i baru oraz litu. Opisano w nich własności, podstawy teoretyczne procesów technologicznych i technologię każdego z tych metali. S. M.

Badania mechanicznych własności metali, mgr inż. Stefan Goćkowski, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1953 r., stron 159.

W książce opisano badania własności mechanicznych, zarówno technologicznych jak i wytrzymałościowych. W treści podzielone, na cztery rozdziały zawarto wiadomości wstępne (podział badań, rodzaje obciążeń, wpływ różnych czynników na mechaniczne własności metalu, pobieranie i przygotowanie próbek), badania wytrzymałości metali, próby technologiczne metali oraz badania mechanicznych własności złącz spawanych. Liczne (196) rysunki ułatwiają przyswojenie podanych wiadomości. S. M.

Spektralna analiza przemysłowa, mgr inż. Wojciech Klimecki, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1954 r., stron 149.

W książce omówiono metody wykonywania analiz spektralnych, stosowanych w przemyśle metalowym oraz podano opisy przyrządów i urządzeń. Treść podzielona jest na cztery części, które zawierają następujące tematy: wiadomości ogólne, spektroskopia (staloskopia), spektrografia oraz spektrometria bezpośrednia. Skorowidz rzeczowy oraz duży (111 pozycji) wykaz piśmiennictwa uzupełniają tę ciekawą książkę. Znajdzie ona zastosowanie w pracach badawczych i kontrolnych lotnictwa. S. M.

Obróbka cieplna metali, mgr inż. Paweł Kosieradzki, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1954 r., stron 372.

Obszerna praca zawiera bardzo wiele informacji, które mogą być wykorzystane przez pracowników przemysłu lotniczego. Treść podzielona jest na siedem części, które omawiają podstawowe zadania obróbki cieplnej stali, urządzenia uniwersalne do obróbki cieplnej stali, urządzenia uniwersalne do obróbki cieplnej, hartowanie powierzchniowe, obróbkę cieplno-chemiczną, niektóre specjalne zastosowania obróbki cieplnej, obróbkę cieplną metali niezależnych oraz instalacje pomocnicze w warsztatach obróbki cieplnej. Praca zawiera obszerny (192 pozycje) wykaz piśmiennictwa oraz skorowidz alfabetyczny. S. M.

Fotokomórki, inż. Michał Różycki, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1954 r., stron 96.

Omawiana książeczka (format B6) należy do „Biblioteki racjonalizatora” PWT i zawiera podstawowe wiadomości o budowie fotokomórek i ich zastosowania. Podano liczne przykłady ich wykorzystania, między innymi także z dziedziny lotnictwa i pokrewnych. W treści objaśniono budowę atomu, istotę światła, przyrządy fotoelektryczne oraz urządzenia z fotokomórkami. W przypisach podano szereg informacji o trudniejszych pojęciach stosowanych w treści. Wykaz piśmiennictwa z 13 pozycjami pozwala na studia szczegółowe. S. M.

Analiza wymiarowa zamienności części, dr inż. Tadeusz Jakubowski, Państwowe Wydawnictwa Techniczne 1954 r., stron 251.

Książka omawia problemy bardzo ważne również i dla pracowników przemysłu lotniczego. W treści podano rachunek tolerancyjny, omówienie rodzajów zamienności, planowanie tolerancyjne obróbki skrawaniem, niektóre wiadomości z rachunku prawdopodobieństwa i teorii błędów, objaśnienie zamienności częściowej oraz selekcyjnej. Liczne (39) tablice i przykłady ułatwiają przyswojenie materiału zawartego w książce. S. M.

Izolacje cieplne, poradnik izolatora, red. W. A. Kitajcew i G. S. Chrienow, tłum. z ros. mgr inż. Waclaw Kulikowski, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1954 r., stron 440.

Wprawdzie książka ta przeznaczona jest dla pracowników wykonujących izolacje cieplne urządzeń naziemnych, jednakże i pracownicy lotnictwa znaleźć mogą w niej wiele przydatnych informacji i danych, dotyczących materiałów izolacyjnych oraz wielkości pomocniczych, do obliczeń np. izolacji cieplnych przewodów urządzeń odladzających w samolocie itp. Książka omawia ogólne pojęcia techniczne, materiały ciepłochonne, konstrukcje ciepłochonne oraz roboty izolacyjno-ciepłone. S. M.

Technologia kauczuku i materiałów pokrewnych, dr S. Bostroem, dr K. Lange, dr H. Schmidt, dr P. Stoeklin, tłum. z niem. mgr inż. Waclaw Grossman, uzupełnili mgr inż. Waclaw Zieliński i mgr inż. Janina Zurakowska-Orszagh, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1954 r., stron 404.

Książka zawiera wiadomości, które mogą być przydatne dla pracowników lotnictwa. W treści omówiono ogólne wiadomości o kauczuku, surowce, podstawowe wiadomości o sporządzaniu mieszanek, wulkanizację, maszyny służące do przerobu kauczuku, otrzymywanie najważniejszych wyrobów gumowych, bezpośredni przerób lateksu, technologię gumy opartej na elastomerach syntetycznych oraz chemiczne i mechaniczno-technologiczne badanie kauczuku. Omówiono całokształt zagadnień związanych z technologią kauczuku naturalnego i syntetycznego. S. M.

4 Ważniejsze gatunki drzew krajowych stosowanych w konstrukcjach lotniczych.

Gatunek drzewa	Opis makroskopowy drewna	Własności (ogólnie)	Zastosowanie w lotnictwie
Sosna pospolita (Pinus silvestris)	Bezpośrednio po ścięciu twardej mało różni się od bieli, później ciemnieje na różowo, czerwono lub bruno-biało. Słoję roczne występują wyraźnie na wszystkich przekrojach. Promienie rdzeniowe nie są dostrzegalne gołym okiem. Odrożnia się sosnę rosnącą na glebach gorskich i piaszczystych, która posiada drewno drobnośliskie, żywiczące i z wąskim białym, oraz sosnę rosnącą na glebach gliniastych o drewnie grubosłiskim i szerokim białym.	Dobre własności techniczne, mały ciężar objętościowy i łatwość obróbki narzędziami tnącymi.	Jest podstawowym surowcem przy produkcji samolotów drewn. lub o konstr. mieszanej. Wykonuje się posy dzwigarów podłużnic kadłuba, żebra skrzydeł i usierzenia, wręgi i inne elementy.
Świerk pospolity (Picea excelsa)	Drewno jest barwy białej, niekiedy ze słabym żółtawym odcieniem, słabo połyskujące. Drewno świerków wyrosłych na bagnistej glebie ma odcień czerwony. Biel jest dość szeroka i barwą nie różni się od twardej. Słoję roczne widoczne są na wszystkich przekrojach. Promienie rdzeniowe nie są dostrzegalne gołym okiem. Nieliczne przewody żywiczne widoczne są na przekrojach poprzecznych jako jasne punkty, a na przekrojach podłużnych w postaci ciemnych kresiek.	W porównaniu z sosną drewno świerka jest cięższe, lecz ma nieco niższe wł. mechaniczne oraz niższą odporność na gnicie. Gorzej poddaje się obróbce mech. co wynika z jego większej śkrotowości. Do zaleń należy zaliczyć jednolitą białą barwę, nie zmienia się z upływem czasu, większą odp. na szkodliw. i zmniejsz. żywiczność.	Stosowane w zastępstwie sosny, co wymaga jednak dokonania przeliczeń ze względu na niższe wł. wytrzymałościowe (9-10%). Listewki żeberek szybowców
Jesion pospolity (Fraxinus excelsior)	Może mieć twardej zabarwioną na kolor jasnobrunatny, niekiedy z odcieniem zielonkawym, lub niezabarwioną. Biel szeroka, biała z żółtawym odcieniem mało różni się od twardej. Drewno jest ciężkie i twarde. Słoję roczne występują wyraźnie na przekroju poprzecznym. Promienie rdzeniowe są bardzo cienkie i na przekroju poprzecznym ledwo widoczne, na przekroju promieniowym występują jako wąskie połyskujące, mała widoczne, wstążeczki lub plamki.	Drewno charakteryzuje duża sprężystość, twardość, mała skłonność do pęknięcia i sicerania, ładny rysunek oraz łatwość przyjmowania politur.	Stosowane głównie na elementy gięte i mocno obciążone. Typowe zastosowanie - narty i płoty.
Lipa (Tilia)	Drewno białe o różowym lub czerwonym odcieniu, miękkie i lekkie. Słoję roczne widoczne są, choć nie byłby wyrażnie, na wszystkich przekrojach. Promienie rdzeniowe - mało widoczne.	Drewno miękkie i lekkie o jednolitej budowie. Dobrze się łupie i skrawa, gładko się struże, pęka i paczy się nieznamy, chociaż zyscha się w dużym stopniu.	Używane do wyrobu elementów nie przenoszących dużych obciążeń. Kłocki wypełniające, listewki ramek opłoflowan.
Topola czarna-sakora (Populus nigra)	Gatunek twardej. Biel biała o żółtym odcieniu, twardej żółto-szara. Słoję roczne wyraźnie widoczne na wszystkich przekrojach. Promienie rdzeniowe widoczne tylko na przekroju promieniowym jako połyskujące paski.	Drewno jest lekkie i miękkie, własnościami mechan. zbliżone do drewna osiki.	Zastępuje lipę.
Buk (Fagus silvate)	Drewno białe z żółtawo-czerwonym odcieniem. Biel nie różni się barwą od twardej. Drewno jest dość ciężkie i twarde. Słoję roczne widoczne na wszystkich przekrojach. Promienie rdzeniowe również widoczne na wszystkich przekrojach. No przekroju stycznym promienie widoczne są jako rzadko rozrzucone ciemne, soczewkowane pasemka nadające drewnu charakterystyczny nakropiany rysunek.	Drewno ma wysokie własności mechaniczne, jest ono jednak mało odporne na gnicie - łatwo się paczy i pęka.	Stosowane w zastępstwie jesionu i dębu, a głównie do wyrobu forniru na sklejkę lotniczą.
Brzoza (Betula pubescens i verrucosa)	Gatunek twardej. Drewno białe ze słabym żółtym lub czerwonym odcieniem, dość twarde i ciężkie. Słoję roczne na wszystkich przekrojach są słabo widoczne i występują wyrażnie po znaczeniu wodą. Promienie rdzeniowe niewidoczne gołym okiem.	Drewno jest dość statecznie twarde i giętkie, bardzo równomiernie zbudowane i zabarwione. Drewno łatwe w obróbce narzędziami tnącymi.	Używane do wyrobu forniru.
Olcha czarna (Alnus glutinosa)	Zaraz po ścięciu drewno jest białe, ale na powietrzu szybko przybiera barwę jasno-czerwoną. Słoję roczne i promienie rdzeniowe są widoczne na wszystkich przekrojach.	Drewno jest średnio lekkie i średnio miękkie. W porównaniu z brzozą posiada niższe własności mechaniczne.	Stosowane do wyrobu modeli i odlewniczych i do wyrobu forniru.
Dąb (Quercus pedunculata)	Gatunek twardej. Biel wąska ma barwę żółtawą, twardej jasnobrunatną lub ciemnobrunatną. Słoję roczne dobrze widoczne na wszystkich przekrojach. Promienie rdzeniowe są 2 rodzajów: szerokie i wąskie, widoczne na wszystkich przekrojach.	W zależności od pochodzenia może mieć drewno drobnośliskie - miękkie i łatwe do obróbki, lub szerokośliskie - twarde i o większych wł. wytrzymałości. Drewno twarde, elastyczne odporne na gnicie.	Stosowane do wyrobu elementów giętych, a szczególnie do wodnosamolotów.

5 Ważniejsze gatunki drzew stosowane w konstrukcjach lotniczych zagranicą.

Gatunek drzewa	Opis makroskopowy drewna	Własności (ogólnie)	Zastosow. w lotnictwie	Pochodzenie
Balsa (Ochroma lagopus)	Drewno białe z lekkim czerwono-brunatnym odcieniem i jedwabistym połyskiem. Naczynia (pory) na przekroju poprzecznym dobrze widoczne gołym okiem. Promienie rdzeniowe widoczne na wszystkich przekrojach.	Drewno bardzo lekkie (0,10-0,15) i elastyczne. Własności mechaniczne wysokie.	Stosowane do wyrobu pływaków, osłon piaszczyn i innych	Ameryka Środkowa, pln. część Am. Południowej. (Kolumbia, Boliwia, Peru i na Antylach.)
Przeorzech biały (Hicoria alba) Hickory	Gatunek twardej. Biel białawy do jasnobrunatnego. Twardej jasnobrunatna do ciemnobrunatnej.	Drewno twarde i ciężkie, bez zapachu. Wł. mechaniczne wysokie - elastyczne.	Zastosowanie jak jesionu.	Ameryka Południowa ZSRR - wybrzeże czarnomorskie.
Akacja biała (Robinia pseudoacacia) Locust black	Gatunek twardej. Biel koloru żółto-białego. Twardej żółto-szara.	Drewno ciężkie i twarde, nie pęka, nie paczy się i nie psuje się w wodzie.	Zastosowanie jak dębu.	Ameryka Południowa
Cedrzyńiec (cedr kalifornijski (Libocedrus decurrens) Cedar	Gatunek twardej. Biel białawy, twardej czerwono-brunatna. Słoję roczne wyraźnie widoczne. Promienie rdzeniowe dla oka nieuzbrojonego niewidoczne.	Drewno średnio twardości, dość lekkie, włókniste o charakterystycznym zapachu, bardzo odporne na gnicie.	Zastosowanie jak lipy	Ameryka Południowa, ZSRR - w Abchazji
Daglezia (Pseudotsuga taxifolia) Douglas Fir	Gatunek twardej. Biel białawy, jasno-żółty lub czerwony. Twardej żółtawo, brunatno-żółta aż do ciemno-brunatnej. Słoję roczne dobrze widoczne na wszystkich przekrojach. Promienie rdzeniowe niewidoczne.	Drewno średnio twarde i sprężyste. Twardej żółtawo, brunatno-żółta aż do ciemno-brunatnej. Słoję roczne dobrze widoczne na wszystkich przekrojach. Promienie rdzeniowe niewidoczne.	Zastosowanie jak sosny dla sosny	Kalifornia, ZSRR - Ukraina i Białorus.
Tulipanowiec (Liriodendron tulipifera) Tulip.	Gatunek twardej. Biel białawy. Twardej żółta, ciemno-żółta do czernobrunatnej. Słoję roczne widoczne na przekroju poprzecznym.	Drewna średnio twarde i sprężyste bez zapachu. Własnościami zbliżone do topoli.	Zastosowanie jak dla lipy	Ameryka Południowa, ZSRR - Kraj Zakaukaski
Mahon (Świetenia mahagoni) Mahogany	Gatunek twardej. Biel wąska, biała, twardej brunatno-czerwona. Słoję roczne widoczne na przekroju poprzecznym. Promienie rdzeniowe niewidoczne.	Drewno odznacza się wysokimi wł. mech., niemal zupełnie nie paczy się i nie smigiel barwę i rysunek dobrze przyjmuje politurę.	Używany do wyrobu samolotów, smigiel i forniru.	Ameryka Środkowa, Australia, Afryka.
Sprus (Picea sitchensis) Spruce Sitka.	Drewno lekkie, miękkie, elastyczne, prastośliskie	Dobry materiał do bud. samolotów - stosowane jak naszej sosny.	Ameryka Południowa bud. samolotów - Alaski.	

W tabeli Nr 5 oprócz nazwy polskiej i botanicznej podano jeszcze nazwę drzewa w języku angielskim.

2 Nazwy botaniczne i w językach obcych dla najbardziej rozpowszechnionych gatunków drzew krajowych.

Nazwa botaniczna	Nazwa drzewa w języku:				
	polskim	rosyjskim	angielskim	francuskim	niemieckim
Pinus silvestris	Sosna pospolita	Сосна	Pine	Pin	Kiefer
Picea excelsa	Świerk	Ель обыкновенная	Spruce	Sapin	Fichte
Fraxinus excelsior	Jesion	Ясень обыкновенный	Ash	Frene	Esche
Tilia	Lipa	Липа	Lime	Tilleul	Linde
Fagus silvate	Buk	Бук	Beech	Hehre	Buche
Betula verrucosa	Brzoza	Береза обыкновенная	Birch	Bouleau	Birke
Alnus glutinosa	Olcha czarna	Альха черная	Alder	Aune	Erle
Populus alba	Topola	Тополь	Poplar	Peupier	Pappel
Abies	Jodła	Пихта	Fir	Sapin	Tanne
Carpinus betulus	Grab	Граб	Hornbeam	Corme	Weisbuche
Quercus pedunculata	Dąb	Дуб	Oak	Chene	Eiche
Populus tremula	Osika	Осина	Asp	Tremble	Espe

8 Fizyko mechaniczne własności ważniejszych gatunków drewna przy wilgotności ~15%

Własności	Ciężar objętościowy w G/cm ³		Współczynniki wytrzymałości kG/cm ²								Udarność wg danych		Twardość kG/cm ²					
	Rodzaj drewna	Świeżo ścięte	Powietrzno suche	Rozciąganie		Ściskanie		Scinanie		Zginanie statyczne	Skrećcie		wg Janki		wg Brinella			
				Wzdłuż włókien		Kierunek działania siły		Kierunek działania siły			W poprzek (przeciętnie)	Wzdłuż	R _{90°}	w kierunku		R _{90°}	R _{45°}	
				Wzdłuż	W poprzek	Wzdłuż	W poprzek	R _{10°}	R _{45°}					R _{10°}	R _{45°}			
Sosna I	0,70	0,52	1040-1280	410-470	132	67	69	73	210-214	650-870	134	46	0,70	0,20	270	240	240	400
Świerk I, II	0,74	0,47	900-1460	390-430	71	58	50-68	50-68	220-264	600-722	94	34	0,50	0,19	224	184	182	320
Jesion I	0,92	0,75	1000-1109	510-525	-	-	133-146	130-138	-	820-1150	264	155	-	0,48	690	602	573	-
Lipa	0,79	0,45	650-869	360-394	-	-	80	73	-	473-680	-	-	-	0,27	190	164	164	-
Buk	0,97	0,71	900-1340	460-530	103	135	90-130	65-100	350	930-940	245	151	0,80	0,37	554	402	379	720
Brzoza	0,95	0,65	1370-1560	430-480	-	-	110	80-85	380	850-970	-	-	1,00	0,47	368	313	311	490
Olcha	0,82	0,54	1400	370-380	-	-	-	-	-	545-690	-	-	0,50	-	394	274	268	380
Topola	0,75	0,45	700-770	300-350	-	-	54	71	-	533-600	-	-	0,50	0,18	236	-	197	300
Jodła	0,83	0,44	840-970	350-400	84	41	45-80	40-80	275	550-670	-	-	0,35	0,13	260	-	-	300
Órab	0,99	0,72	1890	500-530	156	256	-	-	-	1085-1290	-	-	-	-	643	635	615	-
Dąb	1,01	0,74	900-1450	520	117	178	90-105	80-95	320	740-1020	201	112	0,75	0,37	608	-	521	640
Osika	0,86	0,51	1300-1450	374	-	-	77	45-60	-	675-765	-	-	-	0,41	241	160	153	-

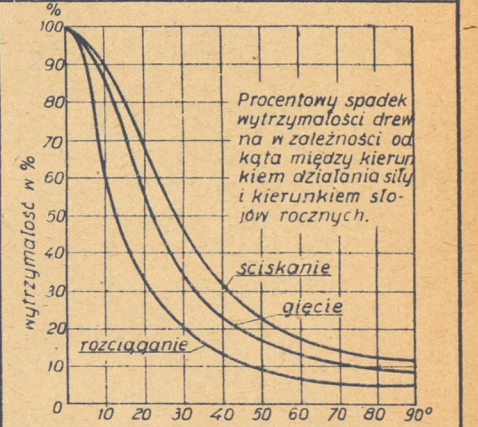
Własności wytrzymałościowe drewna zależą od czynników takich jak np. miejsce wzrostu drzewa, warunki wzrostu, wiek drzewa i innych, dlatego dane z tabeli należy przyjmować tylko jako dane orientacyjne-wstępne. Ścisłe wartości wskaźników wytrzymałości można uzyskać na podstawie przeprowadzenia badań na próbkach pobranych z określonej partii drewna

Osie symetrii drewna

Wielkości w tabeli zestawiono na podstawie danych w literaturze rosyjskiej, polskiej i częściowo niemieckiej. Przy ustalaniu wskaźników wytrzymałościowych na podstawie danych radzieckich (6051-4631-49) uwzględniono tylko wskaźniki drewna dla drzew rosnących w europejskiej części ZSRR.

8a Dalszy ciąg tabeli 8 (tylko dla ważniejszych gatunków)

Własności	Moduł sprężystości t/cm ²										Współczynnik odkształcenia postacowego μ				
	Rodzaj drewna	Rozciąganie		Ściskanie		Skrećcie		Przy zginaniu statycznym			Przy ścisnaniu w kierunku				
		W kierunku		W kierunku		Wzdłuż		Wzdłuż		Wzdłuż		Wzdłuż			
		Wzdłuż włókien	W poprzek włókien	Wzdłuż włókien	W poprzek włókien	Wzdłuż włókien	W poprzek włókien	Wzdłuż włókien	W poprzek włókien	Wzdłuż włókien	W poprzek włókien	Wzdłuż włókien	W poprzek włókien		
Sosna	117	5,1	4,3	117	6,2	5,0	7,51-9,16	1,29-2,26	108	0,490	0,410	0,030	0,790	0,037	0,380
Świerk	143	6,2	4,2	142	5,9	3,6	5,23-7,94	0,613-1,09	83	0,440	0,411	0,017	0,480	0,031	0,250
Jesion	140	-	-	150	9,7	-	11,40-12,47	0,27-7,40	113	0,430	0,260	0,043	0,740	0,043	0,600
Brzoza	181	6,0	4,2	158	6,0	4,5	-	-	124	0,580	0,450	0,043	0,810	0,040	0,490
Dąb	140	11,0	8,3	140	12,9	9,1	9,09-10,12	4,03-5,27	73	0,430	0,410	0,070	0,830	0,090	0,340
Buk	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,110	0,330	0,030	0,730	0,020	0,360



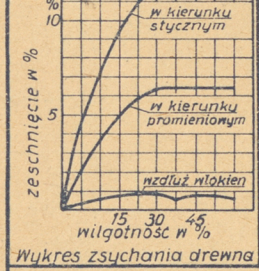
10-1 Zsychanie drewna

Rodzaj drewna	Wielkość zsychnania w %						Współczynniki zsychnania w % na 1°C		
	Wzdłuż włókien	W kier. prom.	W kier. styczn.	Objętościowo	Średnio dla kier. prom. i styczn.	W kier. prom.	W kier. styczn.	Objętościowo	
Sosna	0,01-0,20	0,6-4,3	2,0-8,1	12,5	3,3	0,38	0,50	-	
Świerk	0,08	1,1-4,7	2,0-9,3	14,3	3,3	0,40	0,77	0,5	
Jesion	0,18-0,82	0,5-7,8	2,6-11,8	13,5	5,7	-	-	-	
Lipa	0,10-0,12	0,4-7,1	0,4-10,9	-	4,7	0,63	0,93	-	
Buk	0,20-0,34	2,3-6,0	5,0-10,7	15,3	6,0	0,16	0,34	0,53	
Brzoza	0,06-0,90	1,7-7,2	3,2-9,3	-	5,3	0,26	0,30	0,59	
Dąb	0,20-0,30	3,2-4,7	0,8-8,4	12,7	3,6	0,49	0,93	0,5	

9 Fizyko-mechaniczne własności kilku gatunków drewna stosowanego zagranicą

Rodzaj drewna (nazwa botaniczna)	Wilgotność w %	Ciężar objętościowy g/cm ³	Wytrzymałość kG/cm ² na: Ściskanie wzdłuż włókien	Zginanie statyczne	Scinanie prom.	Twardość w kG/cm ² na przekr. poprzeczny
Cedrzyńiec (<i>Libocedrus decurrens</i>)	5,1	0,36	515	660	63	470
Daglezia (<i>Pseudotsuga taxifolia</i>)	3,4	0,44	500	725	76	338
Mahoni (<i>Swietenia mahagoni</i>)	14,0	0,54	404	710	88	435
Przeorzech (<i>Micoria alba</i>)	8,9	0,75	745	1520	134	-
Tulipanowiec (<i>Trochodendron tulipifera</i>)	6,1	0,41	525	830	82	266

10-2 Wykres zsychnania drewna



10-3 Wpływ niskich temperatur na mechaniczne własności drewna

Rodzaj drewna	Wytrzymałość w % na:				Udarność w %			
	Ściskanie niezamrożone	Ściskanie zamrożone	Scinanie niezamrożone	Scinanie zamrożone	Zginanie niezamrożone	Zginanie zamrożone	niezamrożone	zamrożone
Sosna	100	129	100	177	100	143	100	54
Brzoza	100	143	100	184	100	142	100	100
Dąb	100	127	100	158	100	124	100	91

Wyniki podane w tabeli uzyskano na próbkach moczonych w wodzie (do pełnego nasycenia), a następnie zamrożonych w temperaturze -10° - -12°C i w tym stanie badanych. Po powrocie do normalnej temperatury drewno zamrożone wykazuje normalne własności mechaniczne.

Wpływ podwyższonej temp. (90+100°C) na własności mechaniczne drewna. badano na drewnie sosny, jesionu, i dębu i uzyskano następujące wyniki:
 1) Wytrzymałość na ściskanie zmniejsza się o 5-10% przy czym największy spadek jest w drewnie sosny a nast. dębu i jesionu
 2) Udarność obniża się o 10-15% przy czym największy spadek jest w drewnie dębu a następnie jesionu i sosny.

11a Zmęczenie drewna

Badaniem zmęczenia drewna zajęto się dopiero w ostatnich czasach i dlatego niewiele jest danych na ten temat. Na szczególną uwagę zasługują badania przeprowadzone przez A. Pieddiera (Z.S.R.R.), który przeprowadził badania na różnych rodzajach drzew i uzyskał następujące wyniki.

Rodzaj drewna	Wilgotność w %	Wytrzymałość na zmęczenie w kG/cm ² przy zginaniu	Stosunek wytrzymałości na zmęczenie do wytrzymałości na zginanie
Sosna	12,5-13,0	191	0,25
Świerk	14,0-14,7	214	0,28
Sosna	12,5-13,0	76	-
Świerk	-	87	-

Na podstawie przeprowadzonych badań autor wyprowadził następujące wnioski:
 1 Wytrzymałość na zmęczenie dla wszystkich zbadanych rodzajów drzew jest bliska granicy sprężystości przy rozciąganiu i przeciętnie wynosi 0,25 wytrzymałości na zginanie statyczne.
 2 Wytrzymałość na zmęczenie przy skręcaniu wynosi średnio 0,40 wytrzymałości na zmęczenie przy zginaniu.
 3 Wielkość obciążenia powodującego szybkie zniszczenie drewna przy wielokrotnym zginaniu wynosi 1/3 wielkości dopuszczalnego obciążenia przy zginaniu statycznym.
 4 Wzrost ciężaru objętościowego drewna powoduje zwiększenie wytrzymałości na zmęczenie.
 5 Wilgotność w niewielkim stopniu wpływa na wytrzymałość na zmęczenie przy zginaniu i skręcaniu.
 6 Półki ze środkowej części pnia męczą się przy wielokrotnym skręcaniu znacznie szybciej niż próbki części zewn.
 7 Przy zwiększonej częstotliwości - 7000 cyklów na minutę następuje pewne zwiększenie wytrzymałości na zmęczenie w porównaniu z wytrzymałością uzyskaną przy częstotliwości od 50-3000 cykli na minutę.
 Obok podajemy również wyniki badań niemieckich przeprowadzonych na ten temat (tabela 11b).

11b Wytrzymałość drewna na zmęczenie

(Wg danych w literaturze niemieckiej)
 Wzór ogólny:
 $K_{zm} = 0,19R_r + 60$

Wielkości współczynników wytrzymałościowych na zmęczenie

Rodzaj drewna	R _r kG/cm ²	R _g kG/cm ²	K _{zm} kG/cm ²
1 Sosna	1190	830	280
2 Jesion	1320	1300	270
3 Sprus	-	958	170
4 Grab	1200	1380	300
5 Brzoza	930	1190	300
6 Dąb	1540	1170	400
7 Klon	930	1210	330
8 Lipa	580	670	200
9 Orzech	1240	970	230
10 Cis	960	1090	280
11 Akacja	1550	1680	410
12 Topola	830	760	240
13 Olcha	710	980	180