

PROCESSING COPY

50X1-HUM

INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY

This material contains information affecting the National Defense of the United States within the meaning of the Espionage Laws, Title 18, U.S.C. Secs. 793 and 794, the transmission or revelation of which in any manner to an unauthorized person is prohibited by law.

S-E-C-R-E-T

50X1-HUM

COUNTRY	Poland/USSR	REPORT	
SUBJECT	Military Technical Academy in Warsaw <i>(description)</i>	DATE DISTR.	APR 1958 50X1-HUM
		NO. PAGES	5
		REFERENCES	
DATE OF INFO.			50X1-HUM
PLACE & DATE ACQ.			50X1-HUM

CLASSIFICATION IS DEFINITIVE APPRAISAL OF CONTENT IS TENTATIVE.

- The Military Technical Academy (Wojskowa Akademia Techniczna - WAT), located in the Warsaw suburb of Bemowo (formerly called Boernerowo, N 52-15, E 20-54), is subordinate to the Ministry of Defense (MON) which has a special body responsible for coordinating the activities of military schools. Established during 1950-1951 when highly trained technicians were urgently needed by the Polish Army, the academy based its organizational structure and curriculum on the Soviet system.
- WAT is situated next to the Boernerowo military airfield; the entire school area is enclosed by a fence, but there is a free passage between it and the airfield. The group of buildings which constitute the academy, mostly one-story structures, were formerly used by an air force technical school. Buses and trolleys from the center of town go to the school's gates, where a large sign gives the full name of the school. WAT headquarters are on the left side of the road leading from the town into the school grounds. Further along are the offices, stores, service buildings, dining halls, a casino, dispensary, student living quarters and quarters for the married members of the WAT staff. Classrooms, lecture halls and laboratories are on the right side of the road.
- The academy has a total enrollment of 1,500 students and graduates 200 engineers annually. The school staff is composed of approximately 1000 military personnel and 500 civilians. The school has the following departments: Armor, engineering, artillery, air force, communications and radar. All departments are composed of a number of professional chairs; in addition, there are general academic chairs in physics, mathematics, chemistry and mechanics.
- In 1955-1956, when the Polish armed forces were reduced, WAT was also reorganized. A number of departments and chairs were merged in an effort to reduce the staff and to economize on overhead expenditures; for example, the Department for Standard Motor Vehicles (Fak. Samochodow Drogowych) merged with the Department of Armor and the Air Force Department. Thus, in late 1957, one of the three sections of the Air Force chair for

S-E-C-R-E-T

- 50X1-HUM

STATE	<input checked="" type="checkbox"/>	ARMY	<input checked="" type="checkbox"/>	NAVY	<input checked="" type="checkbox"/>	AIR	<input checked="" type="checkbox"/>	FBI	<input checked="" type="checkbox"/>	AEC												
(Note: Washington distribution indicated by "X"; Field distribution by "#".)																						

50X1-HUM

INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT

S-E-C-R-E-T

50X1-HUM

-2-

theory and construction of gasoline engines (Teoria/¹Konstrukcja Silnikow Spalinowych) was for vehicle engines.

5. The regular student body consists of secondary school graduates, accepted on the basis of competitive examinations, and regular officers with ranks from second lieutenant to captain who possess matriculation certificates. The former, upon entering the school, enlist for compulsory service and are given the rank of private. During their course of study these students are given promotions, and upon graduation they are commissioned second lieutenants. The course of study for the regular student body lasts $4\frac{1}{2}$ years.¹ WAT also conducts special courses and supplementary training for regular officers with the rank of major and senior officers from technical corps. These are only one-term courses, designed to give veteran officers an elementary technical education.
6. The students are under military discipline throughout their entire period of study. They are organized into companies and platoons according to the study term and departments. After undergoing basic training, they perform the usual military chores, such as guard duty, and also participate in summer maneuvers within the framework of the various corps.
7. The curriculum of each department is designed to train engineering officers who upon graduation will be assigned to a specific military corps. During the first year the courses are similar to those of a polytechnic institute; the students acquire knowledge in general technical subjects and, in addition, study various weapons which pertain to their particular department. In the second year the students continue with general technical subjects, progressing to specialized topics relevant to the corps in which they will eventually serve. Upon completion of the second year, the students are sent to military industrial plants to gain practical work experience. During the third year the students continue their study of specific technical subjects and pertinent military-technical subjects. The last year is spent in complementary studies and in completing the graduation paper (Projekt Dyplomy), which the students started in the third year. Throughout the entire course of study, emphasis is placed on the study of strictly military subjects, e.g., tactics, topography and weapons training. Most of the materials used by the academy are translations from Russian textbooks.
8. On graduation the students acquire the title of engineers which is recognized by Polish civilian institutions. The aim is to graduate the maximum number of students; failures during the entire period of study do not exceed ten per cent, most of which are first-year students. Those who fail are expelled and assigned to regular military units. Students who graduate with distinction are given the opportunity to obtain the title of "Engineer-Magister", which requires an additional two years' evening study. These students, therefore, are usually placed on the school's staff or assigned to nearby units, enabling them to use their free time in pursuit of their studies.

S-E-C-R-E-T

50X1-HUM

S-E-C-R-E-T

50X1-HUM

-3-

9. The lecture staff at WAT is composed of professional military experts and professors of the Warsaw Technical College. When the academy was established, many Soviet military personnel held key positions on the school's academic and administrative staff. WAT has since trained local personnel for staff positions as lecturers and assistants. The school hopes to reach a point when its lecture staff will be composed solely of military personnel, except those for such general scientific subjects as physics, mathematics and chemistry. Nevertheless, the participation of lecturers from the Warsaw Technical College has been beneficial to the spirit of cooperation which exists between the two institutions. Students at WAT often use the facilities available to the students at the college and vice versa. WAT also cooperates closely with the General Staff College.
10. In addition to conducting courses of instruction, WAT also engages in research work, as directed by the General Staff and as requested by the various branches of the service. These requirements also determine the assignment of graduation papers to WAT students and the theses written by candidates for the "Magister" title, the interested service rendering assistance to such projects.
11. The school's laboratory equipment, including measuring instruments, training aids and research facilities, is modern and generally of high standard. Most of the equipment is of Soviet origin, although there are also many Western-made instruments. The large amount of funds invested in the purchase of laboratory equipment was disproportionate to the school's current requirements and there are consequently well-equipped laboratories at WAT which are infrequently or never used.
12. A scientific congress is held annually at WAT, attended by representatives of the MON, the General Staff, various branches of the service, and civilian scientific and research institutions connected with the military industry. These congresses, serving as forums for periodic summations on current research work, function through specialized sections which are organized according to the subject matter of the lectures. After these sections have discussed the various research projects, they submit their conclusions to the congress for approval.
13. The following are details concerning the sections of the IVth Scientific-Technical Conference at WAT in February 1956:
- a. Section (Sekcja) I - General political and military subjects.
 - b. Section II - Secret subjects (studies not published)
Sub-section: Chemistry and explosives
 - c. Section III - Armor
Sub-section: Transport corps
 - d. Section IV - Air Force
 - e. Section V - Secret subjects (studies not published)
 - f. Section VI - Signal Corps
 - g. Section VII - Radar
 - h. Section VIII -
Sub-section for physics
Sub-section for technology
Sub-section for electricity
Sub-section for mechanics

S-E-C-R-E-T

50X1-HUM

S-E-C-R-E-T

50X1-HUM

-4-

14. WAT published a monthly or bi-monthly bulletin which is usually devoted to subjects of a specific technical branch, a research paper for the title of Science Candidate (Kandydat Nauk), or a summary of the activities of scientific committees. This bulletin is not secret, although its distribution is limited to scientific or research institutes connected with military academies and industries. Another bulletin, classified "Top Secret", is published monthly for members of the armed forces, and features research papers of direct interest to the military. The research projects, however, like those published in the overt bulletin, are usually of low standard and unoriginal; in fact, most of them are merely translations from Western textbooks.
15. With the reduction of the armed forces in 1955-1956, the scope of WAT was also diminished. The number of departments was reduced and some lecturers and other staff members were dismissed. It was at this time that certain individuals in the General Staff and the MON voiced doubts as to whether or not the academy could justify its existence at all. Since requirements for engineer officers had been filled in most corps, it was their contention that there was no need for a separate military academy for current manpower reinforcements. As for future requirements, they claimed that engineers for the army could be trained within the framework of the existing technical colleges if facilities were provided for the military aspects of their training. The maintenance of a separate institution for this purpose was therefore a waste of money and effort. However, the top army echelon agreed with the WAT staff that the training of army engineers in civilian institutions would not be sufficient, even if supplementary military-professional training were offered.² A further argument for the continued existence of WAT was the need for a central military institution to engage in scientific research and to develop combat doctrines for the various service branches. 50X1-HUM
16. Div. Gen. Leosheniya (fnu), was commander of WAT until 1955 [redacted] an engineer (Dr.). On completion of his assignment he 50X1-HUM returned to the USSR together with a considerable number of Soviet officers who had held posts at the academy. Brig. General Ovchy (fnu), [redacted] is a Soviet officer who has served as commander of 50X1-HUM WAT since 1955; he had been second in command up until that time. An engineer (Dr.), he does not lecture nor does he engage in research. His sole duties pertain to the administrative management of the academy.

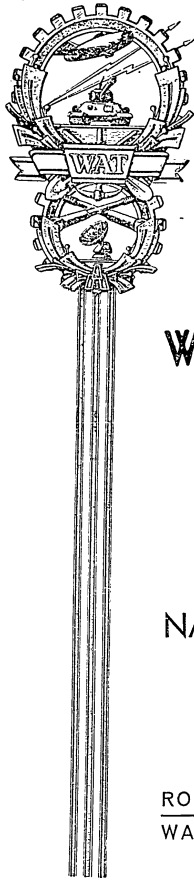
S-E-C-R-E-T

50X1-HUM

50X1-HUM

50X1-HUM

Page Denied



BIULETYN

WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ

Im. Jarosława Dąbrowskiego

TEZY REFERATÓW
NA IV KONFERENCJĘ
NAUKOWO-TECHNICZNĄ WAT

ROK V	L U T Y	2A (58)
WARSZAWA		1956

**BIULETYN
WOJSKOWEJ AKADEMII
TECHNICZNEJ**
Im. Jarosława Dąbrowskiego

TEZY REFERATÓW
NA IV KONFERENCJĘ
NAUKOWO-TECHNICZNĄ WAT

ROK V LUTY 2A (56)
WARSZAWA 1956

S P I S T R E Ś C I

Tezy do referatów na IV Konferencję Naukowo-Techniczną W.A.T.*)

	Str
Tezy do referatów na posiedzenia plenarne	3
Tezy do referatów sekcji I	5
Tezy do referatów sekcji II	17
Tezy do referatów sekcji II, Podsekcji Chemicznej i Materiałów Wybuchowych	19
Tezy do referatów sekcji III	31
Tezy do referatów sekcji III, Podsekcji Wojsk Samochodowych	41
Tezy do referatów sekcji IV	49
Tezy do referatów sekcji V	63
Tezy do referatów sekcji VI	65
Tezy do referatów sekcji VII	73
Tezy do referatów sekcji VIII	
A. Podsekcji Fizyki	79
B. Podsekcji Technologicznej	87
C. Podsekcji Elektrotechniki	97
D. Podsekcji Mechaniki	103

* Tezy do referatów na IV Konferencję Naukowo-Techniczną publikuje się w dwóch częściach.
W niniejszym numerze publikuje się część I. Część II zamieszczona jest w Biuletynie WAT nr 2B (59).

TEZY DO REFERATÓW
NA POSIEDZENIA PLENARNE*)

* Tezy powyższych referatów opublikowane są w Biuletynie W.A.T. nr 2B (59).

TEZY DO REFERATÓW
SEKCJI I

Mjr S. KONIECZNY

**OPRACOWANIE PODSTAWOWYCH ZAGADNIEN
RADZIECKIEJ NAUKI WOJENNEJ PRZEZ LENINA**

Wstęp

Leninowska teoria możliwości zwycięstwa socjalizmu w jednym kraju. Powstanie pierwszego na świecie państwa dyktatury proletariatu. Konieczność stworzenia sił zbrojnych dla obrony tego państwa przed imperialistycznymi agresorami. Wszelchstronne opracowanie przez Lenina zagadnień obrony państwa socjalistycznego, zorganizowania sił zbrojnych nowego typu — podstaw radzieckiej nauki wojennej.

1. Lenin o charakterze współczesnych wojen i czynnikach decydujących o losach wojny.

Lenin o nowym etapie sztuki wojennej, o maszynowym okresie wojen związanych z epoką imperializmu. Współzależność wojny i ekonomiki i wpływ ekonomiki na losy wojny. Masy ludowe podstawową siłą we współczesnej wojnie. Znaczenie ducha moralnego narodu i armii we współczesnej wojnie i ich zależność od warunków ekonomicznych i politycznych, od społecznego i politycznego ustroju państwowego, od charakteru prowadzonej wojny. Rola partii komunistycznej jako kierowniczej siły narodu w wojnie o obronę socjalistycznej ojczyzny. Rola jednostki, woźdza. Przewaga w czynnikach: ekonomicznym, moralnym i wojennym — gwarancją zwycięstwa w wojnie.

2. Lenin o sztuce wojennej

Wzajemna zależność polityki i strategii. Opracowanie przez Lenina głównych wskazań teoretycznych o sposobach i formach prowadzenia wojny. Decydujące znaczenie działań bojowych. Znaczenie techniki bojowej i jej wpływ na sztukę wojenną. Leninowskie twierdzenie: „nie odparać nieprzyjaciela, lecz niszczyć” — podstawa radzieckiej strategii wojskowej, Lenin o prawach natarcia. Prawidłowa ocena przeciwnika, jego silnych i słabych stron — jednym z zasadniczych warunków zwycięstwa. Niektóre zagadnienia praktycznej działalności wojskowej Lenina.

3. Wskazania Lenina wytyczną działania krajów socjalizmu w dziedzinie wojskowej.

Rozwinięcie leninowskich podstaw radzieckiej nauki wojennej przez Stalina i innych współbojowników i uczniów Lenina. Uwzględnienie w przedmiocie radzieckiej nauki wojennej leninowskich wskazań o decy-

dującym i ciągle rosnącym wpływie warunków ekonomicznych na organizację sił zbrojnych, o tym, że współczesna wojna prowadzona jest przez narody i stanowi próbę wszystkich materialnych i moralnych sił narodu oraz jedności zaplecza i frontu. Realizacja leninowskich wskazań gwarancją twórczego podejścia do zagadnień nauki wojennej, słusznej oceny obecnego stanu sztuki wojennej i słusznego przewidywania dróg jej dalszego rozwoju. Studiowanie dzieł Lenina — ogromną pomocą dla naszych kadr wojskowych, umożliwiającą poznawanie prawidłowości prowadzenia walki zbrojnej we współczesnej nam epoce — epoce imperializmu i rewolucji proletariackich. Twórczy charakter radzieckiej nauki wojennej.

Mjr M. GŁOWACKI

KRYTYKA NIEKTÓRYCH POGLĄDÓW WSPÓŁCZESNEJ BURZUAZYJNEJ EKONOMII POLITYCZNEJ

I. Wstęp.

Szczytowy punkt rozwoju burżuazyjnej myśli ekonomicznej, w okresie walki o umocnienie bazy kapitalistycznej. Koncepcje subiektywistyczno-psychologiczne w badaniach burżuazyjnej ekonomii politycznej, jako reakcja na powstanie i rozwój ekonomii politycznej proletariatu. Zawężenie badań ekonomicznych do zjawisk w sferze cyrkulacji. Przejście burżuazyjnej ekonomii politycznej od nauki do apologetyki.

Ogólny kryzys kapitalizmu a zamówienie społeczne dla ekonomistów burżuazyjnych na wyszukanie metod, pozwalających przewidywać przebieg koniunktury. Tendencje do ustalania tzw. prognozy ekonomicznej cechą współczesnych kierunków burżuazyjnej ekonomii politycznej.

II.

1. „Barometr koniunkturalny” szkoły harwardzkiej prymitywną próbą mierzenia koniunktury i ustalania prognozy ekonomicznej.

Fiasco harwardzkich badań prognozy rezultatem wulgarnego pojmoowania zjawisk ekonomicznych i negowania ich aspektu społecznego.

2. Dążenie do zapewnienia gospodarce kapitalistycznej równowagi w ujęciu J. Keynes'a.

„Preferencja płynności” i problem niedozatrudnienia według Keynes'a, zasadniczymi przyczynami braku równowagi gospodarczej. Nacisk w kierunku wzrostu efektywnego popytu i inwestycji w świetle teorii multiplikatora jako panaceum na usunięcie dolegliwości systemu kapitalistycznego i nadzieja na eliminację cykliczności. Nierealność multiplikatora w warunkach gospodarki kapitalistycznej. Próba oceny multiplikatora ze stanowiska marksowskiej teorii akumulacji kapitalistycznej.

3. Teoria „ekonomiki regulowanej” amerykańską wersją keynesizmu. Tendencje do zajęcia miejsca pośredniego między „skrajnościami” planowania a systemem wolnej konkurencji. „Ekonomika regulowana” wyrazem dążeń do wzmożenia interwencjonizmu gospodarczego państwa w interesie monopolu.

4. Ekonometria podstawą metodologiczną w poszukiwaniu nowych elementów prognozy.

Marshallowska funkcja popytu obiektem badań ekonomistów w oparciu o materiał empiryczno-statystyczny. Próby znalezienia przyczyn zmian koniunkturalnych i kierunku rozwojowego trendu.

Formalizm matematyczny w analizie zjawisk ekonomicznych. „Programowanie” jako koordynacja działań gospodarczych monopolii i państwa w ujęciu Leontie’a. Zagadnienie ewentualnej przydatności badań ekonomicznych w warunkach ekonomiki socjalistycznej.

III. Zakończenie

Współczesna ekonomia burżuazyjna — narzędziem w rękach monopolistów. Służebna rola ekonomii burżuazyjnej wobec wielkiego kapitału determinuje jej ograniczony, idealistyczny charakter i nienaukowość.

Kpt. J. NOWICKI

WOJSKOWA DZIAŁALNOŚĆ SDPRR W OKRESIE PIERWSZEJ REWOLUCJI ROSYJSKIEJ

1. Rewolucyjna działalność w szeregach armii na tle leninowskiej teorii powstania zbrojnego. Zrewolucjonizowane oddziały wojskowe, jako zasadnicza część składowa politycznej armii rewolucyjnej. „Rozumie się, jeśli rewolucja nie stanie się masowa i nie ogarnie samego wojska, to nie może być nawet mowy o poważnej walce”. Walka Lenina przeciwko burżuazyjnemu teoriiom „neutralności” i „apolityczności” armii.
Walka Lenina przeciwko mieniszewicko-ceserowskiej interpretacji działalności rewolucyjnej w armii. Podstawowe zadania pracy rewolucyjnej SDPRR w szeregach armii, zmierzające do przeciągnięcia głównej jej części na stronę ludu pracującego.
2. Skład i struktura klasowa armii carskiej w przeddzień pierwszej rewolucji rosyjskiej. Stosunki panujące w tej armii. Formy i metody urabiania żołnierzy na posłuszne narzędzia w ręku caratu. Armia — podstawową oporą absolutyzmu carskiego.
3. Działalność leninowskiej „Iskry” w szeregach armii. Pierwsze doświadczenia propagandy i agitacji rewolucyjnej w wojsku. Powstanie pierwszych organizacji wojskowo-rewolucyjnych (WRO) ważnym szczeblem w działalności wojskowej SDPRR. Znaczenie II Zjazdu SDPRR dla pracy w wojsku.
4. Wybuch wojny rosyjsko-japońskiej powoduje wzrost nastrojów rewolucyjnych w armii. Wykorzystanie tego momentu przez bolszewików. Rozszerzenie agitacji wśród poborowych i rezerwistów. Walka o centralizację działalności wojskowych organizacji rewolucyjnych. Pierwsze wystąpienia żołnierskie („bunt grochowy”).
5. Wybuch rewolucji w 1905 r. a sytuacja w armii. III Zjazd SDPRR i ustalenie taktyki partii w rewolucji burżuazyjno-demokratycznej. Wytyczne III Zjazdu dla rewolucyjnej działalności wojskowej. Dalszy rozwój wystąpień żołnierskich nabierających coraz częściej zabarwienia politycznego. Jednostki marynarki wojennej oraz jednostki techniczne najbardziej podatne na agitację rewolucyjną. Pierwsze powstanie żołnierskie we flocie czarnomorskiej na pancerniku „Potiomkin”. Przebieg, charakter i znaczenie tego powstania. Powstanie na pancerniku „Potiomkin” jako pierwsza „próba utworzenia jądra armii rewolucyjnej” (Lenin).
6. Charakterystyka działalności petersburskiej wojskowej organizacji rewolucyjnej. Powstanie wojskowe w Kronstadzie (październik 1905 r.) Prowokacje rządu carskiego. Zdławienie powstania. Powstanie w Sweaborgu (lipiec 1906). Pomoc petersburskiego komitetu SDPRR dla powstańców w Sweaborgu. Drugie powstanie w Kronstadzie. Jednoczesne wystąpienie marynarzy na krążowniku „Pamięć Azowa” w Rewlu. Działalność wojsko-

¹ Lenin, Dzieła, tom 11, str. 159.

wych organizacji rewolucyjnych w Libawie i Rydze. Powstanie marynary na krążowniku „Bogatyr” w Libawie.

7. Charakterystyka działalności SDPRR na terenie Moskiewskiego okręgu wojskowego. Przygotowywanie żołnierzy do strajku powszechnego i powstania zbrojnego. Wpływ Moskiewskiej Rady Delegatów Robotniczych na działalność wojskową. Ferment w garnizonie moskiewskim na początku grudnia 1905 r. Powstanie Rady Delegatów Żołnierskich w Moskwie. Wybuch powstania grudniowego w Moskwie, a postawa wojska. Próby bratania się z żołnierzami. Zbyt mało energiczna walka o wojsko ze strony bolszewików moskiewskich doprowadza do tego, że garnizon moskiewski nie przechodzi na stronę powstania, lecz zachowuje w zasadzie postawę neutralną. Dalszy rozwój moskiewskiej WRO po powstaniu grudniowym. Struktura organizacyjna moskiewskiej WRO wzorem dla wszystkich organizacji wojskowych. Wystąpienia żołnierskie na terenie okręgu moskiewskiego — Riazan, Tambow, Kaluga, itd.

8. Charakterystyka działalności SDPRR na terenie floty czarnomorskiej. Powstanie w Sewastopolu (listopad 1905 r.). Błędna taktyka biernego wy czekiwania przyczyną klęski powstania sewastopolskiego.

9. Charakterystyka działalności SDPRR w jednostkach wojskowych na Syberii. Stanowisko wojska w czasie powstania grudniowego w Krasnojarsku, Irkutsku i Czele.

Powstanie wojskowe we Władywostoku. Rozdrobniony charakter wystąpień rewolucyjnych na Syberii.

10. Charakterystyka wojskowej działalności SDPRR na ziemiach polskich. Utworzenie WRO w garnizonie siedleckim. Współdziałanie członków SDKPIL i grupy SDPRR w kolportowaniu „Iskry” wśród żołnierzy. Feliks Dzierżyński na czele działalności wojskowej SDKPIL. „Czerwony Sztandar” — organ SDKPIL — kontynuatorem tradycji „Iskry” na odcinku wojskowym. Zawarcie umowy między SDKPIL a SDPRR odnośnie działalności wojskowej.

Odezwy wojskowe ZG SDKPIL przykładem proletariackiego internacjonalizmu i braterstwa broni polskiego i rosyjskiego ruchu robotniczego. Wystąpienia żołnierskie w Warszawie, Puławach, Łodzi, Mławce, Zambrowie, Lublinie i innych miejscowościach. Powstanie Warszawskiej Rady Delegatów Żołnierskich. Działalność WRO na ziemiach polskich pięknym fragmentem tradycji wspólnej walki polskiego i rosyjskiego ludu pracującego o swoją wolność.

11. Próby przeciwdziałania ze strony caratu ruchowi rewolucyjnemu w armii. Nowe metody ofensywy kontrewolucyjnej na froncie ideologicznym. Zwiększenie poboru rekruta. Walka bolszewików przeciwko poborowi pod hasłem „bojkotu rekrutacji”. Rozszerzenie działalności wydawniczej bolszewików odpowiedzią na ofensywę ideologiczną kontrewolucji. Wzrost wydawnictw wojskowych SDPRR. Trudności w pracy wydawniczej: Kola gazet, broszur, ululek i odezw bolszewickich w wojsku. Gazeta „Kazarna” centralnym wojskowym organem bolszewickim. Wpływ bolszewickiej prasy ogólnopartyjnej („Proletarij”, „Wpried”, „Nowaja żizn”) na wojsko.

12. Wzrastająca konieczność scentralizowania działalności bojowej i wojskowej SDPRR. Coraz dotkliwszy brak jednolitego planu działania oraz jednolitego kierownictwa w organizacjach wojskowych. Konflikt między

12

petersburską WRO a mieńszewickim Komitetem Centralnym na tle przygotowań do zjednoczenia organizacji bojowych i wojskowych. Zwolana przez KC konferencja wyłączenia organizacji wojskowych (październik 1906 r.) staje na gruncie żywiołowości powstania zbrojnego oraz neguje rolę organizacji bojowych w powstaniu. Konferencja ta kończy się fiaskiem. Z inicjatywy Lenina w listopadzie 1906 r. odbywa się w Tammerforsie „Pierwsza konferencja wojskowych i bojowych organizacji SDPRR”.

Walka bolszewików na konferencji przeciwko próbom pomniejszenia roli partii w działalności organizacji wojskowych. Znaczenie podstawowych rezolucji konferencji organizacji bojowych i wojskowych. Wybranie „Tymczasowego Biura Organizacji Wojskowych i Bojowych” jako organu kierowniczego w stosunku do wszystkich WRO.

Uogólnienie przez konferencję dotychczasowych doświadczeń w dziedzinie bojowej i wojskowej. Historyczne znaczenie „Pierwszej konferencji wojskowych i bojowych organizacji SDPRR”.

13. Wzrost represji carskich w miarę spadku fali rewolucyjnej. Stopniowe zmniejszanie się zakresu działalności wojskowych organizacji rewolucyjnych w latach 1907—1908.

14. Podstawowe wnioski wypływające z działalności wojskowej SDPRR w latach 1905—07. Brak powiązania wystąpień żołnierskich z ruchem robotniczym i wystąpieniami chłopskimi. Żywioty i lokalny charakter powstań żołnierskich oraz stosowanie przez nich z reguły taktyki biernej obrony, co dawało silne atuty w ręce władz carskich. Trudności wynikające ze szkodliwej działalności eserowców, wzywających do przedwczesnych, awanturnych wystąpień oraz mieńszewików negujących potrzebę organizowania i przygotowywania powstania zbrojnego. Niska świadomość żołnierzy rekrutujących się przeważnie z chłopów, zwłaszcza w jednostkach piechoty i kawalerii.

15. Mimo szeregu braków i błędów, wojskowa działalność SDPRR w latach 1905—07 posiada ogromne znaczenie. Jej rezultatem stało się podważenie tej podstawowej opory caratu, jaką była armia. Działalność rewolucyjna w szeregach armii nie zanika całkowicie po 1907 r., lecz jest w dalszym stopniu podsykana i wydaje swe owoce w 1917 r., kiedy przejście armii na stronę bolszewików zadecydowało o zwycięstwie Wielkiej Październikowej Rewolucji Socjalistycznej.

Kpt. J. BUGAJSKI

NOWE MOMENTY W RADZIECKIEJ NAUCE WOJENNEJ

Wstęp.

Podanie celu i materiałów źródłowych referatu. Konieczność nieustannego rozwoju i doskonalenia radzieckiej nauki wojennej. Osiągnięcia i braki w opracowywaniu teorii wojennej i pracy wojskowo-naukowej w ZSRR i Polsce w okresie powojennym.

1. Obiektywność praw nauki wojennej

Zagadnienie przedmiotu nauki wojennej. Obiektywność praw nauki wojennej i możliwości ich poznania i wykorzystania w różnych warunkach społeczno-ekonomicznych. Zagadnienie podstawowego prawa nauki wojennej.

2. Nasz stosunek do burżuazyjnej nauki wojennej

Wspólne cechy radzieckiej i burżuazyjnej nauki wojennej. Podstawowe różnice między radziecką a burżuazyjną nauką wojenną. Potrzeba wszechstronnej znajomości silnych i słabych stron armii burżuazyjnych.

3. Doświadczenia Wielkiej Wojny Narodowej. Radziecka myśl wojskowa w obliczu pojawienia się nowych technicznych środków walki.

Konieczność głębokiego i prawdziwie naukowego studiowania doświadczeń Wielkiej Wojny Narodowej. Ocena działań bojowych Armii Radzieckiej w początkowym okresie wojny. Rola momentu zaskoczenia we współczesnej wojnie i płynące stąd wnioski dla armii krajów socjalizmu. Dalszy wzrost roli stale działających czynników decydujących o wyniku wojny. Konieczność opanowywania przez dowódców techniki bojowej wszystkich rodzajów sił zbrojnych i rodzajów wojsk. Konieczność dalszego opracowywania rzeczywiście naukowej teorii szkolenia i wychowywania wojsk.

14

Ppłk mgr CZ. MOJSIEWICZ

EDWARD DEMBOWSKI — CZOŁOWY POLSKI REWOLUCYJNY DEMOKRATA

(w 110 rocznicę śmierci)

W lutym 1956 r. mija 110 rocznica Rewolucji Krakowskiej 1846 r. i jednocześnie śmierci czołowego jej przywódcy — Edwarda Dembowskiego. Jest on uosobieniem tego co szlachetne i piękne w narodzie polskim w latach 40—50-tych XIX w.

1. Krótka charakterystyka sytuacji społeczno-politycznej w latach 40-tych XIX w. na ziemiach polskich

Zasadnicze zadanie tego okresu — problem odzyskania niepodległości Polski w oparciu o rewolucyjne rozwiązanie kwestii chłopskiej, o rewolucję agrarną. Jedność zadań walki o obalenie feudalizmu i wyzwolenie narodowe. Polska „rewolucyjną częścią Rosji, Austrii i Prus” (Marks). Antynarodowe stanowisko obozu reakcyjnego (koła obszarncze i czartoryszczyzna). Krótka charakterystyka stanowiska „półśrodkowców” i rewolucyjnych demokratów.

2. Edward Dembowski jako działacz rewolucyjno-demokratyczny do okresu galicyjskiego

Lata młodzieńcze. Praca w „Przeglądzie Naukowym” i Stowarzyszeniu Ludu Polskiego. Rewolucyjna działalność w Poznańskim w latach 1843—1845. Działalność w Związku Plebejuszy. Działalność publicystyczna. Walka o Komitet Poznański Libelta. Walka z reakcją i chwilejnością ugrupowań półśrodkowych.

3. Rozwój ideologiczny Dembowskiego i jego poglądy społeczno-filozoficzne

Dorobek polskiej postępowej myśli społeczno-filozoficznej, szczególnie okresu Oświecenia oraz czołowe osiągnięcia filozofii niemieckiej (Kant, Schelling, Hegel) tworzyłem teoretycznym do kształtowania się poglądów społeczno-politycznych i filozoficznych Dembowskiego.

Głęboki patriotyzm, umiłowanie sprawy wyzwolenia ludu polskiego — decydującym czynnikiem określającym materialistyczny i dialektyczny światopogląd Dembowskiego.

Decydujący wpływ coraz ściślejszego wiązania się z walką rewolucyjną na kształtowanie i dojrzewanie poglądów Dembowskiego. Konieczność rozwojowego ujmowania jego poglądów. Zainteresowania przyrodnicze Dembowskiego. Krytyka kościoła katolickiego, religii i mesjanizmu. Materializm

15

Dembowskiego. Elementy dialektyki w filozofii Dembowskiego — (zagadnienie rozwoju poprzez walkę przeciwności i krytyka różnych postaci eklektyzmu). Poglądy na społeczeństwo i rewolucję ludową.

4. Edward Dembowski jako przywódca Rewolucji Krakowskiej 1846 r.

Działalność agitacyjna Dembowskiego na terenie Galicji. Walka ze szlachecką ograniczonością działaczy TDP w przygotowaniu rewolucji. Głęboka wiara Dembowskiego w rewolucyjność ludu. Współpraca Dembowskiego z Goslarem. Udział w kierownictwie Rewolucji Krakowskiej 1846 r., jego wpływ i rola w publikacji zasadniczych dokumentów Rządu Narodowego. Najdojrzalsze poglądy rewolucyjne w artykule „Rewolucja i Lud” i odezwie „Dyktator do wszystkich Polaków umiejących czytać”. Śmierć Dembowskiego z ręki wojsk austriackich. Ocena Rewolucji Krakowskiej przez Marksa i Engelsa.

Zakończenie

Edward Dembowski — ofiarny i bohaterski rewolucyjny demokrat — jedna z najpiękniejszych postaci postępowych w rewolucyjnych tradycjach narodu polskiego, wzór dla młodzieży polskiej, dla młodzieży wojskowej. Marzenia Dembowskiego o wybudowaniu „społeczeństwa, w którym każdy podług zasług i zdolności z dóbr ziemskich będzie mógł użytkować, a przywilej żaden i pod żadnym kształtem mieć nie będzie miejsca” — realizuje Polska Ludowa, budując ustrój socjalistyczny.

TEZY DO REFERATÓW
SEKCJI II*)

* Tezy do powyższych referatów są opublikowane w Biuletynie W.A.T. nr 2B (59).

2 — Biuletyn W.A.T. nr 1

TEZY DO REFERATÓW
SEKCJI II

(PODSEKCJA CHEMICZNA I MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH)

Prof. dr T. URBĄSKI

**O BUDOWIE NIEKTÓRYCH ZWIĄZKÓW NITROWYCH W OPARCIU
O BADANIE WIDMA ABSORPCJI W PODCZERWENI**

Widma absorpcji w podczerwieni wykonane dla szeregu nitroalkoholi, pochodnych nitroparafinów potwierdzają hipotezę poprzednio wysuniętą przez autora (dyskusja na temat budowy związków organicznych, WAT 1953) o istnieniu wiązań wodorowych między grupą nitrową a grupami alkoholowymi.

Oto najważniejsze wnioski wypływające ze zbadania widma absorpcji w podczerwieni kilku nitroparafinów i nitroalkoholi, utworzonych przez przyłączenie formaldehydu do nitroparafin oraz pentaerytrytu:

1. Pasmo 3450 cm^{-1} charakterystyczne dla grupy OH staje się bardzo słabe w razie obecności dwóch grup OH i grupy nitrowej w cząsteczce.
2. Pasmo 1567 cm^{-1} charakterystyczne dla grupy nitrowej ulega przesunięciu do $1543\text{--}1555\text{ cm}^{-1}$ w razie obecności w cząsteczce dwóch grup OH, które mogą z grupą nitrową tworzyć pierścienie chelatowe sześciocłonowe.
3. Wiązanie C-H lub $\begin{matrix} \text{H} \\ \diagdown \\ \text{C} \\ \diagup \\ \text{H} \end{matrix}$ węgla z wodorem aktywnym lub wodorami aktywnymi w nitroparafinach daje pasmo absorpcji 3704 cm^{-1} albo 4167 cm^{-1} zależnie od budowy związku.
4. Bardzo słaba linia absorpcji 6897 cm^{-1} , albo 6993 cm^{-1} , albo 7143 cm^{-1} spowodowana jest prawdopodobnie grupą wodorotlenową lub też wiązaniem wodorowym.

Kpt. mgr. inż. J. STANUCH

**REAKCJE WYBUCHOWE POD CIŚNIENIEM PONIZEJ
ATMOSFERYCZNEGO**

1. Celem pracy jest zbadanie zachowania się materiałów kruszących i inicjujących pod ciśnieniami poniżej atmosferycznego, w szczególności w wysokości próżni rzędu do 0,00001 mm Hg, pod działaniem pewnego szczególnego rodzaju impulsów cieplnych (zapalenie w jednym punkcie). Odnosnie zachowania się materiałów inicjujących w tych warunkach istnieją poważne rozbieżności i sprzeczności. Tak np. Muraour i Schumacher znajdują, że materiały inicjujące palą się pod ciśnieniem rzędu 0,0001 mm Hg i to palenie przechodzi w detonację, natomiast Burlot twierdzi, że „poniżej pewnego krańcowego ciśnienia rozpad masowy (poprzez deflagrację lub przez detonację) prochów albo materiałów wybuchowych nie może być pobudzony przez zetknięcie z płomieniem lub ciałem rozpalonym, jeżeli ta styczność jest krótkotrwała”.

2. W celu usunięcia istniejących rozbieżności i uzyskania jednoznacznych wyników, zaprojektowano specjalną aparaturę wysokiej próżni i przeprowadzono serię pomiarów dla kilkunastu typowych materiałów inicjujących i kruszących.

Wyjaśnienie tego zagadnienia może rzucić nieco światła na mechanizm rozprzestrzeniania się reakcji wybuchowych w materiałach inicjujących, w szczególności na mechanizm przeniesienia energii aktywacji.

22

Kpt. mgr. inż. ST. PROBULSKI

NOWA METODA OCENY WŁASNOŚCI PALIW SILNIKOWYCH

Obecnie stosowane metody oceny własności paliw ciekłych, zalety ich i wady. Związek zjawiska odparowania kropli paliwa z przebiegiem tworzenia mieszanki palnej i procesem spalania w różnych typach silników. Zdolność paliwa, będącego w postaci kropli, do odparowania, stanowi istotną jego cechę i jest podstawą klasyfikacji w nowej metodzie.

Przegląd historyczny prac dotyczących odparowania w ogóle ze specjalnym uwzględnieniem odparowania cieczy w postaci kropli. Porównanie wzorów podanych przez badaczy: Maxwella, Stefana, Sresnewskiego, Langmuira, Knudsen, Topley i Whytlaw — Gray.

Poprawki wprowadzone przez Fuchsa, dotyczące odparowania kropli w szczególnych przypadkach.

Współczesne prace omawiające odparowanie kropli paliw silnikowych oraz metody pomiarowe stosowane przez: Wentzla, Wirubowa, Herstada, Topssa, Pennera i Hartwiga.

Zamierzenie autora opracowania metody klasyfikacji paliw w sposób prostszy, tańszy i wygodniejszy, możliwy do przeprowadzenia w każdych warunkach. Dalszym celem autora jest wyeliminowanie wpływu sposobu wykonywania pomiaru i własności paliw wzorcowych, a powiązanie w proponowanej metodzie klasyfikacji bezpośrednio z budową cząsteczki paliwa.

Określenie pojęcia funkcji τ , będącej podstawą nowej klasyfikacji paliw, jako stosunku czasów odparowania kropli o jednakowych średnicach, badanego paliwa i benzenu, wyznaczonych na tym samym stanowisku pomiarowym w warunkach znormalizowanych.

Niektóre szczegóły parowania kropli w stanie sferoidalnym, cieczy jednorodnych i mieszanin. Wykres funkcji $\tau = f(d)$. Pomiar czasu parowania kropli w stanie sferoidalnym jako podstawa do wyznaczania wartości funkcji dla paliw i ich składników. Związek pomiędzy średnicą kropli a czasem jej odparowania w stanie sferoidalnym. Przebieg tej funkcji dla kropli o małych średnicach.

Analogia pomiędzy parowaniem kropli w stanie sferoidalnym a w strumieniu gazu. Przykłady porównujące wyniki otrzymane przez różnych badaczy przy pomiarze parowania kropli w ruchu w ośrodku gazowym i wyników uzyskanych przy pomiarze parowania w stanie sferoidalnym.

Trudności w użyciu wzorów teoretycznych przy dokładnym wyznaczeniu czasu parowania kropli paliw. Korzyści z zastosowania pomiaru parowania w stanie sferoidalnym, zwłaszcza przy badaniu paliw. Metoda laboratoryjna wyznaczania wartości funkcji τ .

Związek pomiędzy funkcją τ a liczbą oktanową i cetanową paliwa. Hipoteza wyjaśniająca podstawy tej zależności. Przykłady ilustrujące tę zależność dla benzyny B-70, czystej i z dodatkami oleju MS-20. Wyznaczenie

23

wartości funkcji τ dla benzyny B-70 i jej frakcji, jako podstawy przy klasyfikacji w produkcji paliw o określonych własnościach i metody przybliżonego wyznaczenia składu chemicznego frakcji.

Związek pomiędzy czasem parowania kropli a parachorą i wnioski wynikające z charakteru tej zależności dla szeregu związków chemicznych.

Projekt znormalizowanego stanowiska pomiarowego i metody wyznaczenia normalnej wartości funkcji τ dla paliw.

Mgr Z. NOWAK

O PEWNYCH REAKCJACH SILANÓW ORAZ TRWAŁOŚCI SILANÓW W ZALEŻNOŚCI OD PODSTAWNIKÓW ZWIĄZANYCH Z KRZEMEM

Wstęp teoretyczny na podstawie danych z literatury:
Otrzymywanie związków krzemowodorowych i ich własności. Charakter i energia wiązania Si—H. Energia wiązania Si—Si.

Wiązanie Si—C. Wpływ podstawników na trwałość wiązania Si—C. Pewne własności fizyczne alkiilo i arylosilanów. Chlorosilany. Charakter wiązania Si—hal. Wprowadzanie chlorowca do podstawników alkiilowych i arylowych związanych z krzemem. Wpływ położenia chlorowca na trwałość silanu. Silazany. Związki z grupą aminową w podstawniku. Teoria hydrolytycznego rozkładu związków krzemooorganicznych. Silanole. Wpływ ilości grup hydroksylowych związanych z krzemem na trwałość silanolu.

Wiązanie Si—O. Estry i bezwodniki kwasu ortokrzemowego. Sulfonowanie arylosilanów. O reakcjach silanów pod wpływem kwasu siarkowego. Nitrowanie związków krzemooorganicznych. Wpływ położenia grupy nitrowej na trwałość związku krzemooorganicznego. Badania autora nad reakcją rozkładu związków dwuazotowych pod wpływem SiCl_4 . Badanie możliwości podstawienia krzemu w miejsce grupy N_2X w zależności od podstawników związanych z fenylem.

Reakcje halogenosilanów z azotynem i azotanem srebra. Własności chemiczne i fizyczne otrzymanych związków. Wnioski.

Pról. dr K. OKON

**O NIEKTÓRYCH REAKCJACH POCHODNYCH AROMATYCZNYCH
W ŚRODOWISKU PIRYDYNY**

1. O otrzymywaniu i właściwościach połączeń wodorowych niektórych pochodnych fenoli z pirydyną. Przegląd dotychczasowej literatury chemicznej i wyniki własnych doświadczeń autora.

2. O otrzymywaniu i właściwościach soli powstałych z niektórych pochodnych chlorobenzenu i pirydyny.

Przegląd dotychczasowej literatury chemicznej i wyniki własnych doświadczeń autora.

3. Celem niniejszej pracy jest zbadanie możliwości reakcji połączeń wodorowych niektórych pochodnych fenoli z pirydyną (o których mowa w punkcie 1) oraz soli powstałych z niektórych pochodnych chlorobenzenu i pirydyny (o których mowa w punkcie 2). Reakcje przeprowadzono w różnych środowiskach. Wyniki doświadczeń.

Kpt. mgr Z. SZCZUCKI

**O NIEKTÓRYCH POCHODNYCH SULFOIMIDÓW
AROMATYCZNYCH**

1. Przegląd sulfoimidów aromatycznych. Własności chemiczne: acylowanie, chlorowanie, nitrowanie, hydroliza, kondensacje. Zastosowania praktyczne: barwniki supraminowe i supranolowe, sulfamidy jako ciała bakteriostatyczne, garbniki.

2. Metody otrzymywania różnych pochodnych sulfoimidów. Kondensacje pochodnych sulfochlorków z pochodnymi aniliny. Otrzymanie pitropochodnych sulfoimidów.

3. Reakcje wodoru imidowego. Kondensacje sulfoimidów z chlorkiem pikrylu i z chlorodunitrobenzenem.

4. Nektóre własności otrzymanych sulfoimidów, tworzenie się soli, hydroliza.

Inż. H. MAJDA

ESTRY NITROFENOLI I KWASU FOSFOROWEGO

1. Przegląd dotychczasowej literatury chemicznej z dziedziny bezpośredniego przyrządzenia estrów nitrofenoli i kwasu fosforowego. Na szczególną uwagę zasługuje reakcja p-nitrofenolu z POCl_3 — praca: G. Ramon Cebrian (Inst. Alonso Borbo Madrid) 47.B, 841-6 (1951) oraz reakcja p-nitrofenolu z POCl_3 w środowisku pirydyny — praca: Otto Bessey and Ruth Lore — (J. Biol. Chem. 196, 175—8 (1952)).
2. Próby przyrządzenia estrów różnych nitrofenoli i kwasu fosforowego wychodząc z chloropochodnych nitrozwiązków aromatycznych i fosforanów.
Reakcje prowadzono w różnych rozpuszczalnikach.
3. Próby przyrządzenia estrów różnych nitrofenoli i kwasu fosforowego wychodząc z soli sodowych różnych nitrofenoli i POCl_3 . Reakcje prowadzono w różnych rozpuszczalnikach.

28

Mgr R. BROSKIEWICZ

O NITROPOCHODNYCH 4,4' DWUBROMODWUFENYLU I 4,4' DWUAMINODWUFENYLU

1. Przegląd różnic i podobieństw benzenu i jego pochodnych w zestawieniu z dwufenylem i jego pochodnymi. Metody otrzymywania dwufenyli i jego pochodnych.
2. Metody otrzymywania opisanych w literaturze chemicznej nitropochodnych dwufenyli i jego pochodnych aminowych, halogenowych, hydroksylowych- i metylowych podstawionych w pozycji 4,4'.
3. Zastosowane przez autora metody nitrowania 4,4' dwubromodwufenyli i benzydyny. Omówienie wyników tych doświadczeń.
4. Zachowanie się wymienionych w pkt. 3 związków pod wpływem środków nitrujących, trwałość wiązania C—C między pierścieniami, ruchliwość heteroatomów pod wpływem nitracji.

29

TEZY DO REFERATÓW
SEKCJI III

Kpt. mgr inż. B. NOWAK

**NIEKTÓRE WŁASNOŚCI ELEKTROLITYCZNYCH POWŁOK
STALOWYCH ROZPATRYWANE Z PUNKTU WIDZENIA ICH
PRZYDATNOŚCI DO REGENERACJI CZĘŚCI SAMOCHODÓW
I CZOLGÓW.**

I.

Referat ma na celu omówienie wyników eksperymentalnych badań.

Jest szereg znanych i stosowanych sposobów regeneracji części samochodowych i czołgowych. Każdy z tych sposobów ma swoje zalety i wady w mniejszym lub większym stopniu ograniczające zakres jego stosowania, o czym była mowa w referacie pt. „Zelazowanie i stalowanie oraz perspektywy zastosowania tych procesów do naprawy części czołgowych”.

Porównanie elektrolitycznego stalowania z innymi sposobami regeneracji części wypadła pod wieloma względami na korzyść tego pierwszego.

Badania, na podstawie których opracowano wyżej wspomniany referat, miały charakter badań wstępnych i ogólnikowych, co wynikało głównie na skutek braku odpowiednich urządzeń.

Zasadniczy nacisk położono przy tym na określenie własności mechanicznych powłok stalowych, otrzymywanych z elektrolitów chlorowych, zawierających w swoim składzie tylko jeden składnik organiczny, a mianowicie sacharozę. Wpływ stężenia sacharozы w elektrolicie na procentową zawartość węgla w powłoce stalowej (wzrost stężenia sacharozы powoduje wzrost procentowej zawartości węgla) określono na podstawie tych 3 prób, co świadczy o tym, że wyniki tych prób mogą mieć charakter jedynie orientacyjny.

Struktura powłok stalowych, które otrzymywaliśmy w wyżej wymienionym elektrolicie, charakteryzowała się układem warstwicowym i drobnoziarnistością. Między strukturą powłok normalizowanych (temp. 900°C) i strukturą powłok hartowanych (temp. 900°C, studzenie w wodzie) nie zaobserwowano żadnych istotnych różnic, jednak wzrost twardości z $H_v = 160 \text{ kg/mm}^2$ do $H_v = 450 \text{ kg/mm}^2$ wskazuje na to, że jakieś zmiany w strukturze musiały zajść. Mimo szeregu przeprowadzonych specjalnie w tym kierunku prób, obecności martenzytu w strukturze powłoki hartowanej nie wykryliśmy.

Wpływ powłoki stalowej na własności wytrzymałościowe, wyznaczone na podstawie próby rozciągania, jak się przekonaliśmy, zależny jest od rodzaju materiału powleczonego i może się objawiać obniżeniem, bądź podwyższeniem Q , R , i R_2 w granicach $\pm 6\%$. Pęknięcie powłoki stalowej, które występowało wtedy, gdy materiał powleczone osiągał granicę plastyczności, świadczy o jej kruchości. Podobny wpływ powłoki stalowej na własności wytrzymałościowe zaobserwowano przy próbach zginania.

Oprócz prób w elektrolitach z jednym składnikiem organicznym (sacharozą), przeprowadzono również próby w elektrolitach z dwoma składni-

kami organicznymi (sacharozą i gliceryną), jednak ze względu na bardzo skromny zakres, wyniki mają charakter raczej hipotetyczny i trudno by je było przyjąć za podstawę do wysnucia jakichkolwiek wniosków.

II.

Badania drugiego etapu, na podstawie których opracowany będzie niniejszy referat, wykonywane są w elektrolizie o określonym składzie chemicznym w celu:

1. ustalenia wpływu stężenia związków organicznych w powłoce stalowej;
2. ustalenia wpływu procentowej zawartości węgla w anodzie na procentową zawartość węgla w powłoce;
3. ustalenia wpływu procentowej zawartości węgla w powłoce na jej twardość i strukturę;
4. ustalenia wpływu sposobu przygotowania powierzchni na przyczepność powłoki;
5. ustalenia wpływu procentowej zawartości węgla w powłoce na jej przyczepność;
6. ustalenia wpływu stężenia związków organicznych w elektrolizie na jego wydajność prądową.

Rozwiązanie wszystkich problemów dotychczas nie wyjaśnionych, nasuwających się w związku z elektrolitycznym stalowaniem, w naszych skromnych, zarówno pod względem wyposażenia, jak i pod względem dysponowanych czasu, warunkach, jest niemożliwe. Biorąc to pod uwagę, jak wane go czasu, warunkach, jest niemożliwe. Biorąc to pod uwagę, jak wane go czasu, warunkach, jest niemożliwe. Biorąc to pod uwagę, jak wane go czasu, warunkach, jest niemożliwe.

również opierając się na sugestiach wyrażonych w artykule J. Pietrowa pt. „Isledowanie kaczestwa pokrytill pocuzonych putiem ostaliwania” (Awtomobil’ Nr. 2, r. 1951), założono, że najkorzystniejszy skład chemiczny elektrolitu jest następujący:

FeCl ₂ · 4H ₂ O	= 250 — 600 g/l
NaCl	= 100 — 150 g/l
Gliceryna	= 60 — 160 g/l
Sacharozą	= 20 — 110 g/l
HCl	= 0,8 — 1,4 g/l,

a najkorzystniejsze warunki elektrolizy:

temp. elektrolitu $t = 70-90^{\circ}\text{C}$,
kątowa gęstość prądu $D_k = 10-20 \text{ A/dcm}^2$,
anoda — żelazo elektrolityczne bądź stal malowęgłowa.

Cel badań drugiego etapu, określony wyżej w punktach od 1—6, jest. Cel badań drugiego etapu, określony wyżej w punktach od 1—6, jest. Cel badań drugiego etapu, określony wyżej w punktach od 1—6, jest. Cel badań drugiego etapu, określony wyżej w punktach od 1—6, jest.

III.

W celu określenia wpływu stężenia związków organicznych w elektrolizie na procentową zawartość węgla w powłoce stalowej, wykonano z blachy stalowej odpowiednie próbki powlekane w elektrolitach o zmienia-

jącym się, w zakresie od 20—110 g/l, stężeniu sacharozą i w elektrolitach o zmieniającym się, w zakresie od 60—160 g/l, stężeniu gliceryny. Otrzymane w ten sposób powłoki, po zdjęciu ich z próbek poddajemy spalaniu w piecu siłowym, w atmosferze tlenu. Z przyrostu ciężaru askarytu (szest sodowany), przez który przepuszczamy spalinę, oznaczamy procentową zawartość węgla w powłoce stalowej (metoda ciężarowa).

Jak wynika z dotychczasowych wyników, wzrost stężenia sacharozą w elektrolizie powoduje w przybliżeniu proporcjonalny wzrost procentowej zawartości węgla w powłoce. Niektóre wyniki przedstawione są w załączonej tabeli:

Stężenie sacharozą w g/l roztworu	Procentowa zawartość węgla w powłoce
20	0,13
40	0,38
80	0,73
110	1,06

Wzrost stężenia gliceryny w elektrolizie nie wywiera większego wpływu na procentową zawartość węgla.

Obecność węgla w anodzie również nie wpływa w większym stopniu na procentową zawartość jego w powłoce stalowej, o czym przekonaliśmy się po spalaniu powłok otrzymanych w normalnym elektrolizie chlorowym, nie zawierającym w swoim składzie związków organicznych. Jako anody użyliśmy w tym wypadku żeliwa szarego o zawartości około 3,5% węgla.

Badania struktury powłok otrzymanych w elektrolitach o różnych stężeniach poszczególnych składników wskazują na to, że ma ona charakter warstwicowy i jest drobnoziarnista. Normalizacja próbek przeprowadzana w temp. 800—900° C powoduje zanik warstwicowości. Hartowanie przeprowadzane w różnych warunkach temperatur 800—1000° C i czasu przetrzymywania w tych temperaturach od 0,5 do 2 godzin ze studzeniem w wodzie, nie doprowadziło do stwierdzenia obecności martenzytu w strukturze powłoki.

Określenie przyczepności powłoki do podłoża jest dość kłopotliwe. Pierwsze próby, które wykonaliśmy stosując metodę opisaną przez Mielkova w książce pt. „Wosstanowienie dietalej awtomobiliej elektrolitczeskim ostaliwaniem” nie doprowadziły do pozytywnych rezultatów, co zmusiło nas do opracowania własnej metody badań, którą dotychczas z powodzeniem stosujemy. Dokładny opis tej metody, jak również jej zalety i wady w porównaniu z metodą opisaną przez Mielkova podamy w referacie. Badania przyczepności powłok nie są jeszcze zakończone, jednak już teraz można stwierdzić, że stalowe powłoki elektrolityczne w porównaniu z żelaznymi powłokami elektrolitycznymi wykazują znacznie mniejszą przyczepność, co jest bardzo poważną ich wadą. Porównanie przyczepności powłok stalowych otrzymywanych na podłożach toczonych zgrubnie, toczonych gładko i szlifowanych, doprowadza nas do stwierdzenia, że osiągają one największą wartość na podłożach toczonych zgrubnie.

Wydajność prądowa elektrolitu wraz ze wzrostem stężenia sacharozy od 20 g/l do 60 g/l rośnie, po czym zaczyna maleć. Podobnie jest z gliceryną; wydajność prądowa osiąga maksimum przy stężeniu gliceryny wynoszącym 80 g/l.

IV.

Na podstawie dotychczasowych wyników można stwierdzić, że procentowa zawartość węgla w powłoce stalowej zależy wyłącznie od stężenia sacharozy w elektrolicie; ani skład chemiczny anody, ani stężenie gliceryny w elektrolicie (wtedy, gdy jest ona jedynym składnikiem organicznym) nie mają na to wpływu.

Hartowanie elektrolitycznych powłok stalowych nie doprowadziło do pożądanego rezultatu. Przypuszczać należy, że w powłoce występuje węgiel w stanie swobodnym i niemożliwość uzyskania martenzytu wiąże się z trudnością przeprowadzania węgla do roztworu. W najbliższej przyszłości mamy zamiar znacznie zwiększyć czas przetrzymywania próbek w temp. normalizacji; żeby jednak zapobiec możliwości wypalania się węgla ze stosunkowo cienkiej powłoki, wygrzewanie przeprowadzać będziemy w atmosferze redukującej.

Przyczynność elektrolitycznej powłoki stalowej, która pozostawia wiele do życzenia, a która jest czynnikiem bardzo ważnym, jeśli brać pod uwagę możliwość wykorzystania elektrolitycznego stalowania do regeneracji części samochodowych i czołgowych, może stać się przyczyną konieczności zmiany kierunku badań.

Powłoki żelazne posiadają kilkakrotnie większą przyczynność niż powłoki stalowe, ale ze względu na ich stosunkowo złe własności mechaniczne, nie mogą być wykorzystane do regeneracji odpowiedzialnych części samochodowych i czołgowych. Poszukiwania poprawy tych własności mechanicznych na drodze wprowadzenia węgla do powłoki z elektrolitu z wyżej wymienionym składem chemicznym nie doprowadzają do pożądanego rezultatu, czego zresztą ostatecznie stwierdzić nie możemy, ponieważ badania nie są zakończone.

Jednym z kierunków, który w tej chwili wydaje nam się realny, jest poszukiwanie poprawy własności mechanicznych powłok żelaznych na drodze elektrolitycznego wprowadzenia składników stopowych.

Osiągnięcie pozytywnych rezultatów w zakresie dobrych własności mechanicznych jak i dobrej przyczynności powłok stalowych, warunkuje możliwość przystąpienia do wykonywania prób eksploatacyjnych. Dopiero próby eksploatacyjne, które będą stanowiły ostatni etap naszej pracy, zdecydują ostatecznie o tym, czy elektrolityczne powłoki stalowe będą mogły być wykorzystane do regeneracji części samochodowych i czołgowych.

Kpt. inż. H. SZEWCZYK

METODY ŁADOWANIA BATERII AKUMULATOROWYCH

Wstęp

Instalacja i urządzenia elektryczne stanowią ważny element konstrukcyjny współczesnego czołgu. Od sprawności urządzeń elektrycznych w dużej mierze zależy gotowość bojowa czołgów.

Istnieje uzasadniona tendencja stałego powiększania ilości i mocy zainstalowanych w czołgach urządzeń elektrycznych. W związku z tym powstaje problem powiększenia mocy źródła energii elektrycznej czołgu. Można to uzyskać powiększając moc prądnicy lub zwiększając pojemność baterii akumulatorowych, względnie jedno i drugie. W czołgu z uwagi na brak miejsca jest to bardzo trudne do zrealizowania. Szczególnie ustawienie baterii akumulatorowych o większej pojemności napotykałoby na duże trudności. Powiększenie mocy prądnicy oraz powiększenie prądu ładowania baterii pozwoliłoby przy dotychczasowych bateriach akumulatorowych poprawić bilans energetyczny, a przez to lepiej wykorzystać istniejące urządzenia elektryczne oraz instalować nowe.

1. Ładowanie czołgowych baterii akumulatorowych

Dotychczas akumulatory wozów bojowych ładowane są z prądnicy napędzanej od silnika spalinowego podczas pracy wozu. Jednak na skutek używania odbiorników o stosunkowo dużych mocach oraz na skutek samorozładowania baterii, bilans energetyczny baterii jest ujemny. Z tego powodu baterie akumulatorowe pojazdów wojskowych przechodzą ciągłe ładowanie lub w miarę potrzeby ładowane są częściowo. Istnieją zasadniczo dwie metody ładowania baterii akumulatorowych:

- Ładowanie baterii przy stałym natężeniu prądu,
- Ładowanie baterii przy stałym napięciu.

Ładowanie stałym prądem może być jedno lub wielostopniowe. Jest to sposób najczęściej używany w ładowniach akumulatorów. Cechuje go długi czas ładowania oraz znaczne straty mocy na opornicy regulacyjnej.

Ładowanie przy stałym napięciu lub ładowanie z oporem stabilizującym znacznie upraszcza proces ładowania baterii, odpada bowiem konieczność regulowania napięcia i zmniejsza znacznie straty mocy na oporach. Sposób ten poza tym pozwala na skrócenie czasu ładowania.

Zasadniczą wadą tego sposobu jest konieczność posiadania źródeł ładowanych o dużej mocy i nienaladowanie baterii do końca.

Podobnie w czołgu baterie mogą być ładowane tymi sposobami. Przy czym obecnie, szczególnie w czołgach, stosuje się ładowanie przy stałym napięciu, stosując wielkość napięcia około 2,4 V na 1 ogniwo oraz ogra-

niezając maksymalny prąd do wartości (40--52) A. Wartość tego prądu wynika głównie z mocy prądnic.

Mimo to bilans energetyczny w czolgu pozostaje nadal ujemny. Należałoby zatem stosować jeszcze wyższe prądy ładowania szczególnie wtedy, gdy bateria jest znacznie wyladowana.

Z możliwością ładowania dużymi prądami należy się liczyć w następujących przypadkach:

- a. Przy ładowaniu w czolgu, używając prądnic o większej mocy.
- b. Przy użyciu zespołu ładującego wewnątrz czolgu.
- c. Przy ładowaniu akumulatorów na czolgu źródłem znajdującym się na zewnątrz czolgu.
- d. Na stacjach ładowania, gdy zachodzi potrzeba szybkiego naładowania baterii.

2. Próby z bateriami ładowanymi przy stałym napięciu

Dotychczas istnieje opinia, że ładowanie baterii akumulatorów dużymi prądami szkodzi bateriom, powodując zmniejszenie ich pojemności i zmniejszenie okresu używalności.

W celu określenia, jak daleko idące są te zmiany przy zwiększonym prądzie ładowania, przeprowadzono badania, ładując i rozładując baterie akumulatorowe. Baterie akumulatorowe ładowane przy stałym napięciu porównano z bateriami ładowanymi w tych samych warunkach, lecz przy stałym natężeniu prądu.

Użyte do tych prób baterie przeszły sto kolejnych cykli ładowania i rozładowania. Wielkość prądu ładującego dla jednej grupy przekraczała 8 A, tj. wartości 15-godzinnego prądu ładowania. Drugą grupę baterii ładowano przy stałym napięciu 2,4 V na 1 ogniwo baterii bez stosowania ogranicznika prądu. Prąd przy tym dochodził do 120 A.

Poszczególne baterie rozładowywane były indywidualnie w warunkach bardzo zbliżonych do wyladowań, jakim podlegają one podczas pracy w czolgu.

3. Wyniki prób

Stwierdzono, że baterie akumulatorowe poddane ładowaniu przy stałym napięciu posiadają pojemność wyladowania nie mniejszą od baterii ładowanych przy stałym natężeniu prądu. Jednak przy wielokrotnym powtórzeniu ładowania prądami o dużych wartościach, pojemność tych baterii stale maleje. Malenie to początkowo nieznaczne i wynoszące 5--8% pojemności po 50-tu cyklach ładowania, osiągnęło wartość około 30% pojemności przy 100 cyklach.

Przypuszcza się, że strata pojemności tych baterii spowodowana jest na tym, iż przy dużych prądach ładowania reakcje chemiczne zachodzą na powierzchniach płyt akumulatora, niedostatecznie przenikając do głębi pór masy czynnej.

Wobec tego zmniejszenie pojemności tych baterii nie jest stałe i przy dalszym ładowaniu mniejszym prądem można by im przywrócić dawną pojemność.

Wnioski

1. Ładowanie baterii przy stałym napięciu, a więc większymi prądami, ładującymi baterie w stanie rozładowanym, powoduje obniżenie jej pojemności. Obniżenie to nie jest bardzo znaczne i mogłoby być w dużym stopniu usunięte, gdyby co kilkanaście cykli stosować cykl kontrolno-odświeżający.
2. Przy ładowaniu baterii w czolgu, w celu umożliwienia lepszego wykorzystania urządzeń elektrycznych, należy stosować metodę ładowania przy stałym napięciu i powiększyć maksymalny prąd ładowania.
3. Na stacjach ładowania stosować raczej ładowanie przy stałym natężeniu prądu.

niezając maksymalny prąd do wartości (40-52) A. Wartość tego prądu wynika głównie z mocy prądnic.

Mimo to bilans energetyczny w czołgu pozostaje nadal ujemny. Należy żądać zatem stosować jeszcze wyższe prądy ładowania szczególnie wtedy, gdy bateria jest znacznie wyladowana.

Z możliwością ładowania dużymi prądami należy się liczyć w następujących przypadkach:

- a. Przy ładowaniu w czołgu, używając prądnic o większej mocy.
- b. Przy użyciu zespołu ładującego wewnątrz czołgu.
- c. Przy ładowaniu akumulatorów na czołgu źródłem znajdującym się na zewnątrz czołgu.
- d. Na stacjach ładowania, gdy zachodzi potrzeba szybkiego naładowania baterii.

2. Próby z bateriami ładowanymi przy stałym napięciu

Dotychczas istnieje opinia, że ładowanie baterii akumulatorów dużymi prądami szkodzi bateriom, powodując zmniejszenie ich pojemności i zmniejszenie okresu używalności.

W celu określenia, jak daleko idące są te zmiany przy zwiększonym prądzie ładowania, przeprowadzono badania, ładując i rozładując baterie akumulatorowe. Baterie akumulatorowe ładowane przy stałym napięciu porównano z bateriami ładowanymi w tych samych warunkach, lecz przy stałym natężeniu prądu.

Użyte do tych prób baterie przeszły sto kolejnych cykli ładowania i rozładowania. Wielkość prądu ładującego dla jednej grupy nie przekraczała 8 A, tj. wartości 15-godzinnego prądu ładowania. Drugą grupę baterii ładowano przy stałym napięciu 2,4 V na 1 ogniwo baterii bez stosowania ogranicznika prądu. Prąd przy tym dochodził do 120 A.

Poszczególne baterie rozładowywane były indywidualnie w warunkach bardzo zbliżonych do wyladowań, jakim podlegają one podczas pracy w czołgu.

3. Wyniki prób

Stwierdzono, że baterie akumulatorowe poddane ładowaniu przy stałym napięciu posiadają pojemność wyladowania nie mniejszą od baterii ładowanych przy stałym natężeniu prądu. Jednak przy wielokrotnym powtórzeniu ładowania prądami o dużych wartościach, pojemność tych baterii stale maleje. Malenie to początkowo nieznaczne i wynoszące 5-8% pojemności po 50-ciu cyklach ładowania, osiągnęło wartość około 30% pojemności przy 100 cyklach.

Przyпуска się, że strata pojemności tych baterii spowodowana jest tym, iż przy dużych prądach ładowania reakcje chemiczne zachodzą na powierzchniach płyt akumulatora, niedostatecznie przenikając do głębi por masy czynnej.

Wobec tego zmniejszenie pojemności tych baterii nie jest stałe i przy dalszym ładowaniu mniejszym prądem można by im przywrócić dawną pojemność.

Wnioski

1. Ładowanie baterii przy stałym napięciu, a więc większymi prądami, ładującymi baterie w stanie rozładowanym, powoduje obniżenie jej pojemności. Obniżenie to nie jest bardzo znaczne i mogłoby być w dużym stopniu usunięte, gdyby co kilkanaście cykli stosować cykl kontrolno-odświeżający.
2. Przy ładowaniu baterii w czołgu, w celu umożliwienia lepszego wykorzystania urządzeń elektrycznych, należy stosować metodę ładowania przy stałym napięciu i powiększyć maksymalny prąd ładowania.
3. Na stacjach ładowania stosować raczej ładowanie przy stałym natężeniu prądu.

TEZY DO REFERATÓW
SEKCJI III
(PODSEKCJA WOJSK SAMOCHODOWYCH)

Prof. mgr inż. E. HABICH

**ANALIZA CELOWOŚCI STOSOWANIA SPRZĘGŁA
HYDROKINETYCZNEGO DO SAMOCHODÓW TERENOWYCH**

Używane obecnie samochody terenowe odznaczają się dużą wartością przełożenia całkowitego na najniższym biegu. Składa się ono z przełożenia pierwszego biegu skrzynki biegów, przełożenia skrzynki rozdzielczej i przełożenia przekładni głównej. Wartość całkowitego przełożenia na najniższym biegu wynosi w wielu konstrukcjach samochodów terenowych ponad 100. Tak duże przełożenie umożliwia jazdę w ciężkim terenie przy stosunkowo małym liczbie obrotów silnika (1000–1200 obr/min) i przy niepełnym jego obciążeniu. Stosowanie dużych wartości przełożenia nie jest wywołane koniecznością wyzyskiwania siły przyczepności, gdyż odpowiednich wartości współczynnika przyczepności w terenie się nie spotyka. Jednak daje to możliwość uzyskania stopniowego i łagodnego wzrostu siły napędowej przy ruszaniu samochodu i przy dodawaniu „gazu”. Wartość współczynnika mas obrotowych dla biegu najniższego wynosi dla tych samochodów przeszło 6, a zatem tylko około 15% momentu obrotowego silnika idzie na nadanie przyspieszenia pojazdowi i tym samym na zwiększenie siły napędowej. Stopniowy i łagodny wzrost siły napędowej przy jeździe po nierównym terenie sprzyja uzyskaniu większej wartości współczynnika przyczepności, gdyż nie zagraża wtedy niebezpieczeństwo zerwania nośnej warstwy powierzchniowej gruntu. Nowoczesne samochody terenowe mają możliwość poruszania się w terenie z dużymi prędkościami. (Wynikające stąd korzyści zostały omówione w referacie autora: „Teoretyczne podstawy oceny własności terenowych samochodów wojskowych”. Biuletyn WAT, Nr 3c (47), 1955 r.).

Samochody te wymagają dużych wartości mocy jednostkowej, dochodzącej do 20 KM na tonę ciężaru (obecnie stosowane samochody terenowe mają moc jednostkową wynoszącą 7–8 KM/tonę). Przy tak znacznej wartości mocy jednostkowej wartość przełożenia całkowitego na biegu najniższym wypadła kilkakrotnie mniejsza od stosowanej dotychczas.

Wartość współczynnika mas obrotowych wypadnie w tym przypadku taka jak dla samochodów osobowych, tj. poniżej 2. Istnieje wtedy możliwość powstawania dużych przyspieszeń pojazdu i nagłego wzrostu siły napędowej, jeżeli kierowca nie będzie dostatecznie oponowany i nie po trafi umiejętnie operować sprzęgłem i pedałem gazu. Stosowanie dużych wartości przełożenia na najniższym biegu nie byłoby w tym wypadku racjonalne, gdyż prowadziłoby to do zwiększenia ciężaru mechanizmów napędowych, zaś czołową tendencją w projektowaniu pojazdów mechanicznych jest dążenie do uzyskania najmniejszego ciężaru własnego.

Z podanych rozważań wynika, że w układzie napędowym nowoczesnych samochodów terenowych o dużej mocy jednostkowej, powinien istnieć podatny i automatycznie działający element, którego zadaniem byłoby łagodzić obciążenia dynamiczne występujące w układzie napędowym samo-

chodu przy jeździe w terenie o zmiennych oporach ruchu. Jednym z najprostszych konstrukcyjnie mechanizmów, odpowiadającym podobnym wymaganiom jest sprzęgło hydrauliczne, tzw. sprzęgło hydrokinetyczne.

Sprzęgło hydrokinetyczne umożliwia automatyczne włączenie napędu przy wzroście obrotów wału napędzającego i zabezpiecza silnik przed zgaśnięciem przy przeciążeniu, zmniejszając automatycznie przenoszony moment obrotowy przy spadku obrotów silnika.

Z rozpatrzenia typowych charakterystyk sprzęgła hydrokinetycznych wynika, że sprzęgło to przy odpowiedniej konstrukcji może poważnie wpłynąć na zmniejszenie sił dynamicznych, występujących w układzie napędowym samochodu terenowego. Umożliwia ono uzyskanie bardziej płynnego przebiegu momentu obrotowego i siły napędowej samochodu przy jeździe po nierównym terenie.

Podane działanie sprzęgła hydrokinetycznego może być spotegowane przez zastosowanie konstrukcji przekładni, umożliwiającej równoległe włączenie sprzęgła do układu napędowego na wyższych biegach i szeregowe włączenie przy zwiększonym momencie i zmniejszonej liczbie obrotów na niższych biegach.

Kand. nauk techn. L. GROSS-GRONOMSKI

WYKORZYSTANIE WŁAŚCIWOŚCI SPALIN W PRACY SILNIKÓW POJAZDÓW MECHANICZNYCH

Spaliny obok swych ujemnych właściwości, które są powszechnie znane, mają również i dodatnie. Do tych ostatnich można zaliczyć wysoką temperaturę i zawartość pewnej ilości połączeń chemicznych korzystnych dla procesu spalania. Wykorzystanie dodatkich właściwości spalin może dać poprawę szeregu wskaźników pracy silnika oraz usprawnić jego rozruch.

Autor przeprowadził badania doświadczalne, które potwierdzają słuszność wymienionych możliwości. W badaniach analizowano m. in. następujące wskaźniki:

1. Trwanie spalania i jednostkową jego wielkość.
2. Szybkość wzrostu ciśnienia i jego jednostkową wielkość.
3. Zakres zapalności.
4. Skłonność do detonacji.
5. Nierówność kolejnych obiegów.
6. Temperaturę gazów pod koniec ssania i koniec rozprężania.
7. Współczynnik napelnienia.
8. Średnie ciśnienia obiegu indykowane i efektywne.
9. Sprawność indykowaną i efektywną.

W wyniku tych badań stwierdzono możliwości:

- a) stosowania nowego sposobu regulowania mocy silnika, polegającego na zmianie zawartości gorących spalin w mieszance roboczej i otrzymaniu tą drogą zmniejszenia jednostkowego zużycia paliwa w stosunku do normalnie stosowanego regulowania mocy;
- b) zwiększenia mocy litrowej drogą zmniejszenia zawartości spalin w mieszance roboczej (np. zmieniający się skok tłoka);
- c) skrócenia czasu potrzebnego na nagrzanie silnika przy rozruchu i łatwiejszego utrzymywania wymaganej temperatury podczas pracy w warunkach zimowych.

Ponadto ustalono możliwość regulowania wielkości tłumienia wydechu i uzyskania tą drogą dodatkowego zwiększenia mocy.

Przeprowadzone badania wyjaśniły m. in. niektóre niejasne w teorii silników spalinowych zagadnienia związane z niewłaściwym podejściem do wpływu spalin na pracę silnika, np. wpływ obciążenia na sprawność indykowaną. W badaniach tych wykazano doświadczalnie, że zwiększenie zawartości gorących spalin w mieszance roboczej może poprawić proces spalania i wskaźniki ekonomiczności.

W praktycznym wykorzystaniu właściwości spalin należy uwzględnić zwiększenie się nierówności kolejnych obiegów w miarę wzrostu zawartości spalin w mieszance roboczej, tj. należy stosować środki zmniejszające tę nierówność. Zwiększenie mocy litrowej taką drogą, jak np. zmieniający się skok tłoka, związane jest z poważnymi trudnościami natury konstrukcyjnej i dlatego ich celowość budzi zastrzeżenia.

Wnioski autora dla celów praktyki idą więc w następującym kierunku. Wykorzystać właściwości spalin do: 1) regulowania mocy, 2) usprawnienia rozruchu oraz 3) regulowania tłumienia wydechu.

Kpt. mgr inż. T. KASPRZYK

O WYBORZE RODZAJU ZAWIESZENIA DLA TRZYOSIOWEGO SAMOCHODU TERENOWEGO

1. Średnia szybkość samochodu w ogóle, a samochodu terenowego w szczególności, zależy w bardzo dużym stopniu od jakości jego zawieszenia.
2. Jakość zawieszenia wpływa na zdolność samochodu do poruszania się w ciężkim terenie, ponieważ od zawieszenia zależy rozkład reakcji drogi na poszczególne koła.
3. Zawieszenie ma wpływ na pracę mechanizmów samochodu; wpływa ono również na warunki pracy kierowcy.
4. Wyboru rodzaju zawieszenia samochodu dokonuje się wychodząc z założonych dla niego warunków pracy.
5. Dla samochodu terenowego odpowiada najlepiej niezależne zawieszenie kół, które umożliwi utrzymanie czystości drgań samochodu w żądanych granicach przy jednoczesnym zapewnieniu dostatecznie dużych strzałek ugięcia resorów.
Warunek ten w odniesieniu do kół przednich może być spełniony w należyłym stopniu tylko przez zastosowanie niezależnego zawieszenia kół.
Dla kół tylnych można wprawdzie osiągnąć dość duże strzałki ugięcia przy zastosowaniu osi sztywnych, jednak przyjęcie niezależnego zawieszenia umożliwia zmniejszenie ciężaru samochodu, uzyskujemy zmniejszenie mas nie uregulowanych, co w ogóle wpływa dodatnio na zachowanie się samochodu w czasie jego drgań.
6. Stosując odpowiedni schemat kinematyczny zawieszenia, można uzyskać korzystny rozkład nacisków kół na drogę.
7. Wybór parametrów zawieszenia musi być poprzedzony analizą drgań samochodu.
8. Dla samochodów terenowych największe znaczenie ma zbadanie drgań wymuszonych.
9. Drgania trzyosiowego samochodu terenowego nie zostały dotychczas dokładnie zbadane.
10. Przeprowadzone w niniejszym referacie teoretyczne badanie zachowania się trzyosiowego samochodu terenowego obejmuje:
 - a) zestawienie równań różniczkowych określających drgania swobodne samochodu trzyosiowego;
 - b) zestawienie równań różniczkowych dla drgań wymuszonych tego samochodu;

- c) analizę równań i wyciągnięcie wniosków odnośnie wyboru rodzaju resorów oraz wpływu parametrów konstrukcyjnych samochodu na jego drgania.
11. Jako istotny z punktu widzenia obciążenia elementów zawieszenia, należy potraktować przypadek rezonansu i zbadać, w jaki sposób zależy on od szybkości samochodu.
 12. Przy rozpatrywaniu drgań samochodu można pominąć poprzeczne drgania kątowe.

TEZY DO REFERATÓW SEKCJI IV

Kpt mgr inż. S. SZCZECIŃSKI

NIKTÓRE ZAGADNIENIA Z AUTOMATYCZNEJ REGULACJI SILNIKÓW ODRZUTOWYCH

Każdy sprężarkowy silnik odrzutowy wymaga automatycznej regulacji ilości podawanego paliwa do komór spalania. Ta regulacja konieczna jest z uwagi na to, że silnik pracuje niestannie w zakresie obrotów leżących w pobliżu małego gazu, jak również dlatego, aby uchronić turbinę silnika przed zniszczeniem wskutek wzrostu temperatury na wlocie do aparatu kierowniczego turbiny oraz wskutek wzrostu jej obrotów na pełnym gazie.

Celem zachowania stałej temperatury na wlocie do aparatu kierowniczego turbiny, konieczne jest podtrzymywanie stałego współczynnika nadmiaru powietrza w komorach spalania w różnych warunkach lotu samolotu. Przy wzroście prędkości lotu konieczne zapotrzebowanie paliwa przez silnik, przy stałych jego obrotach wzrasta, podczas gdy przy wzroście wysokości — maleje. Celem podtrzymania stałej liczby obrotów silnika przy zmiennych warunkach lotu, konieczne jest zastosowanie odpowiedniej regulacji. Zamknięte układy automatycznej regulacji z zębatą pompą paliwową i igłą upustu paliwa, jak np. w silniku RD-10 cechują się tym, że oddziaływanie zewnętrzne (tzn. zmiana prędkości i wysokości lotu) wpływa na pracę silnika, a zmiana jego parametrów (liczby obrotów lub temperatury na wlocie do aparatu kierowniczego turbiny) oddziałują na regulator, który następnie wpływa odpowiednio na ilość podawanego paliwa do komór spalania.

Istniejące dotychczas zamknięte układy automatycznej regulacji posiadają tę wadę, że zachowując stałe obroty silnika oraz stały proces ich regulacji, wymagają dużego wydatku zębatej pompy paliwowej upuszczając część wydatku na stronę ssącą w zależności od potrzeby. Taki układ automatycznej regulacji nie zapewnia pełnej regulacji na całym zakresie obrotów roboczych silnika, tj. od obrotów małego gazu do maksymalnych dlatego, że bardzo trudno jest dobrać konstrukcyjnie charakterystyki poszczególnych elementów regulatora tak, aby regulator pracował na całym zakresie obrotów silnika. Stosowane w chwili obecnej regulatory na silnikach odrzutowych zazwyczaj pracują w zakresie 2000—3000 obr/min w górnej granicy obrotów, ponieważ silnik w tym zakresie najczęściej pracuje i konieczność automatycznej regulacji obrotów jest największa. Aby zapewnić pracę układu w całym zakresie obrotów, należy albo skomplikować konstrukcję regulatora albo, co się czyni zazwyczaj, zastosować zawór dławiący dla ręcznego sterowania silnikiem na małych obrotach z regulatorem stałego wydatku paliwa. Regulatory takiego typu są **zawsze** skomplikowanej konstrukcji i poszczególne ich części wymagają dokładnej obróbki mechanicznej.

Niezamknięte układy automatycznej regulacji silników odrzutowych cechują się tym, że działanie zewnętrzne (prędkość i wysokość lotu) od-

działają zarówno na silnik jak i na regulator, który reguluje ilość podawanego paliwa do komór spalania. Jeden z istniejących, szeroko stosowanych układów niezamkniętej regulacji z pompą nurkową i barostatem posiada dużą stateczność, lecz praktycznie jest niemożliwe dokładne zachowanie zadanej liczby obrotów. Ponadto układ taki posiada tę cechę ujemną, że instalacja paliwowa stale jest poddana działaniu wysokiego ciśnienia, a redukcja ciśnienia do wielkości wymaganej przy wtrysku paliwa do komór spalania odbywa się za pośrednictwem zaworu dławiącego, w którym następuje spadek ciśnienia. Układ ten posiada tę zaletę, że zapewnia on regulację na całym zakresie obrotów silnika oraz posiada mniejszą ilość części w konstrukcji i większą pewność pracy.

W związku z cechami omówionych układów, celem połączenia zalet obydwu układów regulacyjnych (z których najważniejsza to podawanie paliwa w wymaganej ilości pod właściwym ciśnieniem) zastosowano taki zamknięty układ automatycznej regulacji silników odrzutowych, w którym regulator odśrodkowy oddziaływał na tarczy pochylał pompy nurkowej napędzanej przez silnik odrzutowy. Układ taki posiada zalety dwóch uprzednio rozważanych, nie posiadając ich zasadniczych wad; w tym układzie regulacyjnym pozostaje ograniczony zakres obrotów regulowanych automatycznie, w związku z czym winien on posiadać jeszcze regulator stałego wydatku paliwa oraz zawór dławiący dla ręcznego sterowania na małych obrotach.

We wszystkich omówionych układach automatycznej regulacji, winien się obowiązkowo znajdować automat zrywu, zapewniający stateczną pracę silnika przy możliwie krótkim czasie wejścia na pełne obroty.

Oddzielne zagadnienie stanowi automatyczna regulacja układu paliwowego zasilaającego komory dopalania silników odrzutowych. Ponieważ podczas dopalania w dyszy wylotowej, parametry gazu na wyjściu z turbiny nie mogą ulegać zmianie we wszystkich warunkach lotu, konieczne jest zastosowanie automatycznego regulowania wydatku pompy paliwowej do wielkości wymaganej w danych warunkach lotu. Jeden z wykonanych niezamkniętych układów automatycznej regulacji temperatury gazów, za turbiną składa się z pompy nurkowej oraz barostatu z krzywką korekcyjną. Obecność krzywki korekcyjnej w znacznej mierze daje możliwość podtrzymywania zadanej charakteru pracy (temperatury gazów i obrotów silnika) bez odchylenia od wartości dopuszczalnych. Konieczna jest również przy dopalaniu regulacja otwierania i zamykania klap dyszy reakcyjnej, która musi być ściśle uzależniona od uruchomienia dopalania względnie jego wyłączenia.

Układy automatycznej regulacji są tak rozwiązane, że zapewniają one współpracę między rozprzeczaniem dopalania, a otwieraniem klap dyszy reakcyjnej. Wszelkie niedomagania układu regulacji tych urządzeń mogą uniemożliwić wykonanie zadania bojowego przez samolot, aż do awarii silnika włącznie.

Kpt. mgr inż. M. BERNHARDT

ANALIZA CELOWOŚCI ZASTOSOWANIA SILNIKÓW Z DOLADOWANIEM DO POJAZDÓW MECHANICZNYCH UŻYTKOWANYCH W WOJSKU

1. Silniki spalinowe pojazdów mechanicznych użytkowanych w wojsku winny odznaczać się:

- małym ciężarem jednostkowym,
- prostotą konstrukcji, obsługi i remontu,
- długim przebiegiem międzyremontowym,
- zdolnością wytrzymywania długotrwałego przeciążenia,
- pożądane jest ponadto, aby silnik taki miał możliwie duży moment obrotowy dla zmniejszenia przelożeń w mechanizmach przeniesienia napędu.

Warunek 1c wymaga specjalnie dla pojazdów wojskowych stosowania m. in. wysokosprawnych filtrów powietrza. Filtry takie, o ile nie posiadają dużych wymiarów, odznaczają się dość dużymi oporami przepływu, skutkiem czego ulega zmniejszeniu napilenienie i moc silnika.

2. Zastosowanie doladowania jest znanym od dawna sposobem zwiększenia mocy silnika. W silnikach pojazdów naziemnych było ono jednak dotychczas szerzej stosowane tylko dla pojazdów wyczynowych.

Przyjęło się w związku z tym niezupełnie słuszne mniemanie, że doladowanie pociąga za sobą zawsze zwiększenie zużycia paliwa i skrócenie żywotności silnika.

Jednakże w przypadku zastosowania doladowania dla zwiększenia momentu obrotowego i mocy silnika, bez zwiększenia jego obrotów, szybkość zużycia silnika zwiększa się nieznacznie, zaś zużycie paliwa pozostaje niezmiennie, bądź ulega nieznacznemu zmniejszeniu.

Świadczyć o tym może m. innymi fakt, że znaczna większość silników wysokoprężnych konstruowanych w ostatnich latach posiada doladowanie.

Silniki wysokoprężne specjalnie nadają się do doladowywania, ze względu na ich mniejsze obciążenie cieplne w porównaniu z gaźnikowymi.

Doladowanie w przypadku silników gaźnikowych pozwala na zwiększenie mocy znacznie większe niż przez podnoszenie stopnia sprężania, przy czym wymagania odnośnie odporności paliwa na detonację są o wiele mniejsze niż w tym drugim przypadku.

Zastosowanie niskociśnieniowych sprężarek doladowujących umożliwiłoby użytkowanie wysokosprawnych filtrów powietrza o stosunkowo małych wymiarach, pozwalając jednocześnie na utrzymanie nominalnej mocy silnika, względnie nawet nieznacznie ją powiększając.

Specjalnie korzystne może okazać się zastosowanie doladowania do silników, dla których zagadnienie zużycia paliwa i żywotności ma znaczenie

drugorzędne; np. silniki łodzi desantowych. Bezsporną wadą silnika z doladowaniem, w porównaniu z silnikiem bez doladowania, jest komplikacja jego konstrukcji i nieco bardziej skomplikowana obsługa.

3. Wnioski autora uogólniające wyniki własnych doświadczeń oraz materiały z literatury są następujące:

- a. Stosowanie doladowania we współczesnych silnikach wysokoprężnych jest bezwzględnie celowe.
- b. Dla silników gaźnikowych celowe jest stosowanie doladowania (o niewysokim ciśnieniu ∞ 0,2 ata) w przypadkach ich użytkowania, wymagających filtrów powietrznych o zwiększonym oporze przepływu.
- c. W niektórych przypadkach użytkowania, dla zmniejszenia ilości typów silników i ułatwienia gospodarki częściami zamiennymi, celowe może się okazać zastosowanie wysokiego doladowania do silników typowych.

Kpt mgr inż. A. LASEK

AERODYNAMICZNE WŁASNOŚCI SKRZYDEŁ SKOŚNYCH I O MAŁYCH WYDŁUŻENIACH

1. Wstęp

Skrzydła współczesnych samolotów. Szczególne zalety skrzydeł skośnych i skrzydeł o małych wydłużeniach: możliwość podwyższenia krytycznej liczby M , możliwość zmniejszania oporu falowego. Szerokie zastosowanie tych skrzydeł wymaga znajomości ich charakterystyk aerodynamicznych tak przy dużych, jak i przy małych prędkościach. Brak systematycznych badań charakterystyk aerodynamicznych skrzydeł skośnych i o małych wydłużeniach, przy małych prędkościach. Cel niniejszej pracy: przeprowadzenie takich badań oraz zanalizowanie otrzymanych wyników; przedyskutowanie otrzymanych krzywych z fizycznego punktu widzenia; zanalizowanie, w jakiej mierze słuszne są stosowane wzory teoretyczne.

2. Założenia i technika pomiaru

W celu uzyskania wyników nie obciążonych oddziaływaniem ubocznych parametrów, badano płyty o stałej powierzchni, stałym profilu (NACA — 0012), stałej zbieżności (równiej 1,0), bez zwichrzenia, o zmiennym wydłużeniu ($\lambda = 1,5; 2,5; 3,5$) i zmiennym kącie skosu ($\varphi = 0^\circ; 35^\circ; 45^\circ; 60^\circ$), przy prędkościach 40–60 m/sek ($q = 100\text{--}200$ mm H₂O) i liczbach Reynoldsa $7,5 \cdot 10^5\text{--}10 \cdot 10^5$. Badania przeprowadzono w tunelu aerodynamicznym posiadającym otwartą przestrzeń pomiarową ($D = 1,1$ m) i wagę pierścieniową. Obliczeń dokonano na podstawie ogólnie stosowanych wzorów.

3. Otrzymane charakterystyki

W wyniku pomiarów otrzymano charakterystyki aerodynamiczne badanych skrzydeł, a mianowicie współczynniki siły nośnej, współczynniki momentu, współrzędne środka parcia względem kąta natarcia oraz biegunowe dla trzech serii skrzydeł o różnych skosach i stałych wydłużeniach oraz dla czterech serii skrzydeł o stałych skosach i różnych wydłużeniach. Charakterystyki te wykazują specyficzne cechy skrzydeł skośnych wzgl. skrzydeł o małych wydłużeniach.

4. Analiza i uogólnienie otrzymanych wyników

W celu uogólnienia otrzymanych wyników wykreślono: krzywe zależności $C_{y_{\max}}$ od kąta skosu i od wydłużenia, krzywe $\frac{dC_y}{da}$ w zależności od kąta skosu i od wydłużenia, krzywe zmiany położenia środka parcia

w zależności od kąta skosu i wydłużenia, a także krzywe, przedstawiające zmianę wartości oporu indukcyjnego wraz ze zmianą kąta skosu i wydłużenia oraz krzywe przedstawiające zmianę kąta $\alpha_{k, \text{eff}}$. Opierając się na fizycznym obrazie opływu płatów skośnych i płatów o małym wydłużeniu oraz na wykresach rozkładów obciążeń na takich płatach, przeanalizowano i uzasadniono niektóre szczególne cechy otrzymanych krzywych.

5. Podstawy teoretycznych obliczeń charakterystyk skrzydeł ze skosem i o małych wydłużeniach

Równanie Prandtla-Zukowskiego i zakres jego stosowności. Równanie całkowite powierzchni nośnej i możliwości jego zastosowania. Sposób rozwiązania tego równania i metoda przeprowadzenia praktycznych obliczeń. Uproszczone wzory stosowane w praktycznych obliczeniach dotyczących płatów skośnych i płatów o małych wydłużeniach.

6. Wnioski

Porównanie otrzymanych krzywych z wykresami pochodzącymi z obliczeń teoretycznych i zbadanie ich zgodności.
Obliczenie na podstawie doświadczalnie uzyskanych wartości oporu indukowanego, efektywnego wydłużenia płatów skośnych i o małych wydłużeniach. Szczególne cechy charakterystyk aerodynamicznych skrzydeł skośnych i o małych wydłużeniach przy małych prędkościach. Zgodność między danymi doświadczalnymi i teoretycznymi.

7. Pożądany kierunek prac na temat skrzydeł skośnych i o małych wydłużeniach przy małych prędkościach

Wyjaśnienie na drodze doświadczalnej oddziaływania bliskości ziemi na charakterystyki aerodynamiczne skrzydeł skośnych i o małych wydłużeniach.

Zbadanie charakterystyk tych skrzydeł opływanych niesymetrycznie względem osi podłużnej.

Możliwość zbadania wpływu mechanizacji skrzydeł skośnych i o małych wydłużeniach na uzyskanie możliwie dużych wartości $C_{y, \text{max}}$.

Kpt. mgr inż. ŁAPIŃSKI

ZAGADNIENIA KORYGOWANIA POŁOŻENIA OSI ŻYROSKOPU W LOTNICZYCH PRZYRZĄDACH ŻYROSKOPOWYCH

1. Wstęp

Ze względów zarówno nawigacyjnych jak i pilotażowych współczesne samoloty wyposażone są w przyrządy pozwalające określić położenie układu współrzędnych, związanych z samolotem, względem układu współrzędnych związanych z ziemią. Przyrządy służące do tego celu — to z reguły przyrządy żyroskopowe pracujące w pewnym sensie samodzielnie lub układy przyrządów, w których podstawowym elementem jest żyroskop.

Pilotowanie samolotu przy częściowym lub całkowitym braku widoczności zewnętrznej, wymaga znajomości położenia samolotu względem płaszczyzny horyzontu. Niezależnie od położenia i ruchu samolotu pilot musi znać w każdej chwili lotu kierunek pionu rzeczywistego. Dla określenia pionu rzeczywistego na samolocie wykorzystana jest następująca właściwość żyroskopu: „jeżeli na swobodny astatyczny żyroskop nie działają żadne momenty od sił zewnętrznych, to zachowuje on niezmiennie położenie swojej osi głównej względem układu inercjalnego”.

2. Korygowanie położenia osi głównej żyroskopu

Ponieważ w zastosowaniach chodzi o zachowanie niezmiennego kierunku (pionu rzeczywistego) względem ziemi, przeto swobodny astatyczny żyroskop zaopatrywany jest w urządzenie korygujące. Zadaniem tego urządzenia jest korygowanie odchylenia osi głównej żyroskopu od pionu rzeczywistego, powstające wskutek: 1) ruchu pozornego osi żyroskopu względem ziemi, 2) działania momentów sił zewnętrznych. Proces korygowania polega na wywołaniu precesji osi głównej żyroskopu o pożądanym w danej chwili kierunku.

3. Analiza stosowanych urządzeń korygujących

Układem korygującym steruje element postrzegający — wskaźnik poziomu. Zadaniem jego jest sygnalizowanie odchylenia osi głównej żyroskopu od pionu. Praca współcześnie stosowanych wskaźników pionu jest analogiczna do pracy wahadła, chociaż ich postacie konstrukcyjne odbiegają znacznie od wyglądu normalnego wahadła.

Najważniejsze wady „wahadlowych” wskaźników pionu są następujące: 1) wskazywanie pionu pozornego w przypadku, gdy oprócz przyspieszenia siły ciężkości działają i inne przyspieszenia, 2) ruchy okresowe dookoła położenia równowagi. Wady te są przyczyną większości błędów wskazań przyrządów żyroskopowych, zaś w pewnych stanach lotu powodują zupełną niepewność tych wskazań.

Analiza stosowanych układów korygujących wykazuje, że istnieją tendencje do konstruowania takich wskaźników pionu, w których wymienione wady występują w stopniu jak najmniejszym. Jednakże wady te wynikają z zasady pracy „wahadlowych” wskaźników pionu i nawet teoretycznie nie mogą być usunięte. Wynika stąd, że aby udoskonalić pracę przyrządów żyroskopowych, nie należy dążyć do udoskonalenia obecnie istniejących „wahadlowych” wskaźników pionu, lecz szukać innych możliwości rozwiązania tego zagadnienia.

4. Nowa metoda korygowania

Wydaje się możliwe skonstruowanie odpowiedniego układu wahadeł, w którym środkami automatyki można by osiągnąć taki efekt, że układ ten będzie sygnalizował jedynie odchylenia osi głównej żyroskopu od pionu rzeczywistego, nie będzie zaś reagował na przyspieszenia leżące w płaszczyźnie poziomej.

Por. mgr J. BUZNIAK

ZAGADNIENIA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA KLEJÓW DO METALI LEKKICH PRZY REMONCIE SAMOLOTÓW W WARUNKACH POŁOWYCH

I. Wstęp

1. Zarys rozwoju substancji klejących metali.
Rozwój klejów do metali zapoczątkowały próby empiryczne. Teoria wyjaśniająca własności klejów rozwinęła się nieco później. Obecnie kleje do metali wchodzi coraz częściej w użycie i w wielu dziedzinach, jak budowa samolotów i okrętów, wypierają klasyczne metody łączenia.

2. Zalety klejenia metali w porównaniu w mechanicznymi metodami łączenia.

Proces klejenia metali w przeciwieństwie do metod mechanicznego łączenia jest prosty w zastosowaniu i krótkotrwały. Naprężenia przy złączach są rozłożone równomiernie, wobec czego unika się osłabienia materiałów łączonych. Klejenie części wymagających naprawy, nawet w przypadkach trudnego dostępu, nie jest uciążliwe, tym bardziej, że złącza nie wymagają późniejszej obróbki mechanicznej.

II. Omówienie teoretycznych zagadnień związanych z procesem klejenia

1. Wpływ sił międzycząsteczkowych na własności spiny klejonej.

Sily wiążące materiał sklejaný ze spoiwem mają charakter międzycząsteczkowy. Sily te nazywa się siłami Van der Waals'a. Ze względu na znaczną wielkość makrocząstek substancji klejonych, odgrywają one poważną rolę jako czynniki zwiększające wytrzymałość spiny.

2. Zagadnienie adhezji i zwilżania.

Adhezją kleju nazywamy zdolność związania się go z powierzchnią innego ciała. Rozróżniamy adhezję mechaniczną i polarną. W przypadku adhezji mechanicznej dużą rolę odgrywa rozwinięcie powierzchni i porowatość materiału sklejanego, gdyż wówczas spoina klejowa mocniej przylega do materiału klejonego. W przypadku klejenia materiału o charakterze polarnym, należy używać przede wszystkim kleju o charakterze również polarnym.

Decydujący wpływ na powstawanie kontaktów pomiędzy powierzchnią sklejanego materiału a klejem posiada zwilżanie materiału przez klej.

3. Twardnienie substancji klejowych.

Twardnienie substancji klejowych następuje wskutek jednego z trzech niżej wymienionych czynników:

- odparowanie rozpuszczalnika,
- ochłodzenie podgrzanej substancji klejowej,
- reakcja chemiczna klejów.

W przypadku klejów do metali, twerdnienie substancji klejowych następuje wskutek usieciowania struktury przestrzennej, która odbywa się na drodze polimeryzacji lub polikondensacji. Szybkość twerdnienia zależy przede wszystkim od rodzaju kleju, temperatury i odpowiednich katalizatorów.

4. Budowa cząsteczkowa spoin klejowych.
Wskutek polimeryzacji lub polikondensacji substancji klejowych, tworzy się układ mniej lub więcej usieciowany. Układ taki w pierwszym przypadku jest bardziej elastyczny, co z kolei ma zasadniczy wpływ na wytrzymałość spoiny klejowej, przede wszystkim na wibrację.

5. Grubość spoiny klejowej.
Maksymalną wytrzymałość złącza osiąga się przy odpowiednio cienkiej warstwie substancji klejącej. Zarówno za mała jak i za duża ilość kleju powoduje osłabienie złącza.

III. Otrzymywanie i opis najbardziej znanych klejów do metali

1. Klej karbinolowy.

Klej karbinolowy został opracowany przez prof. Nazarowa w Akademii Nauk ZSRR. Otrzymuje się go z winyloacetylenu i acetonu i używa do sklejania metali, drewna, mas plastycznych i szkła. Proces klejenia przebiega wobec katalizatora i w podwyższonej temperaturze.

2. Kleje poliwinylolacetylowe.

Kleje te stosuje się w połączeniu z żywicami fenolowo-fomaldehydowymi. Produktem wyjściowym dla otrzymywania tych klejów jest acetylen. Używa się ich do sklejania metali, drewna i mas plastycznych. Sklejenie następuje w podwyższonej temperaturze.

3. Kleje polizocjanianowe.

Kleje polizocjanianowe zwane również poliuretanowymi otrzymuje się z fosgenem, amin aromatycznych i alifatycznych oraz alkoholi wielowodorotlenowych. Używa się ich do sklejania metali, drewna, gumy i mas plastycznych. Stwardnienie spoiny klejowej może nastąpić bez podgrzewania w temperaturze pokojowej.

4. Kleje typu „epoksy”.

Kleje tego typu otrzymuje się z wielowodorotlenowych fenoli oraz epichlorohydrynu. Używa się ich do sklejania metali, drewna, gumy i mas plastycznych. Hartowanie kleju polega na zmieszaniu go przed użyciem z wieloaminami lub bezwodnikami kwasów organicznych i następnie podgrzaniu.

IV. Metody badań spoin klejowych

Spoiny klejowe poddaje się badaniom na ścinanie. Przeprowadza się je w jednakowych warunkach w celu otrzymania porównywalnych wyników. Prowadzi się również badania wytrzymałościowe na zniekształcenie oraz odporność na wpływ temperatury. Zagadnieniem bardzo istotnym jest również określenie odporności spoiny klejowej na czynniki chemiczne, jak śmarna, paliwa, a przede wszystkim na wodę zimną i gorącą.

V. Ocena przydatności klejów do metali lekkich przy remoncie samolotów w warunkach polowych

Na podstawie zebranego materiału z literatury polskiej i zagranicznej przydatność klejów do metali lekkich przedstawia się następująco. Proces sklejania przebiega najlepiej w temperaturze podwyższonej ponad 100° C i pod zwiększonym ciśnieniem. Jedynie kleje karbinolowy i polizocjanianowe kleją również w temperaturze pokojowej, a więc prawdopodobnie w warunkach polowych.

Klej karbinolowy nie nadaje się jednak ani do budowy, ani do remontu samolotów, ze względu na słabą odporność na wibrację.

Wobec tego należy przeprowadzić podstawowe badania laboratoryjne nad klejami polizocjanianowymi, które zgodnie z danymi z literatury powinny nadawać się do klejenia metali lekkich w warunkach polowych.

TEZY DO REFERATÓW
SEKCJI V*)

* Tezy wszystkich referatów powyższej sekcji opublikowane są w Biuletynie
WAT Nr 2B (59).

TEZY DO REFERATOW
SEKCJI VI

Kpt. mgr inż. W. OSZYWA

NIEKTÓRE WŁAŚCIWOŚCI ODBIORNIKÓW LINII RADIOWYCH

Wybór krzywej selektywności dla odbiorników linii radiowych
na modulację położenia impulsów

1. Wstęp

Zapewnienie pewnej łączności we współczesnej walce to podstawowe zagadnienie stojące przed techniką łączności. Jednym z podstawowych środków łączności dla wyższych szczebli są linie radiowe. Pewność łączności to pewność dowodzenia walką. Pewność łączności w znacznym stopniu zależy od stopnia działania zakłóceń na odbiór radiowy.

Zagadnienie walki z zakłóceniami to podstawowe zagadnienie w technice odbioru radiowego. Na falach u.w.cz., na których pracują systemy radiolinii, podstawowym rodzajem zakłóceń są szumy wewnętrzne urządzenia radioodbiorniczego.

Przy projektowaniu odbiornika dążymy do tego, aby stosunek sygnału do zakłóceń był jak największy. Wielkość tego stosunku będzie w znacznym stopniu zależała od krzywej selektywności odbiornika.

Podstawowym problemem poruszanym w referacie jest właśnie wybór krzywej selektywności odbiornika przy modulacji położenia impulsów, modulacji najczęściej spotykanej w impulsowych liniach radiowych.

2. Działanie zakłóceń przy modulacji położenia impulsów

Zaletą modulacji położenia impulsów jest możliwość stosowania ograniczania impulsów od góry i od dołu. Pozwala to usunąć zakłócenia działające na amplitudę impulsu i w przerwie między impulsami. Również istnieje możliwość zastosowania tzw. odbioru progowego. Przy tym odbiorze napięcie na wyjściu układu określa się tylko momentami przejścia obwiedni impulsu przez pewien próg (poziom), a charakter obwiedni niżej i wyżej tego progu nie mają wpływu. Przy odbiorze z ograniczeniem od dołu i od góry oraz przy odbiorze progowym działanie zakłóceń powoduje szkodliwe przesunięcie czasowe impulsu.

Również mogą powstać sporadyczne silne impulsy zakłócające, które działając w przerwie między poszczególnymi impulsami mogą spowodować powstanie błędów w odbiorze. Ma to znaczenie w tym wypadku, gdy nie możemy podwyższyć poziomu ograniczenia od dołu, czyli przy słabym sygnale. Szkodliwe przesunięcie czasowe impulsu spowodowane zakłóceniami jest wprost proporcjonalne do napięcia zakłócającego, a odwrotnie proporcjonalne do nachylenia czoła impulsu.

3. Wybór szerokości pasma przepuszczania

Szerokość pasma przepuszczania odbiornika ma wpływ zarówno na wielkość napięcia szumów jak i na wielkość i kształt impulsu.

Kpt. mgr inż. W. OSZYWA

NIKTÓRE WŁAŚCIWOŚCI ODBIORNIKÓW LINII RADIOWYCH

Wybór krzywej selektywności dla odbiorników linii radiowych na modulację położenia impulsów

1. Wstęp

Zapewnienie pewnej łączności we współczesnej walce to podstawowe zagadnienie stojące przed techniką łączności. Jednym z podstawowych środków łączności dla wyższych szczebli są linie radiowe. Pewność łączności to pewność dowodzenia walką. Pewność łączności w znacznym stopniu zależy od stopnia działania zakłóceń na odbiór radiowy.

Zagadnienie walki z zakłóceniami to podstawowe zagadnienie w technice odbioru radiowego. Na falach u.w.cz., na których pracują systemy radiolinii, podstawowym rodzajem zakłóceń są szumy wewnętrzne urządzenia radioodbiorniczego.

Przy projektowaniu odbiornika dążymy do tego, aby stosunek sygnału do zakłóceń był jak największy. Wielkość tego stosunku będzie w znacznym stopniu zależała od krzywej selektywności odbiornika.

Podstawowym problemem poruszonym w referacie jest właśnie wybór krzywej selektywności odbiornika przy modulacji położenia impulsów, modulacji najczęściej spotykanej w impulsowych liniach radiowych.

2. Działanie zakłóceń przy modulacji położenia impulsów

Zaletą modulacji położenia impulsów jest możliwość stosowania ograniczenia impulsów od góry i od dołu. Pozwala to usunąć zakłócenia działające na amplitudę impulsu i w przerwie między impulsami. Również istnieje możliwość zastosowania tzw. odbioru progowego. Przy tym odbiorze napięcie na wyjściu układu określa się tylko momentami przejścia obwiedni impulsu przez pewien próg (poziom), a charakter obwiedni niżej i wyżej tego progu nie mają wpływu. Przy odbiorze z ograniczeniem od dołu i od góry oraz przy odbiorze progowym działanie zakłóceń powoduje szkodliwe przesunięcie czasowe impulsu.

Również mogą powstać sporadyczne silne impulsy zakłócające, które działając w przerwie między poszczególnymi impulsami mogą spowodować powstanie błędów w odbiorze. Ma to znaczenie w tym wypadku, gdy nie możemy podwyższyć poziomu ograniczenia od dołu, czyli przy słabym sygnale. Szkodliwe przesunięcie czasowe impulsu spowodowane zakłóceniami jest wprost proporcjonalne do napięcia zakłócającego, a odwrotnie proporcjonalne do nachylenia czoła impulsu.

3. Wybór szerokości pasma przepuszczania

Szerokość pasma przepuszczania odbiornika ma wpływ zarówno na wielkość napięcia szumów jak i na wielkość i kształt impulsu.

Wybór szerokości pasma winien być inny dla sygnałów silnych jak i sygnałów słabych. Dla słabych sygnałów będziemy przede wszystkim dążyć do otrzymania na wyjściu odbiornika jak największej amplitudy impulsu. Przy sygnałach silnych będziemy dążyć do otrzymania jak największego nachylenia czoła impulsu. Im szersza wstęga przepuszczania, tym większe również nachylenie czoła impulsu. Ze wzrostem jednak szerokości wstęgi rośnie również napięcie zakłóceń. Dlatego też będzie istnieć pewna optymalna wstęga przepuszczania.

Zagadnienie to rozwiązać możemy zakładając pewien kształt krzywej rezonansowej. Można założyć kształt idealnej według utartego pojęcia krzywej rezonansowej, kształt prostokątny lub krzywą dzwonową.

Stosunek sygnału do zakłóceń można powiększyć nie tylko przez wybór optymalnego pasma przepuszczania, ale również przez odpowiedni kształt krzywej rezonansowej. Jak wynika z ogólnej teorii łączności, optymalny kształt krzywej rezonansowej jest zależny od kształtu funkcji widmowej sygnału i funkcji widmowej zakłóceń.

Wnioski

Porównanie wyników otrzymanych przy wyborze optymalnej wstęgi przepuszczania przy założeniu dzwonowej krzywej rezonansowej z wynikami obliczeń przy optymalnym kształcie krzywej rezonansowej.

Stąd wnioski co do ewentualnego stosowania w praktycznych obliczeniach wyrażenia na optymalny kształt krzywej rezonansowej dla odbiornika na modulację położenia impulsów.

Mjr mgr inż. L. HRYCKIEWICZ

WPLYW NIEJEDNORODNOŚCI I NIEDOPASOWANIA NA PRACĘ LANCUCHA TELEKOMUNIKACYJNEGO W WARUNKACH WOJSKOWEJ SIECI TELEFONICZNEJ

Wstęp

Podstawowym wymaganiem, którego spełnienia żąda się od współpracujących ze sobą urządzeń teletransmisyjnych, jest zapewnienie pracy tych urządzeń na zasadzie dopasowania falowego. Z podstaw teletransmisji wiadomo bowiem, że nieprzestrzeganie stanu dopasowania falowego w łańcuchu telekomunikacyjnym może pociągnąć za sobą takie następstwa, jak:

- wzrost tłumienia przesyłanego sygnału;
- wzrost zniekształceń tłumieniowych i opóźnieniowych,
- zjawisko echa,
- zjawisko dodatkowego przesłuchu;
- trudności zrównoważenia toru (w przypadku stosowania układów z ryzgálnikami) itp.

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że wymagania, jakie w związku z tym są stawiane przewodowej sieci użyteczności publicznej, są bardzo ostre. Nie wynika jednak stąd bynajmniej, że tego rodzaju ostre wymagania muszą być spełnione przez przewodową sieć wojskową. Okazuje się bowiem, że jeśli nie brałoby się pod uwagę systemu łączności Naczelnego Dowództwa, to niektóre z wymienionych skutków niedopasowania falowego bądź w ogóle tracą na znaczeniu, jak np. zniekształcenia opóźnieniowe, czy zjawisko echa, bądź traca na ostrości, jak np. trudności zrównoważenia toru.

Niniejsza analiza będzie przeprowadzona wyłącznie w odniesieniu do wojskowego systemu łączności. Przy tym referat, ze zrozumiałych względów, będzie dotyczył w kwestii niejednorodności i niedopasowania jedynie torów przewodowych z uwzględnieniem jednak jego warunków pracy.

Analiza struktury sieci przewodowej w wojsku wykazuje, że mamy w niej najczęściej do czynienia z łańcuchowym połączeniem kilku różniących się pomiędzy sobą własnościami elektrycznymi odcinków toru. Jest oczywiste, że stopień niejednorodności toru będzie zależał od takich czynników, jak:

- rodzaje łączonych ze sobą odcinków toru;
- zakres przesyłanych częstotliwości;
- obecność urządzeń wzmacniających i zwielokrotniających;
- warunki atmosferyczne.

Ponieważ w dotychczasowej literaturze strona ilościowa zjawisk związanych z niejednorodnością toru nie została dostatecznie jasno naświetlona, celem referatu jest wyjaśnienie, w jakich warunkach należy liczyć się z niejednorodnością toru, a kiedy jej wpływ można pominąć.

Parametry robocze toru niejednorodnego

Tor przewodowy, którego własności elektryczne nie są jednakowe na całej jego długości, nazywamy torem niejednorodnym. Zdolność transmisyjną takiego toru w przypadku pracy przy różnych obciążeniach można scharakteryzować za pośrednictwem parametrów roboczych i tłumienności skutecznej A_s i oporności wejściowej \tilde{W} .

Analiza matematyczna odpowiednich wzorów wykazuje, że zarówno oporność jak i tłumienność skuteczna toru zmieniają nieregularnie swoją wartość w funkcji częstotliwości. Przy tym stopień tych zmian jest zależny zarówno od ilości odcinków wchodzących w skład rozpatrywanego toru, jak również ich własności elektrycznych.

Jakkolwiek pomiędzy \tilde{W} i A_s istnieje pewne powiązanie, wyrażające się np. tym, że znajomość jednego z parametrów roboczych pozwala ocenić stopień niejednorodności toru, to jednak niezależnie od tego, każdy z tych parametrów może oddziaływać w sposób odrębny na przesyłanie sygnałów. I tak A_s charakteryzuje w dowolnym przypadku straty i zniekształcenia tłumieniowe, natomiast \tilde{W} — możliwość stabilnej pracy układów posiadających rozgałęźniki.

Istniejące w odniesieniu do sieci użyteczności publicznej normy wymagają, aby tłumienność niezrównoważenia

$$A_n = \ln \left(\frac{\tilde{W} + \tilde{Z}}{\tilde{W} - \tilde{Z}} \right)$$

była nie mniejsza od 3,7 (N). Oczywiście tak ostre wymagania w warunkach sieci wojskowej nie będą w większości przypadków spełnione. Toteż o ile w sieciach cywilnych przestrzeganie tych norm, jako najbardziej ostrego kryterium przesądza dopuszczalną niejednorodność toru, o tyle w warunkach wojskowych trudno przewidzieć, w którym z parametrów \tilde{W} czy A_s wpływ niejednorodności okaże się najgroźniejszy. Będzie to oczywiście zależało od konkretnych warunków pracy toru.

Wpływ niejednorodności i niedopasowania na własności transmisyjne toru

Analiza przebiegu oporności falowych różnych torów w funkcji częstotliwości wykazuje, że średnio stosunek modułów oporności falowych łączonych ze sobą odcinków waha się około liczby 2, a w bardziej niekorzystnych przypadkach może nawet przekroczyć liczbę 3 i 4. Wynika stąd, że istnienie takich połączeń może w pewnych warunkach (przy kilku dostatecznie długich wstawkach i dość wysokich częstotliwościach) wpłynąć znacznie na skrócenie zasięgu porozumiewania się.

Najbardziej typowym przedstawicielem toru niejednorodnego jest tor napowietrzny z wstawkami kablowymi. Potrzeba zastosowania takich wstawek wynika stąd, że z reguły tor dalekosiężny będzie wprowadzony na urządzenia stacyjne za pomocą kabla. Wstawki kablowe mogą być stosowane również w innych przypadkach, jak np. w wypadku zniszczenia odcinka toru wskutek napadu atomowego lub artyleryjskiego, przy przekraczaniu przeszkód wodnych itp.

70

W takich przypadkach wpływ niejednorodności będzie największy, a przy najbardziej nieprzychylnych okolicznościach może się nawet okazać, że straty wynikłe z niedopasowania pomiędzy poszczególnymi odcinkami i obciążeniami będą „współmierne” ze stratami wynikłymi z samych własności elektrycznych toru. Te najniekorzystniejsze przypadki mogą wystąpić zwłaszcza przy połączeniach kilkusetmetrowych odcinków kabla TTWK z torem napowietrzny stalowym, bądź z tyczkówką w zakresie wysokich częstotliwości.

Innym przykładem toru niejednorodnego stosowanego w wojsku jest tor napowietrzny stalowy lub miedziany z wstawkami z polowej linii tyczkowej. W tym przypadku niedopasowanie okazuje większy wpływ tylko w przypadku połączenia toru stalowego z linią tyczkową.

W praktyce można również spotkać się z przypadkiem stosowania toru kablowego z wstawkami kablowymi o innych własnościach. W tych warunkach wpływ niedopasowania jest najczęściej nieduży i może być pominięty (przy niezbyt wysokich częstotliwościach).

We wszystkich wyżej wymienionych przypadkach wpływ poszczególnych czynników powodujących niejednorodność toru będzie uzależniony zarówno od długości rozpatrywanego toru, jak i od długości poszczególnych wstawek.

Wpływ równoległych odgałęzień na własności transmisyjne toru przewodowego

Równoległe odgałęzienia od toru również wpływają ujemnie na przesyłane sygnały. Wpływ ten będzie więcej lub mniej szkodliwy w zależności od rodzaju odgałęzień (ich długości i ilości oraz rodzaju obciążeń). Szkodliwy wpływ odgałęzień przejawiać się będzie tu w postaci dodatkowego wzrostu tłumienności i zniekształceń tłumieniowych.

Zakończenie

Z przeprowadzonej analizy wynika, że niejednorodność toru wywiera ujemny, a w niektórych wypadkach dość znaczny wpływ na jakość transmisyj.

W warunkach wojskowych, jeśli nie brać pod uwagę najbardziej niekorzystnych przypadków, na szczeblu taktycznym można przy pokonywaniu niezbyt dużych (dla danego rodzaju toru) odległości nie liczyć się z niejednorodnością toru.

Natomiast wpływu niejednorodności nie będzie można pominąć w przypadku realizacji połączenia na duże odległości, a więc głównie na szczeblach operacyjnych.

W celu zredukowania do minimum wpływu niejednorodności toru, należy:

- dążyć do skrócenia długości wstawek kablowych (dotyczy to w pierwszym rzędzie kabla wprowadzeniowego TTWK, zwłaszcza przy przesyłaniu wysokich częstotliwości);
- opracować nowy typ kabla wprowadzeniowego, przystosowanego do transmisji wysokich częstotliwości oraz
- ze względu na zapewnienie stabilnej pracy układów z rozgałęźnikami, rozwiązania nowej aparatury nośnej jak i wzmacniaków akustycznych winny iść w kierunku maksymalnego uniezależnienia ich od obciążenia.

71

TEZY DO REFERATÓW
SEKCJI VII

Kpt. mgr inż. T. KĄTCKI

UKŁADY PRZECIWKĄŁOCENIOWE ODBIORNIKÓW RADIOLOKACYJNYCH

Wstęp

Cel referatu:

Referat ma na celu zapoznać z metodami zwalczania zakłóceń sygnału przy pomocy specjalnych układów stosowanych w odbiornikach radiolokacyjnych. W referacie będą omówione sposoby zwalczania zakłóceń zewnętrznych i wewnętrznych, przypadkowych i celowych. W celu wprowadzenia w zagadnienie na wstępie zostaną podane ogólne wiadomości z teorii zakłóceń.

Rys historyczny:

Ciągłe zwiększanie czułości odbiorników, a w związku z tym możliwość odbioru coraz to słabszych sygnałów zmusiło do opracowania metod odbioru sygnału przy stosunku sygnału do zakłócenia bliskim jedności. Zagadnienie to stało się w centrum zainteresowań uczonych wszystkich krajów. Między innymi radzieccy uczeni Szczukin, Kotielnikow i Momot przeprowadzili na ten temat cały szereg teoretycznych badań. Zagadnienie zakłóceń jest szczególnie ważne w radiolokacji, gdyż wiąże się ono ściśle z problemem pewności wykrycia celu, jak również z zasięgiem stacji. Oprócz zagadnienia walki z zakłóceniami przypadkowymi, jak szumy własne, odbicia od przedmiotów stałych, chmur, fal morskich i nierówności ziemi oraz sygnały stacji pracujących na zbliżonej częstotliwości, opracowano również problem odbioru przy zakłóceniach celowych wytwarzanych przez nieprzyjaciela. Między innymi Niemcy stosowali w czasie ubiegłej wojny cały szereg przystawek do stacji Würzburg, umożliwiających pracę przy zakłóceniach. Obecnie zagadnienie walki z zakłóceniami jako jedno z najważniejszych przy wszelkiego rodzaju łączności radiowej, jest opracowywane przez całe zespoły uczonych we wszystkich krajach produkujących techniki.

ROZDZIAŁ I.

OGÓLNE WIADOMOSCI Z TEORII ZAKŁÓCEŃ

Klasyfikacja zakłóceń

Zróżdka zakłóceń. Zakłócenia zewnętrzne i wewnętrzne. Zakłócenia przypadkowe i celowe. Zakłócenia atmosferyczne. Odbicia od przedmiotów stałych, chmur, opadów, nierówności ziemi itp. Sygnały radiostacji pracujących na tym samym zakresie. Szumy własne odbiornika. Podział zakłóceń

ze względu na charakter sygnału. Fala nośna niemodulowana. Fala nośna modulowana w amplitudzie lub częstotliwości sygnałem regularnym. Fala nośna modulowana sygnałem zmieniającym się chaotycznie. Fala nośna modulowana impulsowo.

Ogólne wiadomości z matematycznej analizy szumów

Podstawy matematycznej analizy szumów. Średnie wartości. Związek funkcji korelacji z widmem sygnału. Przykład widm. Rozkład Gaussa i jego niektóre własności. Procesy stochastyczne. Określenie pojęcia „sygnał progowy”. Kryteria wykrywalności sygnału w obecności zakłócenia.

Wpływ poszczególnych parametrów odbiornika na sygnał progowy

Zależność od szerokości pasma wzmacniacza częstotliwości pośredniej. Zależność od szerokości pasma wzmacniacza wirtynego. Zależność od charakterystyki detektora. Zaagndzenie częstotliwości powtarzania. Całkowanie i korelacja.

ROZDZIAŁ II

UKŁADY PRZECIWKŁÓCENIOWE

Klasyfikacja układów

Podział układów ze względu na metodę polepszania stosunku sygnału do szumu. Układy całkujące. Układy korelacyjne. Układy z optymalnym kształtem charakterystyki selektywności. Zagadnienie przeciężenia odbiornika sygnałem zakłócającym i rodzaje układów zapobiegających przeciężeniu.

Układy całkujące

Zagadnienie sygnału progowego przy powtarzającym się impulsie. Zasada działania układów całkujących. Rodzaje układów całkujących. Opis układu odbiornika z urządzeniem całkującym. Wnioski co do stosowności układów całkujących w odbiornikach radiolokacyjnych.

Układy korelacyjne

Pomiar funkcji korelacji sygnału będącego kombinacją chaotycznego zakłócenia i napięcia zmieniającego się regularnie. Korelatory mechaniczne. Korelatory elektryczne. Zasada pracy korelatora elektrycznego. Wnioski co do stosowności układów korelacyjnych w odbiornikach radiolokacyjnych.

Układy z optymalnym kształtem charakterystyki selektywności

Dobór charakterystyki selektywności przy założeniu minimalnego stosunku zakłócenia do sygnału w zależności od typu zakłócenia. Optymalna charakterystyka selektywności dla zakłócenia o typie białego szumu. Filtry

76

grzebleniowe. Optymalna charakterystyka przy zakłóceniach niemodulowaną falą nośną. Układy z małą stałą czasu. Układy stosowane przy zakłóceniach impulsowych.

Układy zapobiegające przeciężeniu odbiornika sygnałem zakłócającym

Odbiornik liniowo-logarytmiczny. Zasada działania. Możliwość realizacji. Natychmiastowa regulacja wzmacnienia. Stosowane układy. Układy zapobiegające przeciężeniu dla wypadku, kiedy sygnał zakłócający zmienia swe natężenie odpowiednio do odległości. Zasięgowa regulacja wzmacnienia. Porównanie układów do zapobiegania przeciężenia odbiornika i wnioski co do możliwości stosowania w odbiornikach radiolokacyjnych.

Wpływ detektora na sygnał progowy

Rodzaje detektorów. Detektor liniowy. Detektor z heterodyną współbieżną. Zagadnienie wydzielenia celów ruchomych. Ulepszone typy detektorów. Detekcja z wydzieleniem składowej stałej powstałej na skutek szumów. Detektor działający od pewnego poziomu sygnału. Porównanie typów detekcji ze względu na sygnał progowy.

Praktyczne rezultaty osiągnięte przy stosowaniu układów przeciwkłóceniovych

Omówienie danych otrzymanych z pomiarów odbiorników posiadających urządzenia przeciwkłóceniovych. Korzyści osiągane przy stosowaniu kilku układów. Wskazówki jakie wynikają stąd dla konstruktora odbiorników radiolokacyjnych.

Zakończenie

Podsumowanie referatu. Perspektywy rozwoju urządzeń przeciwkłóceniovych. Wnioski co do stosowania rodzaju modulacji. Możliwości stosowania poszczególnych układów w urządzeniach znajdujących się na uzbrojeniu.

77

TEZY DO REFERATÓW
SEKCJI VIII
A. PODSEKCJI FIZYKI

Plk doc. dr J. GIERULA

NOWOCZESNE METODY DETEKCJI I POMIARÓW PROMIENIOWANIA GAMMA

Zasady detekcji promieniowania gamma; oddziaływanie kwantów promieniowania gamma z materią poprzez trzy procesy — fotoefekt, zjawisko Comptona i tworzenie się par elektronowych.

Wydajność detekcji promieniowania gamma w detektorach typu gazowego jest mała ze względu na złą „przezroczystość elektronową” metali. Licznik scyntylacyjny jest detektorem wysokiej wydajności głównie z powodu przezroczystości optycznej scyntylatorów.

Licznik scyntylacyjny wykazuje wiele cech dodatnich w stosunku do dawniej stosowanych detektorów promieniowania. Licznik scyntylacyjny ze względu na cechę proporcjonalności nadaje się doskonale do badania widma energetycznego promieniowania gamma. Zasada pomiaru energii kwantów polega na segregowaniu impulsu przez użycie dyskryminatorów lub innych aparatów specjalnych (jedno i wielokryształowe urządzenia do pomiaru energii promieniowania gamma).

Duże kryształy (duże scyntylatory ciekłe i plastikowe) stwarzają możliwości stosowania metody całkowitej absorpcji.

W dziedzinie najwyższych energii zarysowują się różne możliwości pomiarowe przez zastosowanie wielkich scyntylatorów. Powstaje możliwość detekcji energii wydzielającej się przy rozwoju kaskady fotonowo elektronicznej w kryształach lub scyntylatorach ciekłych.

Mgr. inż. K. MIKKE

KOMUNIKAT N. T.

„ROZPRASZANIE POWOLNYCH NEUTRONÓW NA PROTONACH
ZWIĄZANYCH W DROBINACH CIECZY”

1. Przesłanki teoretyczne i dotychczasowe wyniki doświadczalne.
2. Pomiar gęstości badanych substancji.
3. Opis aparatury do pomiaru strumienia neutronów.
4. Opis metody pomiaru przekroju czynnego.
5. Wyniki własnych prac doświadczalnych.
6. Porównanie otrzymanych wyników z teorią.

Mgr. F. BOROWSKI

KOMUNIKAT N. T.

„ROZPRASZANIE POWOLNYCH NEUTRONÓW PRZEZ PROTONY
ZWIĄZANE W DROBINACH PRZEJAWIAJĄCYCH WEWNĘTRZNA
ROTACJĘ ZAHAMOWANA”

1. Przesłanki teoretyczne.
2. Metoda pomiarowa i aparatura.
3. Wyniki pomiarów przekroju czynnego na rozpraszanie neutronów.
4. Wnioski z otrzymanych wyników.

82

Mgr. W. RATYŃSKI

KOMORA DYFUZYJNA DO OBSERWACJI CZĄSTEK
JONIZACYJNYCH

- I. Możliwość obserwacji torów cząstek jonizacyjnych czyni z komory Wilsona jeden z najważniejszych przyrządów współczesnej fizyki jądrowej. Cząstki jonizacyjne wprowadzone do wnętrza komory wytwarzają wzdłuż swego toru jony gazu, którym komora jest wypełniona. Powstałe jony są ośrodkami kondensacji pary cieczy, która również znajduje się w komorze. Skondensowana na jonach para tworzy małe kropelki, które przy odpowiednim oświetleniu, są obserwowalne. W ten sposób wzdłuż toru cząstki jonizacyjnej pojawia się linia złożona z kropełek cieczy. Ta ogólna zasada działania komory zostanie w referacie omówiona szerzej pod względem teoretycznym i technicznym.
- II. Znajdziemy warunki równowagi dla kropelki cieczy znajdującej się w parze tej samej cieczy. Stan układu będziemy określać ciśnieniem i temperaturą. Aby znaleźć warunki równowagi, należy rozpatrzyć potencjał termodynamiczny $\Phi(p, T, \nu_1, \nu_2, n)$ i znaleźć warunki na jego minimum przy uwzględnieniu powierzchniowej energii swobodnej. Jeżeli wewnątrz kropelki znajduje się ładunek elektryczny, to do wyrażenia na potencjał termodynamiczny wejdzie energia swobodna pola elektrycznego z uwzględnieniem stałych dielektrycznych cieczy i pary.
- III. Zasada budowy komory dyfuzyjnej jest następująca: zwykle składa się ona ze szczelnego naczynia w kształcie walca, zawierającego wewnątrz gaz (powietrze, dwutlenek węgla). Ciecz organiczna (alkohol metylowy) w temperaturze około 293° K jest umieszczona na pierścieniowej tacy w górnej części komory. Para cieczy dyfunduje poprzez gaz do dna komory utrzymywanego w temperaturze około 213° K. Blisko dna wytwarza się warstwa pary, która przez odpowiedni wybór stężenia pary w gazie, temperatury dna i góry komory staje się „wrażliwa” na ładunki elektryczne. Tory cząstek jonizacyjnych są zatem obserwowalne w poziomej warstwie o wysokości kilku centymetrów.
- IV. Teoretycznie będzie rozpatrzona komora dyfuzyjna działająca z parą alkoholu metylowego i powietrzem pod normalnym ciśnieniem przy dużym gradencie temperatury. Rozkład temperatury, ciśnienia pary i przyspieszenia będzie funkcją liczby jonów-wytworzonych w cm² w ciągu sekundy. Wnioski płynące z teoretycznego szkicu komory dyfuzyjnej będą zilustrowane na przykładach niektórych komór dotychczas zbudowanych.

83

Por. mgr W. BEDELEK

WŁAŚCIWOŚCI I ZASTOSOWANIE PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO

A. Wstęp. Historyczny przegląd najważniejszych odkryć i wynalazków w dziedzinie podczerwieni, od badań Herschela aż po dzień dzisiejszy.

B. Ogólne właściwości podczerwieni.

1. Promieniowanie temperaturowe i jego prawa. Omówienie jakościowe i ilościowe podstawowych praw rządzących promieniowaniem termicznym: prawa Kirchhoffa, Wien'a, Planck'a oraz Stefana — Boltzmann'a.

2. Pochłanianie, odbijanie i rozpraszanie promieni podczerwonych oraz wpływ atmosfery. Podstawowe zależności ilościowe. Dyskusja pod kątem widzenia potrzeb wojskowych.

3. Źródła podczerwieni.

a) laboratoryjne: ciała doskonale czarne, metale, węgiel, palniki Nernsta i Adera, lampy rtęciowa i inne.

b) techniczne: promienniki żarowe, rury kwarcowe, promienniki gazowe itp.

Szczegółowy budowy tych źródeł, ich zdolności emisyjne oraz możliwości wykorzystania. Wymagania stawiane źródłom podczerwieni w wypadku ich zastosowania w technice wojskowej.

4. Filtry. Przykłady różnych rodzajów filtrów: filtry płynne, różne rodzaje szkła, kwarcu, minerały, papier, substancje organiczne, tworzywa sztuczne i inne. Metoda promieni resztkowych. Przepuszczalność omówionych rodzajów filtrów. Dyskusja i wybór filtrów nadających się do celów wojskowych.

5. Metoda detekcji;

a) detektory termiczne: termoelementy, termostopy, radiometry, bolometry;

b) detektory fotoelektryczne;

c) fotografia.

Budowa, zasady działania i właściwości omówionych detektorów. Możliwości rozwojowe w przyszłości.

C. Zastosowania promieni podczerwonych.

1. W medycynie. Działanie promieni podczerwonych na organizm ludzki: czułość oka i zachowanie się skóry. Wykorzystanie właściwości promieni podczerwonych w lecznictwie: lampy do naswietlań, wykonywanie zdjęć w podczerwieni.

2. W chemii. Analiza widmowa w chemii organicznej. Widma w podczerwieni. Wnioski co do budowy molekuł.

3. W technice fotograficznej. Przykłady zastosowań fotografii w podczerwieni: zdjęcia w ciemności, zdjęcia dokonywane z dużych odległości, zastosowanie fotografii podczerwonej w astronomii, kryminalistyce itd.

48

Zastosowanie metod fotografowania w podczerwieni do celów wojskowych (rozpoznanie, maskowanie itd.).

4. W technice suszenia przemysłowego. Ogrzewanie metodą napromieniowywania. Zalety suszenia przez nasświetlanie promieniami podczerwonymi. Układy promienników (piece, tunele itp.) oraz metody suszenia, przykłady. Możliwości rozwojowe techniki napromieniowywania podczerwieni.

5. Zastosowania wojskowe podczerwieni. Wzrastające znaczenie techniki podczerwieni w wojsku. Przykłady najważniejszych przyrządów i urządzeń na promienie podczerwone: urządzenia alarmowe, łącznościowe, noktowizyjne itd. Omówienie podstawowych zasad budowy tych urządzeń oraz ich działania. Szybki rozwój techniki podczerwieni w ostatnich latach i szerokie perspektywy rozwojowe w przyszłości w oparciu o najnowsze osiągnięcia naukowe w tej dziedzinie.

TEZY DO REFERATÓW
SEKCJI VIII
B. PODSEKCJI TECHNOLOGICZNEJ

WOTARRR 00 7387
DIV 11048
M. B. BARKER: J. T. BROWN: J. C. BROWN

Prof. dr K. WESOŁOWSKI

SPAWANIE ŻELIWA NA ZIMNO ZA POMOCĄ NOWEJ ELEKTRODY

1. Wstęp

Największą trudność przy spawaniu żeliwa na zimno stanowi wytworzenie podczas spawania warstwy przejściowej między żelwem a spoiwem o strukturze surówki białej. Warstwa ta jest bardzo twarda, lecz jednocześnie bardzo krucha i z tego powodu jest ona najczęściej bezpośrednią przyczyną wszystkich niepowodzeń przy spawaniu żeliwa.

2. Wytworzenie nowych elektrod i spawanie za ich pomocą żeliwa szarego

Abym zapobiec tworzeniu się tej przejściowej warstwy, wyprodukowano szereg elektrod stalowych z odpowiednią otuliną, w której głównymi składnikami były pierwiastki powodujące grafityzację cementytu i koagulację grafitu.

Pomimo licznych prób nie udało się dotychczas uzyskać całkowitego usunięcia twardej warstwy przejściowej, aczkolwiek uzyskana warstwa miała często bardzo nieznaną grubość.

Wobec tego, że na tej drodze nie spodziewano się już uzyskać dalszego poprawienia procesu, postanowiono zastosować jeszcze dodatkową atmosferę, która łatwo dyfundowałaby do żeliwa i powodowała jego szybszą grafityzację.

Trudności spowodowane brakiem dostatecznej przyczepności otuliny do drutu spowodowały dodatkowe zastosowanie zamiast specjalnych elektrod — specjalnych past, przy których zastosowano normalne elektrody niskowęglowe.

3. Przeprowadzenie badań spoiny

Wszystkie spoiny poddano badaniu metalograficznemu i badaniu miękkości od żeliwa do spoiwa.

Kand. nauk techn. M. RADWAN

**WYKRYWANIE WAD PRZY RADIOGRAFICZNYM BADANIU METALI
PROMIENIAMI γ NATURALNYCH PIERWIASTKÓW
PROMIENIOTWORCZYCH**

1. Rozpadowi naturalnych pierwiastków promieniotwórczych towarzyszy często wydzielanie się kwantów γ o energii 0,58—2,62 MeV. Dzięki temu pierwiastki te używa się jako źródła promieniowania do badań radiograficznych metali o dużych grubościach.
2. Wykrywalność wad w radiografii zależy od energii promieni γ użytych do badania. Dlatego też różne pierwiastki promieniotwórcze powinny znaleźć zastosowanie do badań jedynie określonej grubości metalu.
3. Aby określić optymalny zakres badania przy pomocy promieni γ danego pierwiastka, należy określić teoretyczną wykrywalność wad ze wzoru:

$$\Delta a_g = \frac{\Delta D_g}{\mu_x \cdot \gamma \cdot 0,434}$$

Występujące w tym wzorze μ_x możemy określić teoretycznie i doświadczalnie. Teoretycznie z obliczonej krzywej osłabienia, określonej funkcją będącą sumą funkcji osłabienia poszczególnych prążków widma promieni γ oraz doświadczalnie z krzywej osłabienia pomierzonej przy pomocy licznika Geigera-Müllera.

- Gradient γ należy określić doświadczalnie, zdejmując krzywą charakterystyczną emulsji błon przy zużyciu promieni danego pierwiastka.
5. Posługując się podaną powyżej metodą, w pracy niniejszej przeprowadzono badania nad zużyciem radu jako źródła promieniowania γ .

Obliczono krzywą osłabienia ze wzoru:

$$I_x = I_0 (c_1 \cdot e^{-\mu_1 x} + c_2 \cdot e^{-\mu_2 x} + \dots + c_n \cdot e^{-\mu_n x}),$$

gdzie c_1, c_2, \dots, c_n , udział danego prążka w widmie promieni γ .

Stąd przyjmując $\mu_{xx} = \frac{\ln I_2 - \ln I_1}{a_2 - a_1}$ dla $x = a_0$ obliczono teoretyczny

zastępczy współczynnik osłabienia dla grubości stali 0 do 200 mm. Doświadczalny zastępczy współczynnik osłabienia obliczono na podstawie doświadczalnie zdjętej krzywej osłabienia przy zużyciu szerokiej i wąskiej wiązki promieni γ .

6. W taki sposób otrzymano trzy krzywe teoretycznej wykrywalności wad. Krzywe te mówią nam, że wykrywalność wad zostaje zmniejszona na skutek działania promieniowania rozproszonego powstającego w badanym przedmiocie.

90

7. Przeprowadzono porównanie krzywych teoretycznej wykrywalności wad z doświadczalnie otrzymanymi krzywymi dla sztucznie wykonanych wad różnej wielkości i kształtu, co pozwala wyciągnąć wniosek, że podana metoda może służyć do określenia teoretycznej wykrywalności wad przy radiograficznym badaniu metali za pomocą promieni γ izotopów promieniotwórczych.

Określając bowiem teoretyczną wykrywalność wad przy radiograficznym badaniu metali za pomocą izotopów promieniotwórczych, możemy określić zakres grubości, w którym ta wykrywalność jest najlepsza, a tym samym określić, jaki izotop promieniotwórczy nadaje się najlepiej do radiograficznego badania danych przedmiotów.

Prof. dr T. PELCZYŃSKI
i inż. W. DEBSKI

WŁASNOŚCI MECHANICZNE I PLASTYCZNE POLICHLORKU WINYLU

Dobre własności mechaniczne oraz technologiczne polichlorku winylu spowodowały, że tworzywo to znajduje coraz szersze zastosowanie do wyrobu elementów konstrukcyjnych oraz galanterii i przedmiotów gospodarstwa domowego.

Szersze stosowanie P.C.W. do wyrobu elementów konstrukcyjnych było utrudnione z powodu braku dokładniejszych danych dotyczących własności mechanicznych oraz zachowania się przy złożonych stanach naprężenia.

Celem niniejszej pracy jest ustalenie kryteriów określających wyłączenie materiału odnośnie granicy plastyczności oraz zbadanie zachowania się jego w stanie plastycznym.

Badania przeprowadzone zostały dla płaskiego stanu naprężenia, a mianowicie dla dwuosiowego równomiernego rozciągania, jednoosiowego rozciągania, skręcania i jednoosiowego ściskania oraz dla stanów pośrednich.

Przeprowadzone badania wykazały, że najlepszą miarą stopnia wyłączenia materiału odnośnie granicy plastyczności, jest wartość największego wydłużenia.

Prof. dr inż. E. KUCZYŃSKI

PRZEKŁADNIE GLOBOIDALNE A MOŻLIWOŚĆ STOSOWANIA ICH W SPRZĘCIE WOJSKOWYM

1. Wstęp: W przekładniach globoidalnych oba elementy stanowiące przekładnię są globoidami, w odróżnieniu od zwykłych przekładni ślimakowych, w których ślimak nacięty jest na wałcu.

W przekładniach globoidalnych zwiększa się powierzchnie dolegania, a obciążenie rozkłada się na większą ilość zębów koła ślimakowego, tym samym zmniejszając zużycie zębów.

Ślimaki przekładni globoidalnych mogą być wykonane jako ślimaki spiralne lub ewolwentowe. Które z obu wykonani wykazuje większą sprawność, nie jest jeszcze dostatecznie wyjaśnione. W Związku Radzieckim stosuje się szeroko tylko ślimaki spiralne.

2. Geometria przekładni globoidalnej

Dla obliczenia wymiarów tak koła jak i ślimaka, prócz danych wyjściowych (moc, obroty, przełożenie) należy obrać rodzaj ząszębnienia, tj. albo szczelne (bez luzu), albo z luzem obwodowym i wyznaczyć rachunkowo kąty zarysu zwojów ślimaka i zębów koła. Dla ułatwienia konstrukcji proponuje autor wprowadzenie koła konstrukcyjnego, na którego obwodzie leżą punkty przecięcia się boków zębów koła ślimakowego. Wskazana jest normalizacja odległości środków koła i ślimaka oraz modułów i przełożeń; zależność wielkości przełożeń od technologii. Zmniejszenie grubości zwojów ślimaka od strony wejścia i wyjścia w ząszębnienie z kołem ślimakowym jako warunek dobrej pracy przekładni.

Rola wykresów autora w obliczaniu wymiarów geometrycznych przekładni.

3. Wytrzymałościowe obliczenie przekładni

Sprowadzenie istniejących wzorów do postaci zasadniczej i rozwiązywanie ich metodą graficzną (autora), przy czym istnieje konieczność przeanalizowania danych wyjściowych cytowanych w literaturze. Dla wykazania zalet przekładni globoidalnej wykonano obliczenie porównawcze z przekładnią zwykłą dla tej samej mocy obrotów i przełożenia.

Obliczanie przekładni globoidalnej na grzanie opiera się na tych samych zasadach co i zwykłych. W obliczeniach wytrzymałościowych ślimaka należy uwzględnić dużą wymaganą jego sztywność i odpowiedni dobór łożysk.

4. Technologia i montaż

Jak podano w rozdziale wstępnym, ślimaki globoidalne mogą być wykonane jako spiralne, wówczas mogą być toczone nożem wzgl. frezowane frezem palcowym, lub jako ewolwentowe (wzgl. pseudoewolwentowe).

wówczas mogą być frezowane frezem tarczowym i po obróbce cieplej szlifowane tarczą soczewkową. Omówienie w skrócie potrzebnego parku maszynowego. Dokładność wykonania i dokładność montażu gwarantuje prawidłową pracę i trwałość przekładni.

5. Zastosowanie przekładni

Istnieją w literaturze światowej i nieliczne w polskiej — wypowiedzi na temat zastosowania przekładni globoidalnych. W rzeczywistości przekładnie tego typu są stosowane tak w krajach kapitalistycznych jak i przede wszystkim w ZSRR i to z wynikami bardzo dobrymi tak w budowie np. samochodów, jak i maszyn budowlanych i dźwigowych.

Warunki zastosowania przekładni tego typu w sprzęcie wojskowym, np. w maszynach dźwigowych i czołgach. Przykład przeliczenia i zamiany istniejącej zwykłej przekładni ślimakowej na globoidalną. Perspektywy zastosowania do przekładni globoidalnych materiałów zastępczych, tak w ogólnej budowie jak i w sprzęcie wojskowym.

Kpt. mgr inż. ST. KOCANDA

KOMUNIKAT N. T.: „WŁASNOŚCI MECHANICZNE ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH ULEPSZONYCH POWIERZCHNIOWO NA DRODZE CHROMOWANIA“

1. Przegląd wyników dotychczasowych, własnych doświadczeń nad mechanicznymi własnościami pochromowanych elementów poddanych różnego rodzaju obciążeniom.
2. Własności plastyczne materiału pochromowanych części ulegają wydatnej zmianie w porównaniu z własnościami materiału pokrywanego, chociaż warstwa chromu jest stosunkowo bardzo cienka (0,01–0,1 mm). Celem dokładniejszego zbadania wpływu warstwy chromu, przeprowadza się następujące grupy doświadczeń:
 - a) zbadanie wpływu skali; różne grubości warstwy chromu na próbkach o różnych średnicach, poddanych rozciąganiu,
 - b) zbadanie współpracy warstwy chromu z podstawowym materiałem próbek,
 - c) zbadanie własności plastycznych pochromowanych próbek przy obciążeniu uderowym.
3. Wpływ obróbki cieplnej pochromowanych elementów na własności mechaniczne.
4. Próba ustalenia wielkości naprężeń wstępnych w pochromowanych próbkach, jako istotnej przyczyny zmiany własności mechanicznych tych próbek.

TEZY DO REFERATÓW
SEKCJI VIII
C. PODSEKCJA ELEKTROTECHNIKI

Mgr A. SZULCE

**ÚCHYBY OSCYLOGRAFÓV PÉTLICOVYCH I METODY ICH
WYZNACZANIA**

Uchyby zapisu oscylografów pętlcowych sprowadzają się do uchybu amplitudy i uchybu fazy.

Podane przez autora wzory pozwalają wysnuć wniosek, że uchyb amplitudy zależy zarówno od częstotliwości drgań własnych organu ruchomego oscylografu, od stałej tłumienia osrodka tłumiącego oraz od częstotliwości badanego procesu.

Na podstawie podanych przez autora wzorów można określić wartości uchybów amplitudy i fazy. Autor podaje dwie metody analizy uchybów: jedną, którą można stosować do analizy uchybów przy zapisie przebiegów periodycznych oraz drugą, która nadaje się szczególnie dobrze do analizy zapisów przebiegów aperiodycznych.

W oparciu o podane metody autor podaje sposoby poprawiania harmonogramów.

Mgr inż. M. KĘDZIERSKI

OPTYMALNE WARUNKI POMIARU MOSTKIEM PRĄDU STAŁEGO

Mimo wielu rozpraw na temat czułości i dokładności pomiaru układów mostkowych prądu stałego, nie ma ogólnie uznanych zasad.

Liczne zastosowania układów mostkowych do pomiaru wielkości zarówno elektrycznych jak i nieelektrycznych, stawiają przed układami mostkowymi coraz to większe wymagania co do czułości i dokładności. Zasadniczo zależy nam na uzyskaniu optymalnych warunków pomiaru, przy których uzyskuje się jednocześnie największą dokładność pomiaru i największą czułość układu. Dokładność pomiaru określona jest błędem systematycznym i przypadkowym. Do błędu systematycznego wchodzi nie tylko uchyb elementów, ale także uchyb układu zwany często uchybem czułości układu.

Autor w swojej pracy zajął się tylko uchybem układu i czułości układu, pomijając uchyb systematyczny elementów. Na podstawie analitycznych rozważań ustalono warunki maksymalnej czułości i najmniejszego błędu układu, przyjmując zmienność oporności ramion mostka, wskaźnika zerowego i stałość napięcia zasilającego. Przyjęto także, że oporność wewnętrzna źródła napięcia jest bardzo mała i praktycznie pomijalna wobec oporności ramion mostka i galwanometru.

Autor wprowadził pojęcie tzw. czułości właściwej i czułości pozornych mostka, dając matematyczny związek między tymi wielkościami. Ustalono również matematyczną zależność między czułością układu a błędem pomiaru. Warunek maksymalnej czułości układu i warunek minimalnego błędu pomiaru zachodzą dla tych samych wartości zmiennych i pozwalają na ustalenie optymalnych warunków pomiaru. Funkcje matematyczne wyrażające czułość układu i błąd pomiaru nie posiadają, jak funkcje wielu zmiennych, absolutnych ekstremów, lecz badanie i wykresy tych funkcji pozwalają na ustalenie optymalnych warunków pomiaru w układach praktycznych. Ponieważ czułość układu i dokładność pomiaru są funkcjami trzech zmiennych, autor skorzystał z jednej zmiennej jako parametru i ustalił także warunek dopasowania oporności mostka do oporności krytycznej galwanometru.

Dla potwierdzenia wywodów teoretycznych przeprowadzono cały szereg pomiarów, które potwierdzają rozważania matematyczne, a uzyskane wyniki pomiaru pokrywają się z obliczeniami analitycznymi.

Mgr inż. D. ZATONSKI

BADANIE OSCYLOGRAFICZNE SPAWARKI WIRUJĄCEJ

1) W ramach zagadnień naukowych działu maszyn specjalnych wyłoniła się potrzeba dokładnego poznania spawarki typu Rosenberga. Maszyna ta znajduje coraz szersze zastosowanie w technice wojskowej, przy czym jest ona podstawą wyjściową wszystkich maszyn o polu poprzecznym, jak amplityna, metodyna i inne. Celem pracy jest zbadanie zachowania się pola magnetycznego i jego rozkładu w maszynie o polu poprzecznym. Wiadomości tych brak jest w krajowej literaturze. Pozwolą one uzupełnić program nauczania oraz umożliwią bardziej wnikliwą analizę pracy maszyny.

2) Rozkład indukcji na obwodzie twornika określa się doświadczalnie za pośrednictwem SEM-ych indukowanych w cewce umieszczonej w szczelinie maszyny. Przy stałej prędkości cewki SEM będzie proporcjonalna do indukcji w różnych miejscach pola. Pomiaru SEM dokonuje się za pomocą woltomierza, galwanometru balistycznego lub oscylografu. Miejscem powstania SEM jest uzwojenie twornika lub dodatkowa cewka na nim uzwojona. Sposoby te umożliwiają pomiar indukcji pola podczas ruchu maszyny. W postoju rozkład pola otrzymuje się za pomocą pomiaru SEM — sondą z drutu miedzianego lub z drutu bizmutowego.

3) Do badań spawarki zastosowano cewkę dodatkową umieszczoną w żłobku twornika i oscylograf. Ze względu na brak symetrii strumienia, w badanej maszynie cewka probiercza ma tylko jeden bok, którego końce są doprowadzone przez pierścienie i szczytki dodatkowe do pętli oscylografu. W tak przygotowanej maszynie wykonano najpierw charakterystyki jej normalnej pracy, następnie inne pomocnicze pomiary umożliwiające przeprowadzenie właściwych badań. W wyniku otrzymano przebiegi magnetyczne pola podłużnego i poprzecznego maszyny w różnych warunkach pracy maszyny. Pomiary te wykonano łącznie przy współdziałaniu poszczególnych strumieni i indywidualnie. Poza tym zostały zdjęte przebiegi strumienia szczytkowego i biegunów komutacyjnych.

TEZY DO REFERATÓW
SEKCJI VIII
D. PODSEKCJI MECHANIKI

Kpt. mgr inż. H. ZORSKI

ZAGADNIENIA CAUCHY'EGO I DYNAMICZNE ZAGADNIENIA
BRZEGOWE TEORII PLYT

I. Wstęp

Cel i ogólna charakterystyka pracy

II. Przypadek nieskończenie dużej prędkości fali giętnej
(równanie paraboliczne)

1. Rozpatrując funkcjonal działania Hamiltona wyprowadza się następujący wzór — tożsamość (uogólniający w pewnym sensie wzór Betti'ego na stan dynamiczny) w przestrzeni trójwymiarowej x, y, z :

$$H(u, v) = \int_V \left(\nabla \nabla u + \frac{\rho h}{D} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) v \cdot dV + \int_S \left\{ M(u) \frac{\partial v}{\partial n_p} + R(u) v \right\} \sin n_p t + \frac{\rho h}{D} \frac{\partial u}{\partial t} v \cos n_p t \Big\} dS = H(v, u), \quad (1)$$

gdzie $M(u)$ i $R(u)$ są odpowiednio momentem i siłą na brzegu; całkowanie odbywa się po obszarze trójwymiarowym V , którego powierzchnią ograniczającą jest S ; n_p — normalna do S .

2. Wzór (1) stosuje się do poszukiwanego rozwiązania zagadnienia Cauchy'ego i do rozwiązania osobliwego odpowiadającego sile impulsywnej skupionej w punkcie $P(x, y, z)$, przy czym za obszar całkowania V przyjmuje się cylinder o wysokości t i przekroju Ω , po czym przechodzi się do obszaru nieskończonego, aby pokryć obszar nieskończony początkowy Ω^∞ . W wyniku otrzymuje się rozwiązanie zagadnienia Cauchy'ego dla równania parabolicznego

$$\nabla \nabla u + \frac{\rho h}{D} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

przy danych początkowych

$$u(P, 0) \text{ oraz } \frac{\partial}{\partial t} u(P, 0) \quad (3)$$

malejących dostatecznie szybko przy $P \rightarrow \infty$. Rozwiązanie to, jeśli oznaczyć przez $v^*(P-Q; t-\tau)$ wspomniane rozwiązanie osobliwe, które otrzymano metodą operatorową lub przez sprowadzenie (2) do równania Whittaker'a

$$v^*(P-Q; t-\tau) = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{D}{\rho}} \left[\frac{\pi}{2} - \text{Si} \left(\frac{1}{4} \sqrt{\frac{D}{\rho}} \frac{r^2}{t-\tau} \right) \right] \quad (4)$$

105

ma postać:

$$u(P, t) = \int_0^t dt \int_{\Omega} \frac{q(Q, \tau)}{D} v^x(P-Q, t-\tau) d\Omega + \frac{\partial h}{\partial t} \int_{\Omega_0} [v^x(P-Q, t) \frac{\partial u}{\partial t}(Q, 0) + - \frac{\partial}{\partial t} v^x(P-Q, t) u(Q, 0)] d\Omega_0 \quad (5)$$

Rozpatruje się zastosowanie (5) do różnych danych początkowych i wylicza się przykłady liczebne.

3. Wprowadza się różne potencjały podobne do $v^x(P-Q; t-\tau)$ i dające siłę stałą działającą od $t=0$, momenty impulsywne i stałe — działające od $t=0$ itp. Poszukuje się rozwiązania zagadnienia brzegowego w postaci sumy dwóch potencjałów rozłożonych na brzegach płyty L , przy czym sprowadza się zagadnienie do jednorodnych warunków początkowych i niejednorodnych warunków brzegowych:

$$u(P, t) = \int_0^t (t-\tau) dt \int_{L_0} [\mu_1(Q, \tau) v_1^x(P-Q, t-\tau) + \mu_2(Q, \tau) v_2^x(P-Q, t-\tau)] dL_0 \quad (6)$$

Warunki brzegowe dają układ równań całkowych pierwszego lub drugiego rodzaju; układ ten ma charakter równań Volterra'ego dla zmiennej t i Fredholma dla zmiennych x, y :

$$k_1 \mu_1(P, t) + \int_0^t (t-\tau) dt \int_L [K_{11}(P, Q; t-\tau) \mu_1(Q, \tau) + K_{12}(P, Q; t-\tau) \mu_2(Q, \tau)] dL_0 = w_1(P, t) \quad (7)$$

$$k_2 \mu_2(P, t) + \int_0^t (t-\tau) dt \int_L [K_{21}(P, Q; t-\tau) \mu_1(Q, \tau) + K_{22}(P, Q; t-\tau) \mu_2(Q, \tau)] dL_0 = w_2(P, t)$$

k_1 i k_2 są stałymi, które zależą od charakteru wprowadzonych potencjałów i są (jedno z nich lub obydwie) równe lub różne od zera. Rozwiązanie układu (7) otrzymuje się dowolną z metod przybliżonych. Jako przykład zastosowania równań (7) rozpatrzono następujące zagadnienie: płyta kołowa podparta słupem obciążona jest obciążeniem stałym; w pewnym momencie słup pęka; wyznacza się ruch i naprężenia w płycie. Podaje się uogólnienie na przypadek obciążenia zmiennego $q(x, y; t)$.

4. W szeregu przypadków (głównie tam, gdy ważne jest zachowanie się płyty natychmiast po przyłożeniu obciążenia impulsywnego) konieczne jest uwzględnienie skończonej prędkości rozchodzenia się fali giętej i stosowania równań Timoszenki-Uflanda i do nich podobnych.

Objętość 6,75 ark. druk. Drukowano na papierze druk. sat. kl. V, 60 g, form. B1. w Wojskowej Drukarni w Łodzi. Zam. nr 9 z 10.01.56. Druk ukończono 30.01.56. CW-27116

9
11



BIULETYN

WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ

Im. Jarosława Dąbrowskiego

ZAGADNIENIA
OGÓLNOTECHNICZNE

ROK V STYCZEŃ 1 (57)
WARSAWA 1956

**BIULETYN
WOJSKOWEJ AKADEMII
TECHNICZNEJ**
Im. Jarosława Dąbrowskiego

ZAGADNIENIA
OGÓLNOTECHNICZNE

ROK V STYCZEŃ 1 (57)
WARSZAWA 1956

SPIS TREŚCI

Doc. känd. nauk techn. J. Dmochowski — Niektóre zastosowania izotopów promieniotwórczych w technice	Str.	3
Mgr inż. B. Ciszewski — Metale wysokotopliwe jako materiały konstrukcyjne: otrzymywanie, własności, obróbka i zastosowanie tytanu, cyrkonu, molibdena, wolframu, tantalu, niobu, wanadu i hafnu		24
Kpt. mgr inż. St. Kocanda, mgr doc. dr J. Gierula — Zastosowanie liczników Geigera-Müllera do pomiarów grubości elementów konstrukcyjnych		32
Kand. nauk techn. L. Gronowski — Temperatura spalin, jako jeden ze wskaźników pracy silnika spalinowego		61

Doc. känd. nauk techn. J. DMOCHOWSKI

NIEKTÓRE ZASTOSOWANIA IZOTOPÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH
W TECHNICIE

Osiągnięcia dwudziestu ostatnich lat w dziedzinie jądra atomowego dały nauce i technice nowe potężne narzędzie w postaci izotopów sztucznie promieniotwórczych.

Izotopy promieniotwórcze będąc jedną z dróg pokojowego wykorzystania energii atomowej znajdują obecnie coraz szersze zastosowanie w medycynie, biologii, chemii, geologii, metalurgii, metaloznawstwie, mechanice i wielu innych dziedzinach nauki. Dzięki izotopom promieniotwórczym powstały możliwości badania różnych procesów i zjawisk, które dotąd były odkryte tajemnicą, powstały również możliwości oddziaływania na te procesy i zjawiska w kierunku korzystnym dla człowieka. W ramach krótkiego artykułu nie sposób jest wymienić wszystkich ważnych zastosowań izotopów promieniotwórczych w technice i wynikających z tego korzyści. Dlatego też zostaną omówione tylko niektóre zastosowania, a mianowicie w budowie aparatury kontrolnej i pomiarowej oraz przy badaniu zużycia maszyn i narzędzi skrawających.

Znana obecnie ilość izotopów promieniotwórczych dochodzi do tysiąca. W technice jednak obecnie jest ich bardzo mało stosowanych, bo około kilkudziesięciu.

W tabeli 1 podano wykaz tych izotopów oraz ich charakterystyki: rodzaje i energię promieniowania oraz okresy połowicznego zaniku.

Tabela 1

Rodzaj izotopu	Liczba porządkowa	Masa atomowa	Rodzaj promieniowania	Okres połowicznego zaniku	Energia promieniowania w MeV	
					cząstek α lub β	promieni γ
Beryl	4	10	β	$2,5 \cdot 10^4$ lat	0,555	nie ma
Węgiel	6	14	β	5568 lat	0,155	nie ma
Sód	11	22	β, γ	2,6 roku	0,54	1,28
Fosfor	15	32	β	14,3 dnia	1,701	nie ma
Sierka	16	35	β	87 dni	0,169	—
Wapń	20	45	β	152 dni	0,254	nie ma
Tytan	22	51	β, γ	72 dni	0,45	1,0
Wanad	23	48	β, γ	16 dni	0,72	0,98
Chrom	24	51	γ	27,8 dnia	—	0,330
Żelazo	26	59	β, γ	45,1 dnia	0,460 (50%)	1,205
Kobalt	27	60	β, γ	5,3 roku	0,318	1,331
Nikiel	28	59	β	$6 \cdot 10^4$ lat	0,015	—

Dalszy ciąg tabeli 1

Rodzaj izotopu	Liczba porządkowa	Masa atomowa	Rodzaj promieniowania	Okres połowicznego zaniku	Energia promieniowania w MeV	
					cząstek α lub β	promieni γ
Miedź	29	64	β, γ	12,8 godz.	0,571	1,35
Cynk	30	65	β, γ	250 dni	0,325	1,120
Arsen	33	74	β, γ	17,5 dnia	1,25	0,58
Cyrtkon	40	95	β, γ	65 dni	0,371 (99%) 0,84 (1%)	0,721
Nieob	41	95	β, γ	35 dni	0,160	0,745
Molibden	42	99	β, γ	67 godzin	1,23 (60%) 0,45 (20%)	0,04
Srebro	47	110	β, γ	270 dni	2,24 (60%) 2,82 (40%)	0,659
Radn	48	115	β, γ	53 godz.	1,11 (89%) 0,36 (4%)	0,335
Ind	49	114	β, γ	49 dni	1,89	0,19
Cyna	50	113	γ	105 dni	—	0,393
Antymon	51	125	β, γ	2,7 roku	0,616 (18%) 0,299 (49%) 0,125 (33%)	0,635
Wolfram	74	185	β, γ	73,2 dnia	0,428	0,134
Iryd	77	192	β, γ	74,3 dnia	0,66	0,136
Ołów	82	210	β, γ	22 lata	0,018	0,0465
Rad	88	226	α, γ	1590 lat	4,777	0,186
Tor	90	232	α	$1,39 \cdot 10^{10}$ lat	3,98	0,055

I. ZASTOSOWANIE IZOTOPÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W BUDOWIE PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH I KONTROLNYCH

Jak pokazują doświadczenia lat ostatnich, izotopy promieniotwórcze znajdują coraz szersze zastosowanie w budowie wszelkiego rodzaju aparatury pomiarowej i kontrolnej, w urządzeniach sygnalizacyjnych oraz urządzeniach przeznaczonych do automatycznej regulacji przebiegu procesów technologicznych.

1. Zastosowanie izotopów promieniotwórczych w urządzeniach zapewniających bezpieczeństwo pracy na maszynach

Barczo często przy pracy na prasach i młotach mechanicznych zachodzi niebezpieczeństwo wypadku spowodowanego nieuwagą pracownika. Zbyt późne wycofanie ręk spod prasy lub młota w momencie zakładania i poprawiania przedmiotu może być przyczyną poważnych obrażeń. Oprócz innego typu urządzeń zapobiegających tego rodzaju wypadkom znalazły w tej dziedzinie zastosowanie izotopy promieniotwórcze. W urządzeniach tych robotnik zakłada na rękę obrabkczkę z substancją promieniotwórczą.

4

Z częścią ruchomą prasy lub młota związane są liczniki Geigera-Müllera. Jeżeli ręka pozostaje w maszynie w obszarze niebezpiecznym dla pracującego, to impulsy pochodzące z liczników przekazywane są do urządzenia automatycznie wyłączającego część ruchomą prasy lub młota. Brak oddziaływania substancji promieniotwórczej na liczniki powoduje samoczynnie włączenie maszyny.

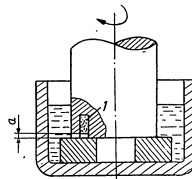
2. Zastosowanie izotopów do pomiaru powierzchni o złożonych kształtach

Ciekawym przykładem zastosowania izotopów promieniotwórczych jest wykorzystanie ich w budowie przyrządu przeznaczonego do pomiaru powierzchni figur o dowolnie złożonym kształcie.

Zasada budowy przyrządu jest następująca: w pewnej stałej odległości od komory jonizacyjnej położona jest płytka, której powierzchnia powiększona jest równomiernie substancją będącą źródłem promieniowania. Pomiędzy płytką i komorą znajduje się siatka przyrządu. Jeżeli na tę siatkę położymy figurę płaską dowolnego kształtu, wyciętą z papieru, który jest w stanie pochłaniać całkowicie bardzo słabo przenikliwe promienie, to ilość promieniowania przenikająca do komory będzie proporcjonalna do powierzchni tej figury i wskazań urządzenia rejestrującego. Wzorcowanie przyrządu przeprowadza się bardzo prosto. Wystarczy określić dwa punkty: wskazania przyrządu przy siatce nieosłoniętej, co odpowiada powierzchni zerowej, i wskazania przyrządu przy całkowicie pokrytej siatce, co odpowiada powierzchni tej siatki.

3. Zastosowanie izotopów promieniotwórczych w urządzeniu sygnalizującym o przekroczeniu dopuszczalnej granicy zużycia

Przykład takiego urządzenia przedstawiony jest schematycznie na rys. 1.



Rys. 1. Urządzenie sygnalizujące o przekroczeniu granicy zużycia:
1 — promieniotwórcza wkładka

Promieniotwórcza wkładka 1 w postaci pręta umieszczona jest na głębokości θ , odpowiadającej dopuszczalnej granicy zużycia. Po przekroczeniu tej granicy nastąpi również ścieranie wkładki, zawierającej promieniotwórcze izotopy. W oleju krążącym w przewodach smarowania pojawiają

5

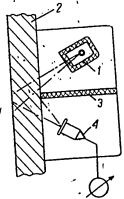
się promieniotwórcze produkty zużycia wkładki. Licznik Geigera-Müllera umieszczony w przewodzie odprowadzającym olej natychmiast zasynchronizuje o przekroczeniu dopuszczalnej granicy zużycia danej powierzchni.

4. Zastosowanie promieniotwórczych izotopów do pomiarów grubości

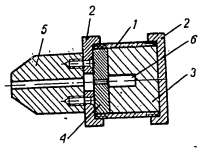
Przy określaniu grubości ścianek za pomocą promieniotwórczych izotopów, znalazły zastosowanie dwie metody: w pierwszej wykorzystane jest zjawisko odbicia promieni, w drugiej zjawisko absorpcji w ściankach danej części.

Na rys. 2 przedstawiono schemat przyrządu do pomiaru grubości, opartego na zasadzie odbicia promieni. W górnej części obudowy przyrządu znajduje się naczynie z preparatem promieniotwórczym 1, w drugiej części oddzielonej ołowianą przesłoną 3 umieszczony jest licznik Geigera-Müllera lub komora jonizacyjna 4. Natężenie promieniowania przenikającego do komory 4 zależy od grubości ścianki. Schemat naczynia zawierającego promieniotwórczy izotop przedstawiono na rys. 3.

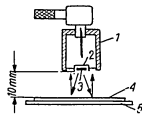
Badania przeprowadzone izotopem Sb^{124} o aktywności 27 mC pokazały, że przy grubościach ścianek do 20 mm metoda ta może być stosowana z pełnym powodzeniem. Tego rodzaju przyrządy pozwalające określić grubość ścianki od zewnątrz, stosowane są między innymi przy sprawdzaniu ścian przewodów gazociągów. Przy ich pomocy łatwo wykryć także uszkodzenia wewnętrzne spowodowane korozją.



Rys. 2. Przyrząd do pomiaru grubości ścianek: 1 — źródło promieniowania, 2 — badany przedmiot, 3 — ołowiana przesłona, 4 — komora jonizacyjna



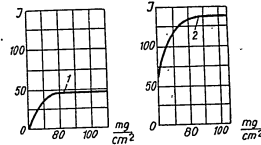
Rys. 3. Naczynie z preparatem promieniotwórczym: 1 — mosiężna osłona, 2 — stalowe osłony, 3 — ołowiana osłona, 4 — wymiowana ołowiana tarcza z otworem o średnicy 2 mm, 5 — stalowa nakładka z otworem o średnicy 10 mm, 6 — miejsce położenia promieniotwórczego izotopu



Rys. 4. Przyrząd do pomiaru grubości powłoki: 1 — komora jonizacyjna, 2 — ołowiana przesłona, 3 — promieniotwórczy preparat, 4 — przedmiot, 5 — przedmiot

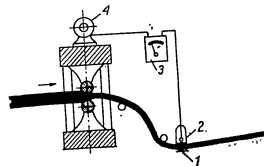
Inną odmianą omawianej metody pomiaru jest przyrząd przedstawiony na rys. 4, przeznaczony do pomiaru grubości powłok nanoszonych na powierzchnię materiału. W dolnej części Komory jonizacyjnej 1 rozmieszczona jest ołowiana przesłona 2. Wewnątrz przesłony znajduje się promieniotwórczy izotop 3 będący źródłem promieni. W odległości około

1 cm od źródła promieniowania znajduje się warstwa materiału 4 nanieszonego na przedmiot 5. Promienie ulegające częściowemu odbiciu od powierzchni 4 przenikają do komory przez szczelinę pomiędzy przesłoną 2 i obudową przyrządu.



Rys. 5. Zależność natężenia prądu komory jonizacyjnej od grubości i rodzaju powłoki: 1 — dla miedzi, 2 — dla złota

Prąd powstający w komorze jonizacyjnej zależy od grubości powłoki naniesionej na dany przedmiot, a także od jej składu chemicznego. Spowodowane to jest znaną własnością zmiany współczynnika odbicia elektronów w zależności od tego, jakie miejsce w tablicy Mendelejewa zajmuje dany pierwiastek. Dla przykładu na rys. 5 przedstawiono wykres zależności natężenia prądu w komorze jonizacyjnej od grubości i rodzaju powłoki. Jak widać z wykresu, przy pokryciu warstwy miedzi złotem (krzywa 2) prąd jonizacyjny w komorze jest znacznie większy niż dla miedzi (krzywa 1). Widać również, że po przekroczeniu pewnej grubości warstwy materiału, natężenie prądu jest stałe. Ta graniczna grubość warstwy materiału zależy od energii cząstek.



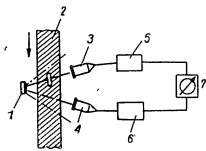
Rys. 6. Urządzenie do automatycznej regulacji grubości taśmy na walcu: 1 — źródło promieniowania, 2 — komora jonizacyjna, 3 — przyrząd wskaźnikowy, 4 — silnik

Omówiony sposób pomiaru pozwala określać grubość naniesionej na daną powierzchnię powłoki bez uszkodzenia materiału. Jest on wykorzystywany przy badaniu grubości powłok metalowych, powłok z mas plastycznych i innych materiałów.

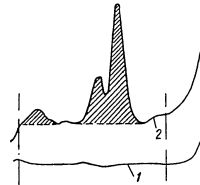
W drugiej metodzie pomiaru grubości przedmiot poddaje się prześwietleniu. W tym celu po jednej stronie badanej ścianki (rys. 6) umieszczone jest źródło promieniowania 1, po drugiej licznik lub komora jonizacyjna 2.

mieniowania, jak np. liczniki Geigera-Müllera lub komory jonizacyjne. W wypadku niejednorodności prześwietlanego materiału, natężenie promieniowania ulega zmianie, co może być łatwo wykryte. W urządzeniach tego rodzaju źródło promieniowania i aparaturę rejestrującą natężenie promieniowania rozmieszcza się po obydwu stronach badanego obiektu.

Spotykane są dwa rozwiązania: w pierwszym, podobnie jak przy pomiarze grubości, natężenie promieniowania rejestrowane jest pojedynczym przyrządem pomiarowym, w drugim — przy pomocy sprzężonych ze sobą komór. Przykład drugiego rozwiązania ilustruje rys. 8. Z jednej strony badanego obiektu umieszczone jest źródło promieniowania 1, z drugiej — dwie sprzężone ze sobą komory 3 i 4. Pomiędzy źródłem promieniowania i komorami przesuwają się badane przedmioty. Gdy ścianka przedmiotu nie posiada żadnych wad, to ze względu na symetryczne położenie komór prądy wzmacniacze 5 i 6 ulegną kompensacji i wskazówka przyrządu 7 nie wychyli się. W przypadku ukrytej wady materiału, prądy powstające w komorach 3 i 4 będą miały różną wielkość, co natychmiast wskaże wychylenie wskazówki przyrządu 7.



Rys. 8. Przyrząd do wykrywania wad materiałowych:
1 — źródło promieniowania, 2 — badany materiał, 3, 4 — komory jonizacyjne, 5, 6 — wzmacniacze, 7 — przyrząd pomiarowy



Rys. 9. Wykres wad materiałowych:
1 — materiał bez wad, 2 — materiał z wadami

Na rys. 9 przedstawiono typowy wykres wyjawiający wady materiałowe, otrzymany przy zastosowaniu drugiej metody wykrywania wad. Krzywa 1 odpowiada przedmiotowi nie posiadającemu wad, krzywa 2 ma trzy charakterystyczne wzniesienia odpowiadające trzem różnym wadom materiału.

W porównaniu z metodą fotograficzną, metoda druga wykrywania wad posiada szereg zalet: eliminuje konieczność stosowania klisz rentgenowskich, czas potrzebny na wyjawienie wady jest znacznie krótszy, stwarza możliwość wykrywania wad w przedmiotach znajdujących się w stanie ruchu.

10

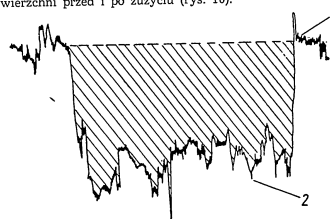
II. ZASTOSOWANIE IZOTOPÓW PROMIENIOTWORCZYCH PRZY BADANIU ZUŻYCIA MASZYN I NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH

Aby można było prowadzić walkę o zmniejszenie zużycia maszyn i narzędzi, należy zdawać sobie sprawę z tych zjawisk i prawidłowości, jakie zachodzą w procesie tarcia współpracujących ze sobą elementów maszyn. W związku z tym sprawa właściwej metodyki badania tarcia i ścieralności nabiera szczególnie ważnego znaczenia.

Stosowane do niedawna metody badania zużywalności elementów maszyn można podzielić na dwie grupy: metody wymagające częściowego lub całkowitego demontażu maszyny dla dokonania pomiaru i metody pozwalające badać zużycie bez zatrzymywania maszyny.

W metodach grupy pierwszej badano zużycie opierając się na jednym z następujących sposobów:

- 1) w metodzie wagowej — na dokładnym ważeniu badanych części przed i po próbie;
- 2) w metodzie mikrometrycznej — na pomiarze wielkości śladów zużycia w sposób bezpośredni przy pomocy lupy, mikroskopu warsztatowego względnie optimetru lub pośrednio z użyciem ostrza piramidy diamentowej wciskanej w powierzchnię badaną. Po zmianie długości przekątnej odcisku piramidy łatwo określić grubość zużytej warstewki materiału.
- 3) przez porównanie drogą nałożenia profilogramów danego odcinka powierzchni przed i po zużyciu (rys. 10).



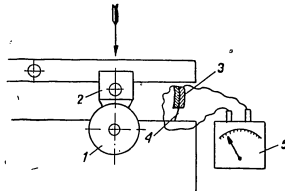
Rys. 10. Profilogramy powierzchni:
1 — przed zużyciem, 2 — po zużyciu.

Metody grupy drugiej nie wymagają demontażu urządzenia i pozwalają śledzić proces zużycia w czasie pracy maszyny. Do metod tej grupy można zaliczyć następujące:

- 1) tzw. metodę określania zawartości żelaza w oleju,
 - 2) metodę tensometrów elektrooporowych.
- Pierwsza z wymienionych metod objęta normami GOST polega na okresowym pobieraniu prób oleju krążącego w systemie smarowania i określaniu drogą chemiczną zawartości w nim żelaza. Znając ogólną ilość oleju, określa się całkowity ciężar zużytego materiału.

11

W metodzie drugiej stosowanej najczęściej w maszynach do badania ścieralności materiałów (np. typ Amsler'a), wprowadzenie dodatkowo tensometru elektrooporowego pozwala rejestrować w czasie pracy zmianę wymiarów trących po sobie próbek (rys. 11) i na tej podstawie prześledzić przebieg zużycia badanych materiałów.



Rys. 11. Zastosowanie elektrooporowego tensometru do badania zużycia w sposób ciągły:
1 — tarcza, 2 — klocek, 3 — elektrooporowy tensometr, 4 — płytka z blachy sprężymującej, 5 — galvanometr

Wszystkie opisane metody są na ogół kłopotliwe w użyciu, długotrwałe, wymagają często dla dokonania pomiarów okresowego demontażu maszyny, nie zapewniają również dużej dokładności pomiaru.

W ostatnich latach do badania zużycia maszyn i narzędzi zaczyna się stosować coraz częściej nowe, ciekawe metody oparte na wykorzystaniu własności izotopów promieniotwórczych. Jak pokazują te badania, zastosowanie izotopów promieniotwórczych pozwala:

1. otrzymać wysoką dokładność pomiaru zużycia osiągając 10^{-4} g i więcej,
2. znacznie skrócić czas przeprowadzonych doświadczeń oraz
3. stwarzać możliwości jednoczesnego pomiaru zużycia różnych elementów tej samej maszyny bez konieczności jej demontażu.

1. Sposoby wprowadzania izotopów promieniotwórczych do badanych części maszyn

Przy badaniu zużycia maszyn, pierwszym ważnym zagadnieniem jest wybór izotopu promieniotwórczego i sposób jego wprowadzenia w badany materiał.

Wyniki badań przeprowadzonych w ostatnich latach wskazują ogólnie na przydatność szeregu różnych sposobów wprowadzania izotopów promieniotwórczych:

1. naniesienie metodą elektrolityczną cienkiej warstwy materiału promieniotwórczego na badaną powierzchnię,
2. wprowadzenie promieniotwórczych izotopów w procesie wytapiania, odlewania lub prasowania,
3. metoda wkładek,
4. uzyskanie własności promieniotwórczych metodą napromienienia,

12

5. metoda dyfuzyjna,
6. metoda obróbki elektroiskrowej.

W zależności od badanego przedmiotu i innych czynników, każda z omawianych metod ma pewien określony zakres zastosowania.

Metoda pierwsza — pokryć galwanicznych promieniotwórczym materiałem okazuje się korzystna wówczas, kiedy dana część wykonana jest z chemicznie czystego składnika lub gdy proces technologiczny z góry przewiduje naniesienie drogą elektrolityczną pewnej warstwy materiału.

Jak wiadomo, metody galwaniczne stosowane są w szczególności przy nanoszeniu powłok ochronnych, zwiększających odporność na ścieranie i korozję danej powierzchni. W tym celu w procesie elektrolizy do zwykłych roztworów soli metali wprowadza się dodatkowo odpowiednią sól izotopu promieniotwórczego.

Z izotopów, które znalazły zastosowanie przy wykorzystaniu tej metody, można wymienić:

Ind (In^{114}) — metal używany czasami dla polepszenia antykorozyjnych i ściernych własności powłok ołowinowych. Nanosi się go cienką warstwą ($2-3 \mu$) na warstwę ołowiu o grubości $18-20 \mu$. Po odpowiedniej obróbce cieplnej otrzymuje się równomierne rozłożenie promieniotwórczego indu w ołowiu.

Srebro (Ag^{110}) — używane w ostatnim czasie w łożyskach maszyn zamiast brzoń ołowinowych. Posiadając dobre własności mechaniczne, wysokie przewodnictwo cieplne i odporność na korozję, daje się łatwo nanieść elektrolitycznie.

Chrom (Cr^{51}) — używany dosyć szeroko w postaci powłok ochronnych narzędzi skrawających, kół zębatach, wałów itp. daje się również dosyć łatwo nanieść metodą elektrolityczną.

Cynk (Zn^{65}) — stosowany przy badaniu zużycia stopów glinu, naniesiony elektrolitycznie w temperaturze $200-250^\circ$ dobrze dyfunduje w powierzchni stopów Al.

Drugi sposób wprowadzania izotopów promieniotwórczych stosowany jest dla części lanych o małych wymiarach (tuleje, panewki itp.). W tych przypadkach wygodne jest wprowadzenie odpowiedniej porcji promieniotwórczego izotopu bezpośrednio w procesie odlewania. Podobnie można postąpić przy częściach spiekanych z proszków metali i niemetalu. Dla przedmiotów o dużych wymiarach ten sposób wprowadzania izotopów promieniotwórczych nie jest korzystny ze względu na utrudnione warunki zachowania bezpieczeństwa pracy przy dużej ilości aktywnych izotopów, jakie musiałby być wprowadzone.

Trzeci sposób, noszący nazwę metody wkładek lub świadków zużycia, polega na wywierceniu otworu lub wytoczeniu rowka na powierzchni przedmiotu, które następnie zapełnione są promieniotwórczym izotopem. Zapełnianie w zależności od potrzeby może odbywać się w różny sposób — przez wprasowanie pręta promieniotwórczego, elektrolitycznie itp.

Metody wkładek stosowane są przy badaniu zużycia pierścieni tłokowych, w przyrządach kontrolnych i sygnalizacyjnych (rys. 1).

Metoda otrzymywania promieniotwórczych izotopów drogą napromieniania polega na bombardowaniu danego przedmiotu cząstkami elementarnymi (neutrony, protony, deutrony itp.). Źródłem tych cząstek jest reaktor uranowy, cyklotron, akcelerator i inne urządzenia.

Pod wpływem bombardowania elementarnymi cząstkami, jądra naświetlanego materiału stają się promieniotwórcze. Ze względu na budowę

13

w Polsce reaktora uranowego i cyklotronu, ta metoda promieniotwórczej aktywacji wydaje się bardzo wygodna, w szczególności dla płytek na narzędzia skrawające i elementów maszyn o małych wymiarach, podlegających intensywnemu zużyciu.

Metody dyfuzyjne wprowadzania promieniotwórczych izotopów oparte są na znanych właściwościach przenikania atomów pewnych pierwiastków w powierzchnię ciał stałych w podwyższonej temperaturze.

W metaloznawstwie znane są szeroko takie procesy obróbki powierzchniowej, jak dyfuzyjne chromowanie, nawęglanie, dyfuzyjne wprowadzania boru, berylu i innych składników. Przy badaniu zużycia powierzchni poddawanych obróbce dyfuzyjnej, metoda ta jest z powodzeniem stosowana.

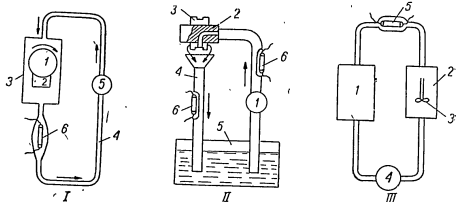
Ostatnim stosowanym sposobem wprowadzania izotopów promieniotwórczych jest metoda elektroiskrowa, oparta na znanej zasadzie ulepszenia powierzchniowego części maszyn i narzędzi skrawających. Różnica polega tylko na wprowadzeniu do materiału elektrody odpowiedniego, promieniotwórczego izotopu. Metoda ta, prócz zastosowania przy znakowaniu materiałów, może być wykorzystana do badania zużycia powierzchni części maszyn i narzędzi, w procesie wykonania których przewidziane jest elektroiskrowe ulepszenie. Dotyczy to narzędzi skrawających do metali i drzewa, części maszyn rolniczych, budowlanych itp.

2. Przykłady zastosowania izotopów promieniotwórczych przy badaniu zużycia części maszyn

Typowe spotykane układy urządzeń przeznaczonych do badania zużycia przy pomocy promieniotwórczych izotopów można podzielić na trzy grupy:

1. urządzenia typu laboratoryjnego,
2. urządzenia typu półprodukcyjnego,
3. urządzenia typu produkcyjnego.

Te trzy rodzaje urządzeń można zilustrować trzema schematami (rys. 12).



Rys. 12. Urządzenie do badania ścieralności:

- | | | |
|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 1 — tarcza, 2 — klocek, | 1 — pompa, 2 — czop, | 1 — silnik, 2 — zbiornik |
| 3 — osłona, 4 — przewody, | 3 — panewka, 4 — przewód, | 3 — mieszkadło, |
| 5 — pompa, 6 — licznik G-M | 5 — odprowadzający, 5 — zbiornik, | 4 — pompa, |
| | 6 — licznik G-M | 5 — licznik G-M |

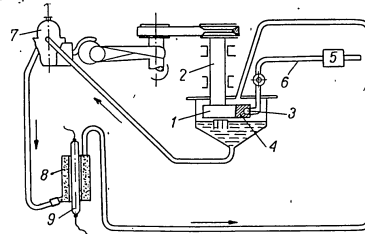
W urządzeniu typu laboratoryjnego (rys. 12 — I) próby przeprowadzane są na znanych maszynach do badania ścieralności materiałów, jak typ Sawina, Amster'a i inne. W schemacie działania tych maszyn spotykamy się z odtworzeniem pewnych typowych ruchów współpracujących ze sobą elementów maszyn: tarcie tarczy po walcu, klocka po tarczy, tarczy po płaszczyźnie itp.

W maszynie Amster'a przedstawionej na rys. 12' — I klocek 2 trze po tarczy 1. W skład materiału klocka wprowadzono pewną ilość izotopów promieniotwórczych. Trąca po sobie para obudowana jest szczelnie osłoną 3.

Pompa 5 powoduje nieprzerwany obieg oleju w przewodach 4. Produkty zużycia przenikając do oleju napolykają na licznik 6, określający wielkość zużycia po natężeniu promieniowania tych produktów.

Urządzenia typu półprodukcyjnego (rys. 12 — II) oparte są na zasadzie odtworzenia nie tylko ruchów, ale i kształtów współpracujących ze sobą części. Typowy przykład tego urządzenia przedstawia rys. 12 — II — urządzenie do badania ścieralności materiałów łożyskowych. Olej postępujący ze zbiornika 5 podawany jest przez pompę 1 i otwór w czopie 2 do panewki 3. Powierzchnia panewki pokryta jest materiałem promieniotwórczym. Olej wraz z produktami zużycia ścieka przez przewód odprowadzający 4 do zbiornika. W przewodzie ustawiony jest licznik Geigera—Müllera 6, wykrywający obecność i natężenie promieniowania aktywnych produktów zużycia.

W urządzeniach typu produkcyjnego (rys. 12 — III) — próby zużycia przeprowadza się bezpośrednio na określonej maszynie (np. silniku). W maszynie tej badane elementy poddawane są uprzednio aktywacji promieniotwórczej, zaś w systemie smarowania przewidziane są odpowiednie miejsca dla rozmieszczenia komór i liczników, przyrządów określających wielkość natężenia promieniowania aktywnych produktów zużycia.



Rys. 13. Urządzenie typu NAMI do badania ścieralności materiałów:
1 — tarcza, 2 — wał, 3 — przegub, 4 — klocek, 5 — przesuwany ciężar,
6 — dźwignia, 7 — pompa, 8 — naczynie szklane, 9 — licznik G-M

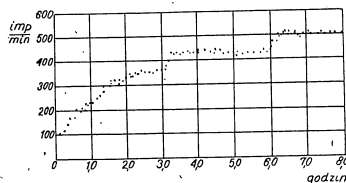
Omówione typy urządzeń można zilustrować bardziej dokładnymi schematami.

Na rys. 13 przedstawiono urządzenia laboratoryjne przeznaczone do badania ścieralności materiałów, opracowane w radzieckim Instytucie NAMI. Współpracującą na tarcia para materiałów wykonana jest w postaci pierścienia 1 i klocka 4.

Na badany materiał (pierścień lub klocek) w zależności od przeznaczenia prób nanosimy elektrolitycznie lub w inny sposób odpowiednią ilość promieniotwórczych izotopów. Pierścień 1 osadza się na pionowym wale 2. Pionowe położenie wału ułatwia wynywanie produktów zużycia.

Docisk klocka 4 do pierścienia 1 reguluje się przy pomocy ciężaru 5 osadzonego na dźwigni 6. Dla zabezpieczenia samonastawności klocka, połączony jest on z dźwignią 6 przegubem kulistym. System smarowania wykonano w sposób nie dopuszczający do przenikania i osadzenia promieniotwórczych produktów zużycia w szczelinach i innych miejscach. Nieprzerwany obieg oleju zapewniała pompa 7 od silnika samochodu „Moskwiacz”. Stopień zużycia określono na podstawie pomiaru promieniotwórczych produktów zużycia unoszonych przez olej.

Dla zapewnienia ciągłości rejestracji impulsów w przewodzie smarowania, wstawiono specjalne szklane naczynie 8 o podwójnych ściankach. Wewnątrz tego naczynia umieszczono pojedynczy licznik Geigera-Müllera 9. Naczynie 8 zaprojektowano tak, aby szybkość przepływu w nim oleju nie ulegała zmianie. W przeciwnym przypadku różnica osadzenia produktów zużycia na ściankach naczynia i przewodów mogłaby spowodować błędy pomiaru. Na opisanym urządzeniu przeprowadzono między innymi próby zużycia babbitu. W tym celu na żeliwny pierścień o średnicy 60 mm i wysokości 20 mm naniesiono warstwę promieniotwórczego babbitu o grubości około 1 mm. Klocek wykonano z żelwa. Doświadczenia przeprowadzono przy naciskach od 4 do 10 kg/cm² i prędkości obrotowej pierścienia 950 obr./min. W systemie smarowania krążyło nieprzerwanie 500 g oleju. Cała zawartość oleju przepływała przez naczynie z licznikiem 9 w ciągu 1 minuty.

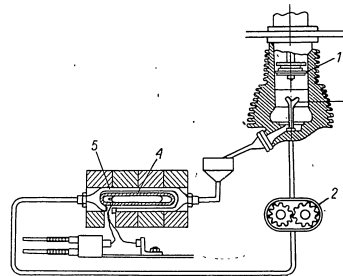


Rys. 14. Wykres zależności natężenia promieniowania od czasu

Na rys. 14 podano charakterystyczny dla tego rodzaju prób wykres intensywności zużycia babbitu. Na osi odciętych odłożono czas prób w godzinach, a na osi rzędnych — ilość impulsów otrzymywanych w ciągu minuty.

16

Wykres dotyczy prób przeprowadzanych z babbitem przy nacisku jednostkowym 5 kg/cm². Jak widać z wykresu, w 3 i 6 godzinie wzrasta krzywa zużycia. Spowodowane to jest 2-krotnym zatrzymaniem maszyny, po 3 i 6 godzinach pracy, dla wyciągnięcia oleju z powierzchni próbek. Na podstawie wzorcowania urządzenia wyznaczono, że 100 imp/min. odpowiada zużyciu wagowemu 157 mg lub liniowemu 4,92 μ.



Rys. 15. Urządzenie do badania zużycia pierścieni tłokowych:
1 — pierścień tłokowy, 2 — pompa, 3 — mieszadło, 4 — licznik G-M,
5 — osłona blaszana

Na rys. 15 pokazano bardziej szczegółowy schemat specjalnego urządzenia typu półprodukcyjnego, przeznaczonego do badania zużycia pierścieni tłokowych. Pierścień 1 osadzone są w głowicy 1 dociskane sprężynami do powierzchni cylindra. Głowica otrzymuje ruch posuwistozwrotny. Olej w ilości 3—4 kg podawany jest do cylindra przez pompę 2 i rozbrzygiwany na ścianki łopatką 3. Z drugiej strony olej zawierający produkty zużycia ścieka do przewodu odprowadzającego, w którym umieszczony jest w blaszanej obudowie 5 licznik Geigera-Müllera 4. Olej omijając licznik wrzeca do pompy i z powrotem podawany jest do cylindra. W charakterze promieniotwórczego preparatu zastosowano izotop Zn⁶⁵. Promieniotwórczy cynk wprowadzony był w postaci wkładek. W tym celu na obwodzie pierścienia wywiercono 9 otworów o średnicy około 0,8 mm i głębokości 1 mm (rys. 16), w które następnie wprasowano wkładki.

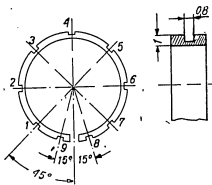
Na rys. 17 podano schemat badania zużycia pierścieni tłokowych bezpośrednio na silniku spalinowym. W urządzeniu tym olej z silnika 1 postępuje do chłodnicy 2 i następnie do zbiornika 3.

Dla dobrego przemieszczenia produktów zużycia w zbiorniku zainstalowano mieszadło 4 napędzane od silnika elektrycznego 5. Po dokładnym

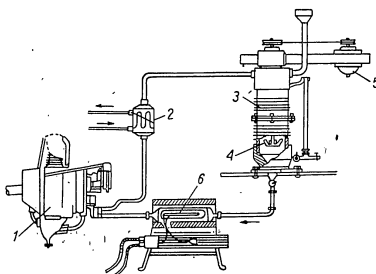
2 — Silnik WAT nr 1

17

przemieszaniu olej omija licznik 6 zainstalowany podobnie jak w poprzednim urządzeniu i przez przewód doprowadzający wraca z powrotem do silnika. Układ posiada ponadto dodatkowe, nie pokazane na rysunku urządzenia do przemywania licznika 6 dla usunięcia osiadających na jego ściankach produktów zużycia.



Rys. 16. Rozmieszczenie promieniotwórczych wkładek w pierścieniu tokowym

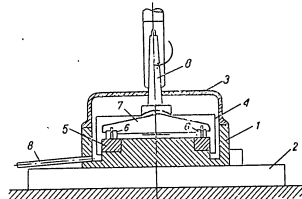


Rys. 17. Urządzenie do badania zużycia pierścieni tokowych w silniku:
1 — silnik, 2 — chłodnica, 3 — zbiornik oleju, 4 — mieszadło, 5 — silnik elektryczny, 6 — licznik G-M.

W urządzeniu tym olej kierowany jest okresowo przez dodatkowy przewód bezpośrednio do silnika. W tym okresie przewód wraz z licznikiem przedmuchiwany jest powietrzem i przemywany benzyna.

18

Przy pomocy metody promieniotwórczych izotopów można również prowadzić badania w kierunku odwrotnym, tj. oceniać i badać nie tylko zużycie materiałów, ale również i własności olejów zapobiegania intensywnemu zużyciu się części maszyn. Do tych celów w Instytucie Maszynoznawstwa Akademii Nauk ZSRR zaprojektowano specjalne urządzenie (rys. 18). Urządzenie to składa się z wanny olejowej 1 umocowanej na płycie 2. Dla uniknięcia rozbrzyziwania oleju przewidziana jest pokrywa 3 i dodatkowa osłona 4.



Rys. 18. Urządzenie do badania własności olejów:
1 — wanna, 2 — podstawa, 3 — pokrywa, 4 — osłona, 5 — pierścień, 6 — kamień, 7 — łącznik, 8 — stożkowy trzpień

W wannie znajduje się stalowy pierścień 5 o średnicy zewnętrznej 150 mm i szerokości 25 mm. Po powierzchni czołowej pierścienia ślizgają się dwa kamienie 6 o wymiarach 10×10×10 mm. W jednym z kamieni wywiercony jest otwór o średnicy 0,6 mm i głębokości 1,8 mm, w który wprasowano wkładkę promieniotwórczego izotopu Cs^{90} .

Na powierzchni czołowej i wewnętrznej pierścienia wytoczono dwa rowki smarownicze. Kamienie związane są przegubowo z łącznikiem 7, osadzonym wahlwie na trzpieniu stożkowym 8. Trzpień umocowany jest we wrzecionie wiertarki. Obciążenie kamieni reguluje się przez zawieszenie ciężarów na dźwigni posuwu ręcznego wiertarki. Próbkę oleju pobierano okresowo przez przewód 8. Ogólna ilość oleju wynosi 80 cm³. Do prób pobierano każdorazowo 30 cm³.

Na opisanym urządzeniu przeprowadzono szereg badań z różnymi gatunkami olejów przy różnych szybkościach tarcia i obciążeniach. Otrzymano dużą dokładność pomiaru i dobrą powtarzalność wyników.

3. Zastosowanie izotopów promieniotwórczych przy badaniu zużycia narzędzi skrawających

Proces zużywania się narzędzi skrawających jest dość specyficzny i odmienny od zużywania się części maszyn.

Narzędzia skrawające pracują w wysokich temperaturach, przy dużych szybkościach skrawania i ciśnieniach. Intensywność zużywania się narzę-

19

dzi skrawających jest znacznie większa niż jakichkolwiek innych elementów maszyn.

Biorąc pod uwagę, że proces skrawania metali stanowi w zakładach budowy maszyn około 60—65% całkowitej pracochłonności wykonania maszyny, staje się jasne, jak ważne znaczenie ma walka o zmniejszenie zużycia narzędzi skrawających. W walce tej zastosowanie nowych metod badawczych, pozwalających szybko i dokładnie zbadać i określić warunki minimalnego zużycia narzędzia, nabiera szczególnego znaczenia.

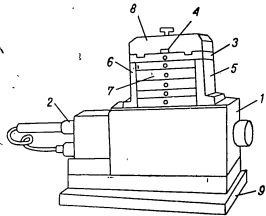
Przy próbach zastosowania izotopów promieniotwórczych do badania zużycia narzędzi skrawających, należało rozwiązać szereg ważnych zagadnień, a w szczególności ustalić sposób zbierania i pomiaru aktywnych produktów zużycia, sposób promieniotwórczej aktywizacji narzędzi oraz zbudować urządzenia i przyrządy zapewniające bezpieczeństwo pracy i wielką dokładność pomiaru.

Z różnych sposobów otrzymywania izotopów promieniotwórczych przydatne do prób zużycia narzędzi skrawających okazały się dwa: wprowadzenie izotopu w procesie spiekania płytek narzędziowych oraz „napromienienie” płytek cząstkami jądrowymi.

Na korzyść pierwszej metody przemawia to, że może być wprowadzony tylko jeden interesujący nas promieniotwórczy izotop. Na niekorzyść tej metody przemawia trudność związana z uzyskaniem równomiernego rozłożenia izotopu w płytce oraz trudność zachowania warunków bezpieczeństwa pracy w procesie spiekania i ostrzenia płytki.

Na korzyść metody napromienienia przemawia to, że płytka może być poddana aktywizacji po uprzednim naostrzeniu, tj. w stanie przygotowanym do skrawania. Równomierność rozłożenia izotopów w płytce, jak pokazują badania, może być łatwo osiągnięta.

Ze względów bezpieczeństwa pracy do prób używa się płytki o możliwie małych wymiarach i masie (2—3 g). Mocowanie płytek — mechaniczne lub siłami skrawania. Aktywność właściwa płytki po napromienianiu nie powinna przekraczać 5—10 mC/g.

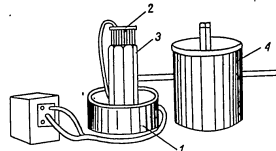


Rys. 19. Przyrząd do pomiaru aktywności płytek z węglików spiekanych i stali szybkołącznej:
1 — korpus przyrządu, 2 — licznik G-M, 3 — płytka, 4 — gniazdo na płytce, 5, 6 — ściany, 7 — przesłona, 8 — pokrywa, 9 — podstawa

Przy pracy z płytkami o różnej aktywności, np. naświetlanymi w różnym czasie — dla zapewnienia porównywalności otrzymywanych wyników, należy zmierzyć i porównać aktywności właściwe tych płytek. Pomiar aktywności może być dokonany przy zastosowaniu licznika Geigera-Müllera z pomocą specjalnego urządzenia zabezpieczającego każdorazowo niezmienną pozycję płytek względem licznika. Przykład takiego urządzenia konstrukcji Wszeczwiązkowego Naukowo-Badawczego Instytutu Narzędzi Skrawających w Moskwie przedstawiono na rys. 19. Korpus 1 urządzenia wykonany ze stali lub ołowiu posiada otwór osiowy, w którym zamocowano licznik Geigera-Müllera. 2. Badana płytka z węglików spiekanych umieszczona jest na płycie 3 w gnieździe 4 pomiędzy dwiema listwami zabezpieczającymi niezmienną pozycję płytek w przestrzeni. Płyta 3 jest sztywno związana ze ściankami 5 i 6 zamocowanymi na korpusie przyrządu 1. W przestrzeni pomiędzy źródłem promieniotwórczym a licznikiem znajduje się szereg przesłon 7 różnej grubości dla regulacji stopnia absorpcji promieniowania. Pokrywa 8 zabezpiecza przed przebiegiem promieniowania do otoczenia. Cały przyrząd przy pomocy płyty 9 umocowany jest na specjalnym stole laboratoryjnym w celu zachowania niezmiennego położenia w czasie trwania prób.

Biorąc pod uwagę, że najczęściej produktów zużycia narzędzia (ponad 90%) unoszonych jest przez wiór — pomiar zużycia oparto na badaniu aktywności wióra.

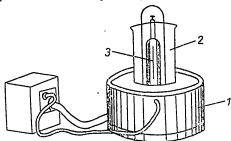
Przy określaniu natężenia promieniowania produktów zużycia skupionych w wiórze, stosowano dwie metody: rozdrabnianie i trawienie aktywnych warstw wióra w kwasach. Przy rozdrabnianiu pewną tę samą wagowo ilość wióra (50 g) umieszcza się w specjalnym przyrządzie przedstawionym na rys. 20. Przyrząd składa się z masywnej ołowianej płyty 1, w której osadzona jest aluminiowa rura z kolnierzem 2 do mocowania liczników Geigera-Müllera. Liczniki 3 w ilości 6 sztuk rozmieszczone są na obwodzie. Próbkę wióra umieszczone w aluminiowym naczyniu wstawia się wewnątrz rury 2 podtrzymującej liczniki. Dla ochrony od czynników zewnętrznych (np. promieni kosmicznych, promieniowania ziemi itp.) całość przykrywana jest ołowianą osłoną 4.



Rys. 20. Urządzenie do pomiaru aktywności wióra:
1 — ołowiana podstawa, 2 — rura aluminiowa z kolnierzem,
3 — licznik G-M, 4 — osłona

Zastosowanie metody pomiaru drogą rozdrabniania wióra daje dużą dokładność i dobrą powtarzalność wyników. Dodatkową zaletą jest krótkotrwałość pomiaru. Druga metoda polega na rozpuszczaniu aktywnych

warstw wióra w kwasach. Do tych celów najbardziej przydatny okazuje się 50% roztwór kwasu solnego z niewielkim dodatkiem kwasu fosforowego. Czas trawienia około 40 minut. Kwas zawierający produkty zużycia umieszcza się w naczyniu szklanym o podwójnych ściankach (rys. 21). Pojedynczy licznik osadzony jest zewnątrz naczynia. Podobnie jak w urządzeniu poprzednim, całość spoczywa na grubej ołowianej płytce i przykrywa się również ołowianą osłoną.



Rys. 21. Urządzenie do pomiaru aktywności wióra metodą trawienia:
1 — podstawa, 2 — szklane naczynie o podwójnych ściankach, 3 — licznik G-M

Przeprowadzanie prób zużycia narzędzi skrawających wymaga, oprócz opisanych przyrządów, zastosowania specjalnych urządzeń zapewniających warunki bezpieczeństwa pracy, specjalnych osłon przy pracy na obrabiarce, naczyń do przechowywania płytek oraz wszelkiego rodzaju dodatkowych urządzeń zapobiegających bezpośredniemu zetknięciu się człowieka z preparatem promieniotwórczym.

W wyniku szeregu prac stwierdzono, że metoda badania zużycia narzędzi skrawających przy pomocy izotopów promieniotwórczych zarówno z uwagi na dokładność prób, jak i ekonomiczność jest znacznie korzystniejsza od innych stosowanych dotychczas metod badawczych. Pozwala ona głębiej przeniknąć w fizykalną stronę procesu zużycia narzędzi. Badanie zużycia można przeprowadzać nie przerywając procesu skrawania. Dobra powtarzalność wyników oraz znacznie krótszy czas eksperymentowania w porównaniu z innymi sposobami potwierdzają całkowite przydatność tej metody do badania ścieralności narzędzi skrawających. Dla przykładu — czas badań zużycia narzędzi starymi metodami pochłaniający około 100 godzin roboczych, przy zastosowaniu izotopów promieniotwórczych może być skrócony do kilkunastu, a w najgorzej przypadkach do kilkadziesiąt minut.

Metoda zastosowania izotopów pozwala łatwo i szybko określić warunki minimalnego zużycia narzędzia.

WYKAZ LITERATURY

1. Praca zbiorowa pod red. P. E. Diaczenko. Metody liczenia i kontrola izosa w maszynach przy pomocy radioaktywnych izotopów. Izdat. Ak. Nauk SSSR 1954.
2. M. B. Niejman. — Prilimienienie radioaktywnych izotopow w maszynostrojenii. Wiestnik Maszynostrojenija Nr 4, 1954.
3. E. P. Nadieinskaja. — Issledowanie izosa riezuszczevo instrumenta s pomocszu riezuszczenych atomow. Wiestnik Maszynostrojenija Nr 4, 1954.

22

4. M. O. Kaszkow. — Izuczenie izosa instrumenta s pomocszu radioaktywnych izotopow. Wiestnik Maszynostrojenija Nr 4, 1954.

5. P. E. Djaczenko, B. L. Slinko, A. A. Emielin. — Promienienie radioaktywnych izotopow dla ocenki izosa detalnoj maczin. Praci zbiorowa — Pieriedowoj opyt nawatorow maszynostrojenija. Izdat. Ak. Nauk SSSR 1954.

6. E. P. Nadieinskaja. Issledowanie izosa riezuszczevo instrumenta s pomocszu radioaktywnych izotopow Masziz. 1955.

7. M. B. Niejman. Prilimienienie radioaktywnych izotopow dla kontroli odnorodnosti twierdych tiel i opriedelenija linijnych razmierow. Stanki i Instrument Nr 4, 1955.

8. F. E. Diaczenko. — Prilimienienie radioaktywnych indikatorow dla ocenki izosa porszniewowo kolsa. Wiestnik Maszynostrojenija Nr 7, 1955.

9. A. G. Sulkin, A. G. Sacczeglow. Gamma — apparaty dla defektoskopii. Wiestnik Maszynostrojenija Nr 8, 1955.

10. F. E. Diaczenko, N. N. Tolkaczewa. — Opriedelenienie tolszcziny stienok s pomocszu radioaktywnych izotopow. Wiestnik Maszynostrojenija Nr 9, 1955.

11. W. I. Spieczin, P. M. Kodozizgow, M. M. Gotuwinia, A. F. Kuzina, Z. A. Sokolowa. — Miestody raboty s prilimienieniem radioaktywnych indikatorow. Izdat. Ak. Nauk SSSR, 1955.

12. Wsiamieljanow. — O zasztosowanuu izotopow promieniotwórczych jako zdrojow promienionowania. Zeszyty teoretyczno-polit. Nr 8, 1955.

13. Sessija akademii nauk SSSR po mirnromu ispolowanuiju atomnoj energii. Zastienienie oddelenija inżynierow nauk. Izdat. Ak. Nauk SSSR, 1955.

14. Buletyn Wojskowej Akademii Technicznej Nr 2 (43) Lutyl, 1955.

15. A. Piekara. — Elektryczność i budowa materii. PWN, 1955.

Mgr inż. B. CISZEWSKI

METALE WYSOKOTOPLIWE JAKO MATERIAŁY KONSTRUKCYJNE.

otrzymywanie, własności, obróbka i zastosowanie tytanu, cyrkonu, molibdenu, wolframu, tantalu, niobu, wanadu i hafnu

We współczesnej technice dużego znaczenia nabierają metale o wysokiej temperaturze topnienia. Jako najważniejsze z nich należy wymienić: tytan, cyrkon, molibden, wolfram, tantal, niob, wanad i hafn.

Wszystkie te metale należą do okresów przejściowych układu periodycznego i tworzą osobną grupę metali, charakteryzujących się poza wysoką temperaturą topnienia, cennymi własnościami fizycznymi i mechanicznymi. Wysokie własności plastyczne wymienionych metali zależą jednak od ich czystości, którą trudno uzyskać ze względu na duże powinowactwo ich do gazów w wysokich temperaturach.

Niektóre z tych metali, jak np. wolfram, molibden i tantal znalazły już obecnie duże zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, natomiast pozostate, szczególnie w stanie czystym, są jeszcze mało stosowane w technice. Wszystkim im jednak można postawić horoskopy szybkiego rozwoju już w najbliższych latach.

I tak np. tytan, który odznacza się wysoką wytrzymałością, dobrą plastycznością, niską gęstością i bardzo dużą odpornością na korozję, będzie prawdopodobnie w przyszłości — szczególnie w postaci stopów — posiadać duże znaczenie w technice. Cyrkon ze względu na swoją odporność na korozję znajdzie przede wszystkim zastosowanie w przemyśle chemicznym, jako materiał konstrukcyjny odporny na działanie kwasu solnego. Molibden i wolfram po opracowaniu odpowiednich powłok ochronnych zabezpieczających przed utlenieniem znajdują zastosowanie na części pracujące w wysokich temperaturach.

Tantal, ze względu na wysoką temperaturę topnienia, odporność na korozję i doskonałe własności plastyczne stosowany jest już obecnie w przemyśle chemicznym, w elektronice i chirurgii, a ilość jego zastosowań stale wzrasta. Wanad, hafn i niob są stosowane obecnie prawie wyłącznie jako składniki stopowe stali. Czyste te metale są jeszcze w technice bardzo mało stosowane, lecz horoskopy rozwoju ich są bardzo duże.

W artykule tym omówione będą kolejno wszystkie te metale, przy czym wymienione będą najważniejsze ich własności, metody produkcji oraz zastosowanie.

TYTAN

Otrzymywanie tytanu

Tytan, obok aluminium, magnezu i żelaza jest metalem występującym w największych ilościach w skorupie ziemskiej. Metalurgia tytanu uległa w ostatnich latach ogromnemu rozwojowi. Obecnie największe ilości tytanu na świecie otrzymuje się dwiema metodami, a mianowicie metodą

redukcji czterochloru tytanu w wysokich temperaturach przy pomocy magnezu i następnym przetopieniu otrzymanego tytanu w próżni i metodą zamiany rud tytanowych na czyste związki jodu, które następnie dysocjują w wysokich temperaturach dając czysty tytan.



Rys. 1. Mikrografia tytanu (pow. 100 x; trawione roztworem wodnym 2% HF i 3% HNO₃):
a) tytan otrzymany drogą dysocjacji związków jodu z tytanem po wyżarzeniu w temperaturze 850°C w próżni
b) tytan otrzymany drogą redukcji czterochloru tytanu przy pomocy magnezu, po wyżarzeniu w temperaturze 850°C w próżni

Na rys. 1a przedstawiona jest mikrografia tytanu otrzymanego metodą dysocjacji związków jodu z tytanem, a na rys. 1b mikrografia tytanu otrzymanego drogą redukcji czterochloru tytanu przy pomocy magnezu.

Metoda ogrzewania związków tytanu z jodem pozwala na otrzymanie bardziej czystego tytanu niż metoda redukcji czterochloru tytanu przy pomocy magnezu, jest jednak od niej znacznie mniej ekonomiczna. Metoda ta natomiast jest z reguły stosowana przy produkcji tytanu, od którego wymaga się specjalnie wysokich własności plastycznych, a także przy wytwarzaniu specjalnie czystego tytanu dla celów naukowych [13].

Obok tych dwóch podstawowych metod opracowany jest cały szereg metod nowych, które z powodzeniem mogą zastąpić w najbliższym czasie wyżej wymienione.

Własności tytanu

Własności fizyczne i mechaniczne tytanu podane są w tabeli 1 i 2 [2], [4], [13]. Należy zwrócić uwagę, iż temperatura topnienia tytanu jest wyższa od temperatur topnienia najczęściej obecnie stosowanych materiałów konstrukcyjnych, a więc stopów żelaza, aluminium i magnezu. Natomiast gęstość tytanu jest stosunkowo niska. Wartości modułu sprężystości i wytrzymałości na rozciąganie są dwukrotnie niższe niż austenitycznej stali nierdzewnej, natomiast przewodnictwo elektryczne tytanu i stali nierdzewnej jest mniej więcej takie samo.

Należy zaznaczyć, że własności tytanu, ze względu na jego powinowactwo do gazów są uzależnione od sposobu jego otrzymania, a ściślej mówiąc od rodzaju i ilości zanieczyszczeń i wtrąceń niemetalicznych.

Szczególnie duży wpływ na własności czystego metalu mają tlenki, azotki i węgliki tytanu [4]. Także i wodorki tytanu powstające przy wygrzewaniu tytanu w wodorze w temperaturze już powyżej 320° zwiększają znacznie jego kruchość. W przeciwieństwie jednak do kruchości

wywołanej obecnością tlenków, azotków i węglików, własności plastyczne takiego tytanu mogą być przywrócone przez wygrzewanie w próżni [13].

W temperaturach odczyszczenia tytan jest odporny na działanie kwasu azotowego, wody królewskiej, słabych roztworów kwasu siarkowego i solnego, a także na działanie prawie wszystkich kwasów organicznych [2]. Atakuje go tylko kwas solny o stężeniu większym niż 5%, stężony kwas siarkowy, kwas fluorowodorowy, kwasy fosforowe i roztwory alkaliczne o średnim i dużym stężeniu [4]. Woda morską i roztwory chlorków praktycznie na tytan nie działają [2].

Przeróbka plastyczna tytanu

Tytan otrzymany zarówno metodą ogrzewania związków tytanu z jodem, jak i metodą redukcji czterochlorku tytanu magnezem, można poddawać przeróbce plastycznej na zimno i na gorąco.

Walcowanie tytanu przeprowadza się najczęściej na zimno, stosując go każdym 40% zgnioście wyżarzanie rekrytalizujące w temperaturze 700°. Kucie tytanu przeprowadza się na gorąco w temperaturze 800–920°. Wyższych temperatur nie stosuje się ze względu na znaczny wzrost absorpcji gazów [2].



Rys. 2. Odkuwka ze stopu tytanu

Rys. 2 przedstawia odkuwkę ze stopu tytanu.

Ciągnięcie tytanu przeprowadza się na zimno, przy czym wyżarzanie rekrytalizujące w temperaturze 700° stosuje się po każdym 50% zgnioście.

Tytan o małych zawartościach tlenu, azotu i węgla można też poddawać głębokiemu tłoczeniu. Stosowane tu są jednak małe wartości szybkości tłoczenia, bardzo duże promienie zaokrąglenia matrycy i tłoczniaka i duże naciski [2].

Obróbka skrawaniem tytanu

Obróbka skrawaniem tytanu jest w zasadzie podobna do obróbki skrawaniem chromo-niklowych stali nierdzewnych; są jednak opinie, że

obróbka skrawaniem tytanu jest trudniejsza, ze względu na częste występowanie w tytanie twardych węglików i azotków tytanu [4]. Narzędzia do obróbki skrawaniem tytanu wykonuje się ze spieków twardych, jedynie przy wierceniu najlepsze wyniki otrzymuje się przy zastosowaniu wiertła z wysokobiałkowej stali szybko tnącej.

Przy toczeniu zgrubnym tytanu należy stosować szybkości skrawania od 13–18 m/min., a przy wykańczającym do 21 m/min. [4].

Wiercenie tytanu sprawia dużo kłopotów ze względu na to, iż na krańcu tnącej powstaje narost w postaci przyklepionych cząstek skrawanego metalu. Lepsze wyniki otrzymuje się przy stosowaniu bardzo małych szybkości wiercenia i przy bardzo intensywnym chłodzeniu.

Cięcie tytanu na pilach tarczowych jest możliwe tylko przy stosowaniu jako chłodziwa mieszaniny oleju rzepakowego i wody. Znacznie lepsze wyniki otrzymuje się przy cięciu tytanu przy pomocy tienu, palnikiem, chociaż powierzchniowo przecięte są twarde i utrudniają dalszą obróbkę skrawaniem.

Szlifowanie tytanu jest też utrudnione ze względu na bardzo duże zużycie się tarcz szlifierskich. Najlepsze wyniki otrzymuje się przy stosowaniu tarcz szlifierskich o osnowie tlenków aluminium i przy niedużych obrotach tarczy szlifierskiej od 2000–3000 obr/min. [4].

Obróbka cieplna tytanu

Od temperatur najniższych, aż do temperatury 885° C tytan występuje jako odmiana alotropowa α krystalizująca w układzie heksagonalnym [13]. W temperaturze 885° odmiana alotropowa α ulega przemianom, przy czym tworzy się odmiana alotropowa β , trwała aż do temperatury topnienia tytanu, krystalizująca w układzie regularnym o elementarnej siatce przestrzennej centrycznej. Podczas chłodzenia, przemiana alotropowej towarzyszy efekt nieznacznej utwardzenia tytanu, co jednak dla czystego metalu ma bardzo małe znaczenie praktyczne [4]. Natomiast w stopach tytanu przemiana alotropowa tytanu α w β ma bardzo duży wpływ na własności mechaniczne i będzie podstawą do obróbki cieplnej stopów tytanowych, która dotychczas nie jest jeszcze całkowicie opracowana [6].

Wyżarzanie rekrytalizujące tytanu przeprowadza się w temperaturach około 700° C na powietrzu. Czas wyżarzania musi być bardzo krótki i nie przekracza nawet przy dużych przekrojach 10–15 min. Przy dłuższych czasach wygrzewania na powierzchni metalu powstaje krucha warstwa tlenków, utrudniająca dalszą przeróbkę plastyczną [13].

Wyżarzanie odprężające tytanu przeprowadza się w temperaturach 300–320° C [13].

Wytrawianie tytanu

Odtłuszczenie tytanu przeprowadza się w ten sam sposób, jak odtłuszczenie stali.

Powierzchniową warstwę tlenkową powstałą podczas wyżarzania tytanu na powietrzu usuwa się przez wytrawianie go roztworem ligu sodowego NaOH lub roztworem sody Na₂CO₃. Należy jednak pamiętać, że roztwór sody o dużym stężeniu może powodować kruchość wytrawianego tytanu [4].

Jeżeli przedmioty wykonane z tytanu mają posiadać specjalnie błyszczące powierzchnie, to po usunięciu warstwy tlenkowej przedmioty te zanurzamy do odczynnika kwaśnego zawierającego 2% kwasu fluorowodorowego H_2F_2 i 10% kwasu azotowego HNO_3 .

Często przed wytrawieniem odczynnikami kwaśnymi stosuje się piaskowanie przedmiotów wykonanych z tytanu [13].

Łączenie tytanu

Łączenia części wykonanych z tytanu dokonuje się najczęściej drogą spawania lub zgrzewania oporowego. Natomiast łączenia tytanu z innymi metalami lub stopami dokonuje się drogą lutowania, przy czym jako luty używane są stopy $Ti-Cu$ i $Mn-Ni$ [4].

Przy montażu konstrukcji tytanowych stosuje się najczęściej zgrzewanie punktowe. Podczas zgrzewania występuje zjawisko bardzo dużej dyfuzji materiałów łączonych, ze względu na to, iż zgrzeźna posiada znacznie mniejsze przewodnictwo elektryczne niż metale łączone.

Otrzymane zgrzeźny posiadają gorsze własności plastyczne niż metal łączony, przy czym ich kruchość wzrasta ze wzrostem zawartości węgla w tytanie. Zmniejszenie kruchości zgrzeźni można uzyskać przez wygrzewanie połączonych części w atmosferze argonu [13].

Zastosowanie tytanu

Tytan znajduje obecnie szerokie zastosowanie w przemyśle lotniczym na części pracujące w wysokich temperaturach i narażone na korozję. Części te do niedawna wykonywane były wyłącznie ze stali ognioodpornych i nierdzewnych, a więc materiałów o gęstości przeszło dwukrotnie większej niż tytan.

Wyjątkowa odporność tytanu na korozję w wodzie morskiej powoduje duże zastosowanie tytanu w przemyśle okrętowym [1]. Należy przypuszczać, że już w najbliższym czasie przemysł okrętowy będzie największym odbiorcą tytanu. Już obecnie produkowane są tytanowe przewody wody morskiej, zawory, tłoki do pomp, części kondensatorów itp. [4].

W przemyśle chemicznym tytan, ze względu na swoją odporność na korozję stosowany jest przy budowie urządzeń do produkcji kwasu siarkowego i stężonych roztworów chlorków żelaza [13].

Odkuwki tytanowe znalazły też zastosowanie w przemyśle medycznym na narzędzia chirurgiczne [13].

Proszek tytanu znalazł zastosowanie w przemyśle radiotechnicznym jako getter, ze względu na to, iż w temperaturach powyżej $500^{\circ}C$ pochłania on prawie wszystkie gazy [4].

Proszki tytanu posiadają często własności piroforyczne i niektóre zastosowania proszku tytanu mogą wynikać z tej własności.

Tytan znajduje już też od dawna zastosowanie w metalurgii stali, stopów miedzi i stopów aluminium.

W metalurgii stali szeroko jest obecnie stosowane dodawanie tytanu do chromo-niklowej stali nierdzewnej o zawartości 18% Cr i 8% Ni. Nieznaczne ilości tytanu w tej stali wpływają bardzo korzystnie na jej własności mechaniczne i odporność na korozję [7].

20

Nieznaczne dodatki tytanu do stopów miedzi, aluminium i niklu zwiększają ich skłonność do starzenia i polepszają ich własności mechaniczne [8].

Stopy o osnowie tytanu są obecnie jeszcze mało znane, ale należy przypuszczać, iż stopy te dzięki bardzo dobrym własnościom mechanicznym i antykorozyjnym wyeliminują częściowo w przemyśle lotniczym stopy aluminium i stale nierdzewne [7].

CYRKON

Otrzymywanie cyrkonu

Cyrkon występuje w skorupie ziemskiej w znacznie większych ilościach niż miedź, nikiel czy ołów. Występuje on zawsze w skorupie ziemskiej obok hafnu. Całkowite oddzielenie tych dwóch metali, ze względu na bardzo zbliżone własności chemiczne, jest utrudnione i dlatego cyrkon techniczny zawiera zawsze od 0,5—3% hafnu. Jest to więc właściwie stop $Zr-Hf$. Obecność hafnu w cyrkonie zmniejsza nieco jego własności plastyczne i odporność na korozję [10].

Cyrkon podobnie jak tytan otrzymuje się albo drogą redukcji czterochlorków cyrkonu przy pomocy magnezu, albo drogą otrzymania z rud czystego związku jodu z cyrkonem, który dysocjuje w wysokich temperaturach [10].

Metoda druga służy do otrzymywania specjalnie czystego cyrkonu o zawartości hafnu do 0,1%.

Własności cyrkonu

Własności cyrkonu zależą przede wszystkim od ilości i rodzaju zanieczyszczeń, z których najważniejsze są: węgiel, tlen i azot. Zanieczyszczenia te występują w cyrkonie pod postacią twardych i kruchych węglików, azotków i tlenków cyrkonu i zmniejszają jego własności plastyczne. Znacznie większe ich ilości występują w cyrkonie otrzymanym metodą redukcji czterochlorku cyrkonu przy pomocy magnezu.

Orientacyjne własności cyrkonu podane są w tabeli 1 i 2 [2], [4], [9]. Jak widać z tabeli, temperatura topnienia cyrkonu jest nieco wyższa od temperatury topnienia tytanu; natomiast gęstość jego aczkolwiek niższa od żelaza, jest wyższa o 40% od gęstości tytanu.

Własności wytrzymałościowe cyrkonu są zbliżone do własności średniowęglowej stali, przy czym temperatura do $500^{\circ}C$ powoduje tylko nieznaczny spadek tych własności.

W temperaturach niskich cyrkon zachowuje własności wytrzymałościowe i plastyczne aż do temperatury $-220^{\circ}C$ [9].

Jedną z cech charakterystycznych cyrkonu, która nie została ujęta tabelami 1 i 2, jest jego bardzo duże powinowactwo do gazów w wysokich temperaturach. Własność ta utrudnia bardzo metalurgię i przerobkę plastyczną cyrkonu.

W temperaturach otoczenia cyrkon jest odporny na działanie prawie wszystkich kwasów organicznych, a także kwasu solnego, kwasu azotowego, roztworów kwasu siarkowego i wszystkich alkali. Cyrkon jest

29

atakowany tylko przez stężony kwas siarkowy i wodę królewską oraz niektóre chlorki [2].

Cyrkon czystszy jest bardziej odporny na korozję niż cyrkon techniczny, zawierający hafn. Także i zanieczyszczenia niemetaliczne cyrkonu, jak węgliki, tlenki i azotki zmniejszają odporność na korozję cyrkonu, przy czym wpływ ich jest daleko silniejszy niż hafnu.

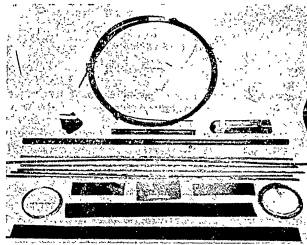
Przeróbka plastyczna cyrkonu

Czysty cyrkon posiada dobre własności plastyczne i można poddawać go kuciu, walcowaniu, ciągnięciu i tłoczeniu [4].

Kucie i walcowanie cyrkonu przeprowadza się na gorąco w temperaturze około 850°C, przy czym nagrzewanie cyrkonu do tej temperatury odbywa się w piecach z ochronną atmosferą zabezpieczającą przed jego utlenieniem.

Proces kucia względnie walcowania cyrkonu przeprowadza się na powietrzu, zwracając uwagę, aby temperatura przedmiotów przerabianych plastycznie nie spadła poniżej 650°C [4].

Ciągnięcie i tłoczenie cyrkonu przeprowadza się na zimno. Wyżarzanie-rekryształizujące stosuje się podczas tych procesów dopiero wtedy, gdy zgniót przedmiotów przerabianych plastycznie osiąga 60% [4]. Rys. 3 przedstawia produkty przeróbki plastycznej cyrkonu.



Rys. 3. Produkty przeróbki plastycznej cyrkonu

Własności plastyczne cyrkonu, jak już poprzednio wspomniano, są uzależnione od jego czystości. Hafn obniża te własności stosunkowo nieznacznie, natomiast większe ilości azotu, tlenku i węgla w cyrkonie uniemożliwiają całkowicie jego przeróbkę plastyczną [9].

* Obróbka skrawaniem cyrkonu nie różni się od obróbki skrawaniem tytanu.

Obróbka cieplna cyrkonu.

Cyrkon podobnie jak tytan w temperaturze otoczenia występuje jako odmiana alotropowa α , krystalizująca w układzie heksagonalnym. Podczas ogrzewania w temperaturze 862°C odmiana alotropowa α ulega przemianom na odmianę β krystalizującą w układzie regularnym w elementarnej siatce przestrzennie centrycznej. Podobnie jak przy tytanie, przemianie α w β towarzyszy nieznaczny wzrost twardości [10].

Wyżarzanie rekryształizujące cyrkonu przeprowadza się w temperaturze około 850°C, przy czym czas wygrzewania w tej temperaturze wynosi około 1 godziny. Przedmioty o dużych przekrojach wyżarza się na powietrzu, natomiast cienkie blachy lub druty w próżni lub w atmosferze redukującej. Należy podkreślić, że najlepsze własności plastyczne osiągają przedmioty cyrkonowe po wyżarzaniu w próżni.

Wyżarzanie odprężające cyrkonu przeprowadza się w temperaturze 300°C, lecz całkowite usunięcie naprężeń zachodzi dopiero po wyżarzeniu w 500°C [4].

Wytrawianie cyrkonu

Przedmioty cyrkonowe przerabiane plastycznie w wysokich temperaturach na powietrzu należy piaskować, a następnie wytrawiać dla usunięcia powierzchniowej warstwy tlenków.

Do trawienia stosuje się najczęściej odczynnik zawierający 1% kwas fluorowodorowy H_2F_2 i 2% azotan ołowiu $Pb(NO_3)_2$ [2]. Można też stosować wytrawianie w roztworze lugu sodowego NaOH.

Odtłuszczenie cyrkonu przeprowadza się tymi samymi sposobami, jak odtłuszczenie stali.

Łączenie cyrkonu

Łączenia części cyrkonowych drogą spawania oporowego można dokonywać jedynie przy zastosowaniu specjalnych atmosfer zabezpieczających spoiny przed pochłanianiem gazów z otoczenia.

Zgrzewanie i lutowanie cyrkonu z innymi metalami lub stopami nie daje pozytywnych wyników. [4].

Zastosowanie cyrkonu

Cyrkon posiada obecnie największe zastosowanie w przemyśle chemicznym, jako metal odporny na działanie kwasu azotowego i kwasu solnego. [1].

Jako metal odporny na korozję, o dobrych własnościach mechanicznych może być też użyty przy budowie pomp, zaworów, kondensatorów itp.

Duże zastosowanie znalazł cyrkon w technice wysokiej próżni, jako getter, ze względu na duże powinowactwo do azotu, tlenku i wodoru w wysokich temperaturach. Także ze względu na niską wartość wtórnej emisji elektronów, stosować można cyrkonowe siatki w lampach elektronowych [1].

atakowany tylko przez stężony kwas siarkowy i wodę królewską oraz niektóre chlorki [2].

Cyrkon czysty jest bardziej odporny na korozję niż cyrkon techniczny, zawierający hafn. Także i zanieczyszczenia niemetaliczne cyrkonu, jak węgliki, tlenki i azoki zmniejszają odporność na korozję cyrkonu, przy czym wpływ ich jest daleko silniejszy niż hafnu.

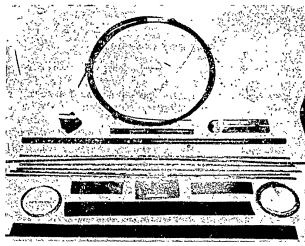
Przeróbka plastyczna cyrkonu

Czysty cyrkon posiada dobre własności plastyczne i można poddawać go kucia, walcowaniu, ciągnięciu i łoczeniu [4].

Kucie i walcowanie cyrkonu przeprowadza się na gorąco w temperaturze około 850°C, przy czym nagrzewanie cyrkonu do tej temperatury odbywa się w piecach z ochronną atmosferą zabezpieczającą przed jego utlenieniem.

Proces kucia względnie walcowania cyrkonu przeprowadza się na powietrzu, zwracając uwagę, aby temperatura przedmiotów przerabianych plastycznie nie spada poniżej 650°C [4].

Ciągnięcie i łoczenie cyrkonu przeprowadza się na zimno. Wyzarzanie-rekrytalizujące stosuje się podczas tych procesów dopiero wtedy, gdy zgniot przedmiotów przerabianych plastycznie osiąga 60% [4]. Rys. 3 przedstawia produkty przeróbki plastycznej cyrkonu.



Rys. 3. Produkty przeróbki plastycznej cyrkonu

Własności plastyczne cyrkonu, jak już poprzednio wspomniano, są uzależnione od jego czystości. Hafn obniża te własności stosunkowo nieznacznie, natomiast większe ilości azotu, tlenku i węgla w cyrkonie uniemożliwiają całkowicie jego przeróbkę plastyczną [9].

* Obróbka skrawaniem cyrkonu nie różni się od obróbki skrawaniem tytanu.

Obróbka cieplna cyrkonu.

Cyrkon podobnie jak tytan w temperaturze otoczenia występuje jako odmiana alotropowa α , krystalizująca w układzie heksagonalnym. Podczas ogrzewania w temperaturze 862°C odmiana alotropowa α ulega przemianom na odmianę β krystalizującą w układzie regularnym w elementarnej siatce przestrzennej centrycznej. Podobnie jak przy tytanie, przemianie α w β towarzyszy nieznaczny wzrost twardości [10].

Wyzarzanie rekrytalizujące cyrkonu przeprowadza się w temperaturze około 850°C, przy czym czas wygrzewania w tej temperaturze wynosi około 1 godziny. Przedmioty o dużych przekrojach wyżarza się na powietrzu, natomiast cienkie blachy lub druty w próżni lub w atmosferze redukującej. Należy podkreślić, że najlepsze własności plastyczne osiągają przedmioty cyrkonowe po wyżarzeniu w próżni.

Wyzarzanie odprężające cyrkonu przeprowadza się w temperaturze 300°C, lecz całkowite usunięcie naprężeń zachodzi dopiero po wyżarzeniu w 500°C [4].

Wytrawianie cyrkonu

Przedmioty cyrkonowe przerabiane plastycznie w wysokich temperaturach na powietrzu należy piaskować, a następnie wytrawiać dla usunięcia powierzchniowej warstwy tlenków.

Do trawienia stosuje się najczęściej odczynnik zawierający 1% kwas fluorowodorowy H_2F_2 i 2% azotan ołowiu $Pb(NO_3)_2$ [2]. Można też stosować wytrawianie w roztworze ługu sodowego NaOH.

Odduszanie cyrkonu przeprowadza się tymi samymi sposobami, jak odduszanie stali.

Łączenie cyrkonu

Łączenia części cyrkonowych drogą spawania oporowego można dokonywać jedynie przy zastosowaniu specjalnych atmosfer zabezpieczających spoiny przed pochłanianiem gazów z otoczenia.

Zgrzewanie i lutowanie cyrkonu z innymi metalami lub stopami nie daje pozytywnych wyników [4].

Zastosowanie cyrkonu

Cyrkon posiada obecnie największe zastosowanie w przemyśle chemicznym, jako metal odporny na działanie kwasu azotowego i kwasu solnego. [1].

Jako metal odporny na korozję, o dobrych własnościach mechanicznych może być też użyty przy budowie pomp, zaworów, kondensatorów itp.

Duże zastosowanie znalazł cyrkon w technice wysokiej próżni, jako getter, ze względu na duże powinowactwo do azotu, tlenku i wodoru w wysokich temperaturach. Także ze względu na niską wartość wstępnej emisji elektronów, stosować można cyrkonowe siatki w lampach elektronowych [1].

Obecnie duże zastosowanie posiada cyrkon jako materiał konstrukcyjny stopów atomowych, ze względu na to, iż cyrkon o małej zawartości hafnu charakteryzuje się bardzo niskim współczynnikiem absorpcji neutronów [4]. Poza tym cyrkon stosowany jest też w przemyśle medycznym na narzędzia chirurgiczne i dentystryczne, ze względu na jego własności antytoksyczne [9].

Cyrkon może być stosowany w przemyśle optycznym, ze względu na doskonałe odbijanie światła białego i w przemyśle pirotechnicznym jako składnik bezwzględnie materiałów wybuchowych [9].

W krajach wysoko uprzemysłowionych cyrkon stosuje się już szeroko jako składnik stopowy stali, stopów miedzi, aluminium i magnezu. I tak stwierdzono, iż w ilości 0,15–0,2% dodatek cyrkonu w stalach konstrukcyjnych wyraźnie podnosi wytrzymałość tych stali. Stwierdzono też, iż kilkuprocentowy dodatek cyrkonu w stalach szybkotnących znacznie zwiększa trwałość ostrza narzędzia [2].

Bardzo dobre własności posiadają stale niklowo-cyrkonowe, zawierające 3% Ni i 0,35% Zr, które odznaczają się doskonałą spawalnością i dobrymi własnościami wytrzymałościowymi [2].

Bardzo dobre własności mechaniczne i antykorozyjne posiadają też stopy miedzi z cyrkonem o zawartości Zr—6% i stopy niklu i kobaltu z cyrkonem o zawartości Zr do 20%.

Poza tym doskonale własności magnetycznie twarde posiada stop cyrkonu, niklu i kobaltu, a jednym z najlepszych materiałów stykowych jest stop złota z zawartością 0,3% Zr [2].

Duże zastosowanie znalazły także tlenki cyrkonu, które stanowią doskonały surowiec materiałów ogniotrwałych. Tlenki cyrkonu posiadają wysoką temperaturę mięknięcia około 2500°C i bardzo niski współczynnik rozszerzalności cieplnej, przez co materiały z nich wykonane są odporne na działanie wysokich temperatur i nagłe skoki temperatury [9].

MOLIBDEN

Otrzymywanie molibdenu

Molibden występuje w skorupie ziemskiej w znacznie mniejszych ilościach niż cyrkon i tytan. Najbogatsze złoża rud molibdenowych znajdują się w USA i Chinach [3].

Produktom wyjściowym do otrzymania czystego molibdenu jest ruda molibdenowa zwana molibdenitem (MoS). Najczęściej stosowana metoda otrzymywania molibdenu z molibdenitem polega na wykorzystaniu zdolności do sublimacji trójtlenku molibdenu MoO₃. W tym celu molibdenit poddaje się najpierw utleniającemu prażeniu, w czasie którego powstający trójtlenek sublimuje i zbiera się na filtrach. Czystość otrzymanego tą drogą trójtlenku molibdenu dochodzi do 99,9%. W dalszym ciągu przeprowadza się redukcję trójtlenku molibdenu przy pomocy wodoru w temperaturze 800°C i otrzymuje się czysty proszek molibdenu [1], [8].

Części molibdenowe otrzymuje się najczęściej drogą procesów metalurgii proszków, chociaż przetapianie proszku molibdenu w atmosferze redukującej lub w próżni jest też stosowane.

22

Własności molibdenu

Własności molibdenu podane są w tabeli 1 i 2 [1], [2], [4], [11]. Jak widać z tych tabel, temperatura topnienia molibdenu jest bardzo wysoka, podczas gdy gęstość jest prawie dwa razy niższa niż wolframu.

Przewodnictwo cieplne molibdenu jest dwukrotnie mniejsze niż przewodnictwo cieplne miedzi, lecz znacznie wyższe niż np. żelaza i niklu. Także i przewodnictwo elektryczne molibdenu jest znacznie mniejsze niż miedzi, lecz wyższe niż niklu, stali lub brązu fosforowego.

Z własności nie wymienionych w tabeli należy podkreślić bardzo duże powinowactwo molibdenu do tlenu w wysokich temperaturach; trójtlenek molibdenu sublimuje w temperaturach powyżej 700°C, nie chroniąc zupełnie metalu przed dalszym utlenieniem. Z tego też względu części molibdenowe ogrzane do wysokich temperatur mogą praować tylko w atmosferze redukującej lub pod przykryciem specjalnych powłok ochronnych. Jako warstwę ochronną molibdenu stosuje się najczęściej powłokę ceramiczną. Ostatnio szeroko rozpowszechniło się też nakrzymywanie molibdenu zmniejszające wybitnie jego utlenianie [2].

Należy jeszcze dodać, że peizanie molibdenu w temperaturach powyżej 1000°C jest mniejsze niż innych materiałów ognio- i żarowytrzymałych.

Odporność na korozję molibdenu jest mniejsza niż odporność tytanu, cyrkonu, a także i wolframu. Już w temperaturach otoczenia, w wilgotnym powietrzu molibden pokrywa się cienną warstewką tlenków. Molibden jest też atakowany przez kwas azotowy. Natomiast kwas solny, kwas fluorowodorowy, kwas siarkowy, a także alkalia działają słabo na molibden [4]. W suchym powietrzu utlenianie molibdenu rozpoczyna się w temperaturze 400°C [2].

Przeróbka plastyczna molibdenu

Własności plastyczne molibdenu są wysokie i można go przerabiać plastycznie na zimno i gorąco. Znacznie częściej stosowana jest dla molibdenu przeróbka plastyczna na gorąco, chociaż cienkie blachy, a nawet folie molibdenowe otrzymuje się drogą przeróbki na zimno, lecz nigdy w temperaturach niższych od 20°C [4].

Kucie molibdenu przeprowadza się w temperaturze 1250–1100°C, a walcowanie — w bardzo dużym zakresie temperatur w zależności od grubości przedmiotów walcowanych [3].

Rys. 4 przedstawia odkuwki molibdenowe.

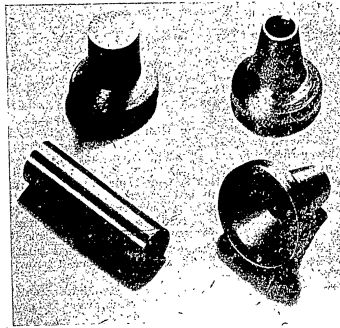
Tłoczenie molibdenu przeprowadza się też na gorąco. Cały proces tłoczenia należy sprowadzać do jednej operacji, gdyż przy większej ilości ciągów możliwości pęknięcia molibdenu są znacznie większe. Przy tłoczeniu należy zwracać uwagę, aby moduł tłoczenia, tzn. stosunek średnicy młoteczki do średnicy krążka wyjściowego wynosił nie mniej niż 0,5. Na tłoczni do tłoczenia molibdenu stosowane są bazy aluminiowe [4].

Rys. 5 przedstawia tłoczone tygle molibdenowe.

Ciągnięcie molibdenu przy większych średnicach drutu stosowane jest też w stanie podgrzanym, przy czym temperatura ciągniętego drutu wynosi od 750–500°C.

2 — Biuletyn WAT nr 1

33



Rys. 4. Odkawki molibdenu.



Rys. 5. Tłoczone tygle molibdenu.

Przy cięciu molibdenu na nożycach, lub przebijaniu w nim otworów trudno jest uniknąć mikroskopijnych pęknięć, które z czasem spowodować mogą zniszczenie danej części.

Ogrzewanie molibdenu do przeróbki plastycznej przeprowadza się w atmosferze wodoru; jedynie przy temperaturach nagrzewania niższych od 400°C można ogrzewać go na powietrzu.

Obróbka skrawaniem molibdenu

Do obróbki skrawaniem molibdenu stosowane są narzędzia ze stali szybko tnącej lub spieków twardych.

Podczas skrawania molibden ma tendencję do odpryskiwania i dlatego szybkości skrawania winny być niewysokie, a grubości wióra niewielkie. Przy toczeniu np. stosuje się szybkość skrawania 30 m/min, a grubość wióra 0,1 mm [4].

Wiercenie molibdenu przeprowadza się wyłącznie wiertłami z płytkami ze spieków twardych. Rzawiercenia natomiast należy unikać.

Szlifowanie molibdenu przeprowadza się podobnie jak szlifowanie żelaza [4].

Obróbka cieplna molibdenu

Obróbka cieplna molibdenu sprowadza się do wyżarzania rekryystalizującego, które przeprowadza się w temperaturze 950–1100°C w zależności od grubości wyżarzanych przedmiotów i poprzedzającej przeróbki plastycznej. Np. blachę cieniłą wyżarza się w temperaturze nie wyższej niż 1000°C przez 3 min. [2]. Przekroczenie tej temperatury lub czasu może powodować rekrystalizację wtórną i znaczny wzrost kruchości. Natomiast kształtowniki molibdenowe o większych grubościach wyżarzać można w temperaturach wyższych.

Wytrawianie molibdenu

Odtłuszczeniem molibdenu przeprowadza się w ten sam sposób, jak odtłuszczenie stali. Dla usunięcia powierzchniowej warstwy tlenków stosuje się wytrawianie molibdenu w gorącym roztworze kwasu chromowego lub w kwasie siarkowym z dodatkiem kwasu fluorowodorowego, azotowego i chromowego.

Trawienie tą mieszaniną kwasów przeprowadza się w temperaturze 90°C w ciągu 10 sek. Polysk nadaje się częściom molibdenowym przez elektrotrawienie, przy czym jako elektrolit stosowany jest roztwór kwasu chromowego [4].

Obok wytrawiania dla usunięcia powierzchniowych tlenków na przedmiotach molibdenowych stosuje się także wygrzewanie w temperaturze 800°C w atmosferze wodoru lub dysocjowanego amoniaku [1]. Chłodzenie od tych temperatur do temperatur otoczenia winno być przeprowadzane także w atmosferze ochronnej.

Łączenie molibdenu

Do łączenia części molibdenowych stosuje się nitowanie lub lutowanie. Nitowanie przeprowadza się przy pomocy nitów molibdenowych, a lutowanie przy pomocy lutiw ze stopów miedzi lub srebra [4].

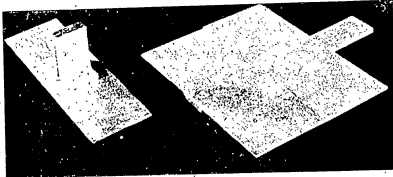
Spawanie i zgrzewanie molibdenu jest też możliwe, ale otrzymane spoiny są bardzo krucho. W temperaturach otoczenia. Kruchość ta maleje w temperaturach powyżej 100°C. Spawanie arkatomowe molibdenu jest też praktykowane. Wszystkie części molibdenowe przed zgrzewaniem i spawaniem winny być starannie piaskowane.

Zastosowanie molibdenu

Molibden ze względu na wysoką temperaturę topnienia, wartość współczynnika rozszerzalności zbliżoną do szkła i wysokie własności wytrzymałościowe, które zachowuje aż do 1000°C, znalazł przede wszystkim zastosowanie w technice wysokiej próżni i radiotechnice, jako np. elektrody w lampach elektronowych i pręty podtrzymujące wolframowe włókna w lampach żarowych [1]. W lampach radiowych molibden stosuje się na anody, a w lampach rentgenowskich na osłony anod. Szerokie zastosowanie ma też molibden w prostownikach rtecjowych i lampach dużej mocy ze względu na jego zdolność tworzenia szczelnych i niewrażliwych na zmianę temperatur połączeń ze szkłem [1].

Znaczne zastosowanie znalazły molibdenowe elementy grzejne w elektrycznych piecach oporowych. Piecze te pracujące zawsze z atmosferą wodorową osiągają maksymalną temperaturę 1450–1700°C i znalazły duże zastosowanie przy spiekaniu proszków metalicznych.

Z molibdenu w krajach wysoce uprzemysłowionych produkuje się też elektrody do pieców używanych do topienia szkła. Elektrody takie wykonuje się w postaci blach o grubości do 20 mm lub prętów o średnicy około 25 mm [4]. Rys. 6 przedstawia takie elektrody.



Rys. 6. Elektrody molibdenowe

Molibden jest cennym składnikiem stali stopowych konstrukcyjnych i narzędziowych. W stalach konstrukcyjnych molibden zwiększa żaroodporność i odporność na korozję, a w stalach narzędziowych zwiększa hartowność, odporność na ścieranie i polepsza kowalność [2]. Dodatek molibdenu do stali pancernych zwiększa ich odporność na przebiecie. W stalach kotłowych molibden zmniejsza pękanie.

Węglik molibdenu Mo₂C charakteryzują się wysoką twardością (1479 H_v) i wraz z węglkami wolframu, tytanu i niobu używane mogą być do wyrobu spieków twardych.

WOLFRAM

Otrzymywanie wolframu

Wolfram w skorupie ziemskiej występuje w mniejszych jeszcze ilościach niż molibden. Wolfram otrzymuje się w postaci proszku z rud wolframowych: wolframitu (wolframan żelazowo-manganowy) i szellit (wolframan wapnia). Zmielony wolframt stapia się najpierw z sodą w temp. 800°C i następnie wylugowuje otrzymując kwas wolframanu sodu. Przez dodanie do niego kwasu solnego sیرca się kwas wolframowy, na który działa się amoniakiem i otrzymuje wolframan amonu. Ogrzewanie wolframanu amonu prowadzi do otrzymania trójtlenku wolframu WO₃ [1], [3].

Gdy rudą wyjściową jest szellit, proces skraca się, gdyż opuszcza się stąpienie z sodą i działa od razu kwasem solnym na jego wodną zawiesinę.

Następnie trójtlenek wolframu redukuje się na metaliczny proszek wolframowy przy pomocy wodoru w temperaturze 800–900°C [1].

Przedmioty wolframowe otrzymuje się z proszku przeważnie procesami metalurgii proszków.

Własności wolframu

Wolfram jest to jeden z najwyższej topliwych (3370°C) i najcięższych metali (gęstość 19,3 g/cm³).

Przewodnictwo cieplne wolframu wynoszące w temperaturze 20° — 0,476 cal/cm sek °C jest więcej niż dwukrotnie mniejsze niż miedzi, lecz większe niż niklu i żelaza.

W temperaturach otoczenia własności wytrzymałościowe wolframu są nieco wyższe niż molibdenu, przy czym własności te prawie nie ulegają zmianie aż do 1000°C [1].

Cechą charakterystyczną wolframu jest to, iż podczas przeróbki plastycznej na zimno, pod wpływem zgniotu wytrzymałość jego zmienia się zupełnie nieproporcjonalnie do twardości i tak np. przy ciągnięciu drutu wolframowego średnicy 6 mm do 2,5 mm wytrzymałość jego rośnie dwukrotnie, podczas gdy twardość wzrasta tylko o 3 jednostki RC. Odporność wolframu na korozję jest większa niż molibdenu.

W temperaturach poniżej 100°C wolfram jest odporny na działanie większości kwasów i ługów. Rozpuszcza się natomiast bardzo szybko w wodzie królewskiej w temperaturze 100°C i w mieszaninie kwasu fluorowodorowego i azotowego [4].

Powinowacstwo wolframu z tlenem w temperaturach podwyższonych jest duże. W temperaturach powyżej 400°C wolfram pokrywa się warstwą trójtlenku wolframu WO₃, która nie stanowi ochrony przed dalszym utlenianiem.

Przeróbka plastyczna wolframu

W temperaturach otoczenia wolfram ma gorsze własności plastyczne niż tytan, cyrkon, tantal czy molibden i dlatego też przeróbka plastyczna wolframu przeprowadzana jest w przeważającej większości wypadków na gorąco [2].

Spieki wolframowe kuje się i walcuje w temperaturach od 1150° do 1650°C, przy czym przy większych przekrojach stosować należy wyższe temperatury [4]. Stosowanie temperatur niższych powoduje powstanie rys i pęknięć. Dodatek należy, iż kucie spieków wolframowych przeprowadza się przy stosowaniu bardzo małych energii uderzeń.

Cięcie wolframu przeprowadza się też wyłącznie na gorąco i to w temperaturach zależnych też od wielkości przekroju przecinanego. Ciągnięcie drutu wolframowego o średnicy większej niż 0,3 mm przeprowadza się w temperaturach wyższych od 800°C w ciągnidłach ze spieków twardych. Przy średnicy mniejszej od 0,3 mm stosuje się ciągnidła diamentowe. Jako smar przy ciągnięciu drutów wolframowych stosowany jest zawsze grafit. Nagrzewanie wolframu do temperatur przeróbki plastycznej winno być przeprowadzane w wodzie.

Obróbka skrawaniem wolframu

Obróbka skrawaniem wolframu jest bardzo trudna i należy unikać konieczności toczenia, prasowania, wiercenia, czy strugania części wolframowych [4]. Jedyne praktykowane jest cięcie i szlifowanie wolframu. Cięcie wolframu przeprowadza się na pilach tarczowych, diamentowych z wiązaniem kauczukowym, przy czym całą operację przeprowadza się bardzo ostrożnie, gdyż łatwo powstają pęknięcia, które potem trudno jest usunąć drogą szlifowania.

Szlifowanie wolframu przeprowadza się tylko tarczami karborundowymi [4]. Podczas szlifowania, aby zabezpieczyć się przed odpryskiwaniem wolframu, należy nie zmieniać obrotów i posuwu tarczy i stosować małe grubości warstwy szlifowanej.

Obróbka cieplna wolframu

Wyżarzanie wolframu w temperaturach powyżej temperatur rekryształizacji pociąga za sobą gwałtowny wzrost kruchości i dlatego też wolfram wyżarza się w ciągu 20–30 min. w temperaturach nieco niższych od temperatur rekryształizacji, np. około 1000°C, co daje tylko całkowite usunięcie naprężeń własnych.

Wytrawianie wolframu

Druty wolframowe przerabiane plastycznie na zimno poddaje się zasadniczo tylko odtłuszczeniu, stosując metody przyjęte dla stali. Natomiast blachy, pręty i odkuwki wolframowe przerabiane na gorąco, bez stosowania atmosfer ochronnych podczas procesów przeróbki plastycznej, poddaje się dla usunięcia warstwy tlenków — wytrawianiu w ciągu paru sekund w roztopionej sodzie kaustycznej. Po wytrawianiu przedmioty chłodzi się i przepłukuje w bieżącej wodzie gorącej. Ze względu na to, iż roztopiona soda może atakować wolfram [4], czas wytrawiania musi być ograniczony do minimum.

Drozszy od wytrawiania, lecz również szeroko stosowanym sposobem oczyszczania warstwy tlenków wolframowych, jest redukcja przedmiotów utlenionych przy pomocy wodoru w temperaturze 800–1000°C w ciągu 10–30 min. Chłodzenie od tych temperatur do temperatur otoczenia przeprowadza się również w atmosferze wodoru [1].

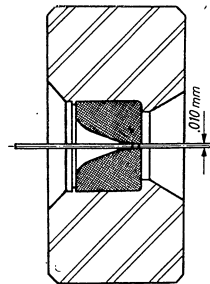
Łączenie wolframu

Do łączenia części wolframowych stosuje się prawie wyłącznie lutowanie. Najczęściej jako luty stosuje się miedź, nikiel lub gły części mają pracować w wysokich temperaturach — tantal w postaci cienkiej blaszki [4].

Opracowana też została metoda łączenia części wolframowych przy pomocy spawania arkatomowego, przy czym dotychczasowe badania dały pozytywne wyniki.

Zastosowanie wolframu

Czysty wolfram ze względu na swoją wysoką temperaturę topnienia i dobre własności wytrzymałościowe w wysokich temperaturach znalazł głównie zastosowanie jako włókna w lampach żarowych i elektronowych. Poza tym używa się go jeszcze na katody i antykatody w lampach rentgenowskich, na elementy grzejne w piecach oporowych oraz do aparatury pracującej w wysokiej próżni, na sprężynki napinające katody żarzeniowe i elektryczne przejścia próżniowe w lampach [1].



Rys. 7. Przekrój przez ciągnidło wykonane ze spieków twardych, zaprasowane w obrębie stalowej

Znane są też powszechnie elektrody wolframowe do świec zapłonowych wysokiej wydajności, elektrody do spawania arkatomowego, a także i elektrody do zgrzewania oporowego [1].

Największe jednak zapotrzebowanie wolframu (około 90% całego zapotrzebowania) stanowi metalurgia stali. Dodatek wolframu w stalach narzędziowych zwiększa ich odporność na zużycie, zmniejsza krytyczną szybkość ich hartowania, zwiększa ich hartowność i przede wszystkim

zmniejsza skłonność stali hartowanej do odpuszczania w podwyższonych temperaturach, dzięki czemu narzędziowe stale wolframowe nadają się na narzędzia do pracy na gorąco.

Obok stali narzędziowych z dodatkiem wolframu, znane są też stale wolframowe o zawartości do 6% W stosowane jako materiały magnetycznie twarde.

Duże ilości wolframu znajdują też zastosowanie przy produkcji spieków twardych, których głównym składnikiem jest węgiel wolframu. Na rys. 7 przedstawiony jest przekrój przez ciągnak ze spieków twardych, zaprosowane w obręczy stalowej.

Z produktów metalurgii proszków znane są jeszcze spieki wolframowe z dodatkiem miedzi i niklu, o gęstości powyżej 16,5 g/cm³; są one stosowane przy budowie maszyn w wypadkach, gdy należy na umieszczeniu dużej masy na małej przestrzeni, a więc przy budowie wirników, regulatorów, na przeciwwagi i ciężarki wyrównawcze itp. [1].

Innym spiekem ciężkim jest spiek wolframu z dodatkiem kobaltu i niklu o gęstości 17 g/cm³, który stosuje się jako osłony przed promieniami Roentgena i schowki na materiały radioaktywne [2].

TANTAL

Otrzymywanie tantalu

Tantal otrzymuje się w postaci proszku poprzez elektrolizę soli tantalowej K₂TaF₇ [1]. Rudą wyjściową do otrzymywania K₂TaF₇ jest najczęściej tantalit, zawierający 75% pięciotlenków tantalu i niobu. Te dwa metale występują w przyrodzie zawsze razem, a ze względu na zbliżone własności chemiczne trudno jest je oddzielić.

W skali technicznej proces otrzymywania czystego tantalu z tantalitu przedstawia się następująco:

Na pokawalkowaną rudę działa się najpierw sodą i otrzymuje się wodrodenki tantalu i niobu, które następnie rozpuszcza się w kwasie fluorowodorowym i dodaje fluorku potasu. W efekcie strącają się dwie sole K₂TaF₇ i K₂NbF₇ · H₂O, łatwe od oddzielenia, gdyż tylko druga z nich rozpuszcza się w wodzie [1].

Przedmioty tantalowe otrzymuje się najczęściej drogą procesów metalurgii proszków, przy czym spiekanie musi być przeprowadzone w próżni, gdyż metal łatwo absorbuje prawie wszystkie gazy, a szczególnie wodór [1].

Można też proszek tantalowy przetapiać w łuku elektrycznym w próżni, a następnie odlewać do kokili.

Własności tantalu

Najważniejsze własności fizyczne i mechaniczne tantalu zostały podane w tabeli 1 i 2 [1], [2], [4], [12]. Jak widać z powyższych tabel, tantal chociaż ma dwukrotnie wyższą gęstość od stali, przypomina ją jednak w wielu własnościach mechanicznych i fizycznych.

Wytrzymałość na rozciąganie, twardość, wydłużenie, a także przewodnictwo cieplne tantalu, jest bardzo zbliżona do stali średniogłowej.

40

Natomiast przewodnictwo elektryczne tantalu jest mniejsze niż stali. W odróżnieniu też od stali, tantal w temperaturach otoczenia jest paramagnetyczny.

Tantal ma dobre własności plastyczne i jego przeróbka plastyczna na blachy, pręty, druty, rury przeprowadzana jest prawie zawsze na zimno [2].

Tantal należy do metali bardzo odpornych na korozję. W temperaturach otoczenia tantal jest odporny na działanie prawie wszystkich kwasów, za wyjątkiem kwasu fluorowodorowego, stężonego kwasu siarkowego i mieszaniny kwasu fluorowodorowego i azotowego [4]. Na działanie ludów tantal jest mniej odporny; także i fluorki atakują go dość gwałtownie [4]. Wody rzeczne, morskie i mineralne nie działają na tantal zupełnie, natomiast wysokoalkaliczne wody kotłowe powodują jego korozję [2].

Ze wzrostem temperatury odporność na korozję tantalu znacznie się zmniejsza. W wysokich temperaturach tantal chętnie łączy się z tlenem, a także pochłania prawie wszystkie gazy, a szczególnie wodór, azot i gazy szlachetne. Z chlorem tantal łączy się już w temperaturze 175° [4].

Przeróbka plastyczna tantalu

Przeróbka plastyczna tantalu przeprowadzana jest na zimno. Ogrzany tantal przy zetknięciu się z powietrzem lub z atmosferą ochronną traci bowiem od razu własności plastyczne, ze względu na jego wielkie zdolności pochłaniania prawie wszystkich gazów.

Tantal ma dobre jednak własności plastyczne, ponieważ na zimno daje się łatwo walcować, tłoczyć, ciągnąć, prasować, a nawet kucie.

Walcowane blaszki tantalowe osiągają grubości poniżej 0,1 mm. Do głębokiego tłoczenia stosowane są blachy tantalowe po wyżarzeniu rekryształizującym w temperaturze 1000°C w wysokiej próżni. Jeżeli tłoczenia przeprowadza się tylko w jednej operacji, wysokość maseczki może być równa średnicy stempla. Przy kilku ciągach wysokość maseczki może wynosić najwyżej 0,4 — 0,5 średnicy stempla [4].

Ciągnięcie tantalu nie sprawia kłopotu i wyżarzania rekryształizujące w próżni można stosować rzadziej niż przy ciągnięciu stali [2].

Cięcie tantalu daje pozytywne wyniki jedynie przy zastosowaniu luzu pomiędzy matrycą a stemplem, wynoszącym około 6% grubości blachy.

Kucia tantalu należy unikać. W wypadkach jednak koniecznych, stosować należy małe ciężary bijaka i uderzenia lekkie, lecz częste [12].

Obróbka skrawaniem tantalu

Ze względu na to, iż skrawalność tantalu jest stosunkowo dobra, obróbka skrawaniem tantalu nie sprawia większych trudności i można części tantalowe toczyć, frezować, wiercić itp.

Na narzędzia do obróbki skrawaniem tantalu stosowane są przeważnie stali szybko tnące, gdyż na narzędziach ze spieków twardych podczas skrawania szybko powstaje na krawędzi tnącej narost w postaci przyklepanych cząstek tantalu skrawanego. Kąty ostrza przy skrawaniu tantalu stosuje się takie same, jak przy skrawaniu miedzi.

Dzielenie procesów obróbki skrawaniem tantalu na obróbkę zgrubną i wykańczającą nie daje wyników pozytywnych i raczej dąży się do jed-

41

nej operacji, podczas której należy stosować szybkości skrawania nie mniejsze niż 30 m/mm i małe wartości posuwu. Przy szybkościach mniejszych niż 30 m/mm może następować bardzo łatwo pęknięcie tantalu skrawanego [4].

Szlifowanie tantalu nie daje dobrych wyników, szczególnie gdy przedmioty tantalowe po obróbce plastycznej były wyżarzane rekrystalizującym. Tantal utwardzony szlifuje się tarczami karborundowymi, lecz szlifowanie nie daje wyniki mierne [9].

Obróbka cieplna tantalu

Obróbka cieplna tantalu sprowadza się do wyżarzania rekrystalizującego, które przeprowadza się w temperaturach około 1000°C w wysokiej próżni [4].

Wytrawianie tantalu

Po przeróbce plastycznej przedmioty tantalowe poddaje się wytrawianiu najczęściej w ograniczonym kwasie chromowym [4]. Gdy wymagana jest szczególnie wysoka czystość powierzchni wytrawianej, przed zanurzeniem tantalu w ograniczonym kwasie chromowym stosuje się gorącą kąpiel kwasu solnego, dla całkowitego pozbycia się cząsteczek żelaza na powierzchni przedmiotów tantalowych. Wytrawione przedmioty muszą być starannie osuszone w strumieniu suchego i odkurzonego powietrza.

Łączenie tantalu

Części tantalowe można spawać i zgrzewać oporowo [2]. Przy zgrzewaniu punktowym, które jest dla blach tantalowych najczęściej stosowane, należy stosować małe naciski i wysokie wartości natężenia prądu. Przy stosowaniu dużych nacisków plastyczne blachy tantalowe łatwo się dopasowują, zmniejszając opór elektryczny, co w efekcie daje powierzchniowe zgrzewy o bardzo niskich własnościach wytrzymałościowych. Przy prawidłowo przeprowadzonym procesie zgrzewania, a także spawania, miejsca łączone mają własności plastyczne i wytrzymałościowe podobne do metalu łączącego [12].

Zastosowanie tantalu

Tantal znalazł zastosowanie w wielu ważnych gałęziach współczesnej techniki. I tak stosowany jest szeroko w przemyśle chemicznym, elektrotechnicznym, medycznym, w technice wysokiej próżni, radiotechnice, metalurgii itp.

W przemyśle chemicznym tantal ze względu na swoją odporność na działanie kwasów, znalazł zastosowanie jako materiał konstrukcyjny, używany do budowy urządzeń przy produkcji kwasu solnego i azotowego. Poza tym tantal w przemyśle chemicznym i elektrotechnicznym w wielu wypadkach zastępować może platynę (np. elektrody pracujące w elektrolitach o małym lub dużym stężeniu jonów wodorowych).

W elektrotechnice i radiotechnice tantal używany jest jako materiał konstrukcyjny, np. na anody i sprężynki napinające włókna katody w różnych lampach elektronowych [1]. Poza tym w technice wysokiej próżni

tantal używany jest jako getter, a to ze względu na wymienione wyżej własności pochłaniania gazów. Te gettrujące właściwości tantalu wykorzystywane są też w generatorach lampowych o dużej mocy, gdzie wykonuje się anody z tantalu [2].

Ze względu na to, iż tantal nie jest podatny na działanie kwasów fizjologicznych, w chirurgii stosowane są nici tantalowe do łączenia przeciętych nerwów i ścięgien, a także blaszki tantalowe do zastępowania brakujących tkanek w czaszce [4].

W metalurgii stali zastosowanie tantalu jest znacznie mniejsze niż wolframu, molibdenu, tytanu, a nawet cyrkonu. W niektórych krajach wyspecjalizowanych są wprowadzane nieznacznie ilości tantalu do stali nierdzewnych, przez co stale te osiągają lepsze własności antykorozyjne [2].

NIOB

Otrzymywanie niobu

Niob w skorupie ziemskiej występuje zawsze wraz z tantalum. Sposób oddzielania tantalu i niobu opisany był już wyżej. Niob podobnie jak tantal otrzymuje się w postaci proszku — drogą elektrolizy. Po wydzieleniu z mieszaniny K_2TiF_6 i $K_2NbO_5 \cdot H_2O$ — soli zawierającej niob, poddaje się ją elektrolizie [1]. Proszki niobu prasuje się następnie i spieka podobnie jak proszki tantalu i tytanu.

Własności niobu

Własności mechaniczne i fizyczne niobu podane są w tabeli 1 i 2 [2], [4], [15].

Gęstość jego jest zbliżona do miedzi, a więc jest około dwukrotnie niższa niż tantalu.

Własności wytrzymałościowe i plastyczne niobu są zbliżone do własności tantalu, natomiast jego przewodnictwo cieplne i opór elektryczny są wyższe niż tantalu. Poza tym niob podobnie jak i tantal jest paramagnetyczny [4].

Niob jest mniej odporny na korozję niż tantal. Atakują go prawie wszystkie alkalia, a także kwas fluorowodorowy i mieszanina kwasu fluorowodorowego i azotowego. Natomiast kwasy organiczne i mineralne nie działają na niob zupełnie [4]. W temperaturach powyżej 100°C odporność na korozję niobu jest jeszcze mniejsza, a w temperaturach jeszcze wyższych podobnie jak tantal niob pochłania większość gazów.

Niob posiada duże powinowactwo z tlenem, ale powstała warstwa tlenków jest szczelna i chroni go przed dalszą korozją [2], [15].

Przeróbka plastyczna niobu

Podobnie jak tantal, niob poddawany jest przeróbce plastycznej na zimno. Można go walcować, tłoczyć, ciągnąć, kuć itp. [4].

Cechą charakterystyczną niobu jest mały wpływ zgniotu na własności mechaniczne i dlatego można w jednej operacji przeróbki plastycznej na zimno uzyskiwać zgniot do 60% [4].

Obróbka skrawaniem niobu

Skrawalność niobu jest podobna jak tantalu. Niob można toczyć, frezować oraz wiercić. Ze względu jednak na łatwe odpryskiwanie i łamanie niobu podczas obróbki skrawaniem, konieczne jest stosowanie małych posuwów [4].

Narzędzia do obróbki skrawaniem niobu wykonuje się najczęściej ze stali szybko tnącej lub rzadziej ze spieków twardych.

Obróbka cieplna niobu

Wyżarzanie rekrytalizujące niobu przeprowadzane jest w temperaturze 1000°C w wysokiej próżni [15].

Łączenie niobu

Części wykonane z niobu łączy się najczęściej drogą zgrzewania. Spawanie oporowe niobu jest możliwe do przeprowadzenia, lecz spoiny mają bardzo niskie własności wytrzymałościowe. Spawanie gazowe niobu nie daje wyników pozytywnych [15].

Zastosowanie niobu

Zastosowania czystego niobu są dotychczas nieznaczne. Czysty niob stosowany jest w technice wysokiej próżni na żarzące się katody i anody w lampach elektronowych wysokiej jakości, a także w elektrotechnice jako prostownik prądów o niskim napięciu [1].

Poza tym niob może być stosowany jako materiał konstrukcyjny w przemyśle chemicznym, gdzie wykorzystana jest jego odporność na działanie niektórych kwasów [2]. Głównym zastosowaniem niobu jest metalurgia stali. W krajach wysoce uprzemysłowionych wprowadza się niob w niewielkich ilościach od 0,5—0,8% do wszystkich stali nierdzewnych chromowo-niklowych [2]. Niob w stalach tych podwyższa odporność na korozję w wysokich temperaturach, zmniejsza możliwości korozji międzykryształicznej, polepsza spawalność tych stali i własności plastyczne.

Bardzo korzystny jest też dodatek niobu w stalach narzędziowych wysokochromowych, gdyż zwiększa ich hartowność [4] i w stalach do azotowania, gdzie zwiększa szybkość azotowania tych stali i zwiększa ich twardość [2].

Bardzo odporne na korozję są także stopy nikiel-niob i żelazo-niob. Stop o składzie 97% Fe i 3%Nb może być używany przy budowie turbin parowych.

Nieznaczny dodatek niobu do stopów aluminiowych zwiększa ich drobnozarnistość, a w związku z tym polepsza ich własności wytrzymałościowe. Stopy niobu z aluminium i chromem cechuje wysoka odporność na korozję i wysoką twardość [2].

Węglik niobu o bardzo wysokiej twardości (do 2055 H_v) wraz z węglikami wolframu i chromu mogą, a nawet już znajdują zastosowanie przy produkcji spieków twardych [1].

WANAD

Otrzymywanie wanadu

Wanad nie należy do metali tzw. rzadkich. W skorupie ziemskiej wanad występuje w większych ilościach niż metale tak popularne, jak cynk i nikiel. Złoża wanadu są jednak rozproszone po całej kuli ziemskiej, a rudy wanadu są rudami ubogimi.

Metalurgia wanadu polega na chemicznej metodzie otrzymania z jego rud czystego trójlenku wanadu, a następnie jego redukcji przy pomocy wapnia Ca w atmosferze ochronnej [11], [2].

Przedmioty wanadowe otrzymuje się z proszku wanadowego procesami metalurgii proszków albo drogą topnienia w łuku elektrycznym w atmosferze argonu.

Własności wanadu

Własności fizyczne i mechaniczne wanadu są ujęte w tabeli 1 i 2 [2], [4], [11].

Wanad ma niską gęstość i wysoką temperaturę topnienia, w związku z czym przypomina cyrkon i tytan. Moduł sprężystości wanadu jest jednak znacznie wyższy niż tytanu i cyrkonu i stosunek modułu sprężystości do gęstości dla wanadu i stali węglowej jest zbliżony.

Wanad w podwyższonych temperaturach chwieje łączy się z tlenem i azotem, a także pochłania wodór w dużych ilościach. Utlenianie wanadu zaczyna się już w temperaturze 300°C i rośnie bardzo szybko do temperatury 400°C. Z azotem wanad łączy się dopiero w temperaturach powyżej 700°C. Wtrącenia gazowe w wanadzie zwiększają jego kruchość, przy czym przy zawartości tlenu powyżej 0,1%, a azotu 0,03, wanad już jest niezdolny do przeróbki plastycznej [4].

Odporność na korozję czystego wanadu nie jest całkowicie zbadana. Wiadome jest jednak, iż wanad jest odporny na działanie wody morskiej, umiarkowanie stężonego kwasu solnego i siarkowego i jest gwałtownie atakowany przez kwas azotowy [2].

Przeróbka plastyczna wanadu

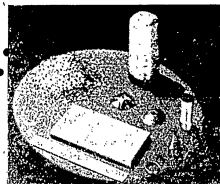
Czysty wanad ma dobre własności plastyczne i można go walcować, prasować, ciągnąć, tłoczyć i ciąć na wykrojnikach [4].

Na rys. 8 przedstawione jest walcowanie na zimno blachy wanadowej. Przeróbkę plastyczną na zimno można przeprowadzać do zgniotu 85% bez wyżarzania rekrytalizującego. Blachę wanadową do grubości 6 mm walcuje się na zimno, a przy grubościach większych walcuje się w stanie podgrzanym w temperaturach 800—1150°C [4].

Drut wanadowy można przeciągać do grubości 0,1 mm [4]. Na rys. 9 przedstawione są półprodukty i gotowe części wykonane z wanadu.



Rys. 8. Walcowanie na zimno blachy wanadowej



Rys. 9. Półprodukty i gotowe części wykonane z wanadu

Obróbka skrawaniem wanadu

Wanad podczas obróbki skrawaniem przypomina stal węglową walcowaną na zimno.

Przy obróbce wanadu nożami ze stali szybko tnącej, otrzymuje się powierzchnię o większej gładkości niż nożami ze stali twardych.

Przy skrawaniu wanadu należy stosować możliwe wysokie szybkości skrawania [2].

Obróbka cieplna wanadu

Wyżarzanie odprężające wanadu przeprowadza się w temperaturze 600°C w atmosferze obojętnej lub redukującej, a wyżarzanie rekryystalizujące w temperaturze 900°C w próżni [2].

46

Łączenie wanadu

Części wanadowe mogą być spawane lub zgrzewane elektrycznie, ale zawsze przy zastosowaniu obojętnej atmosfery argonu [4].

Zastosowanie

Czysty wanad ma we współczesnej technice jeszcze ograniczone zastosowanie.

Wydaje się, iż główne zastosowanie znajdzie wanad w najbliższym czasie w przemyśle chemicznym, z racji wysokiej odporności na korozję i w przemyśle okrętowym — z racji odporności na działanie wody morskiej [4].

Największe zastosowanie obecnie ma wanad w metalurgii stali. Dodatek wanadu w stali wpływa na dobre odgazowanie stali, a szczególnie na odgazowanie i odwodowanie. Poza tym wanad zwiększa wytrzymałość stali na rozciąganie, jej twardość, granicę sprężystości, udurowienie i wytrzymałość na zmęczenie [2]. Dlatego też wanad wprowadza się do stali narzędziowych i niektórych konstrukcyjnych, a zwłaszcza sprężynowych. W stalach konstrukcyjnych dodatek wanadu nie przekracza 0,2%, w stalach narzędziowych niskostopowych 0,65%, a w stalach szybko tnących dodatek wanadu dochodzi nawet do 2,5%.

Wanad używany jest także jako dodatek stopowy do żeliwa, gdyż zwiększa jego drobnoziarnistość i utrudnia grafityzację.

Różne związki wanadu używane są w przemyśle chemicznym jako katalizatory. Przy produkcji kwasu siarkowego i organicznej syntezie, katalizatory związków wanadu wypierają obecnie znacznie droższe katalizatory platynowe [2].

Poza tym związki i stopy wanadu używane są w przemyśle medycznym, tekstylnym, ceramicznym i filmowym.

HAFN

Otrzymywanie hafnu

Jak już poprzednio było wspomniane, hafn towarzyszy zawsze cyrkonowi i dlatego też produkcja czystego hafnu jest zawsze produkcją uboczną w zakładach metalurgicznych cyrkonu. Oddzielenie hafnu i cyrkonu jest trudne, gdyż oba te metale mają bardzo zbliżone własności chemiczne. Metoda produkcji czystego hafnu polega na otrzymaniu z rud zawierających hafn, związku jodu z hafnem, który dysocjuje w temperaturach wysokich, dając hafn, zanieczyszczony głównie cyrkonem [14] (1% Zr). Otrzymany w ten sposób hafn topi się w piecach łukowych w atmosferze argonu i odlewa do kokili. Walcowanie wlewów hafnowych przeprowadza się na gorąco w temperaturze powyżej 850°C [4].

Własności hafnu

Własności hafnu podane są w tabeli 1 i 2 [2], [4], [14]. Jak widać z tabeli 1, gęstość hafnu jest przeszło dwukrotnie wyższa niż gęstość cyr-

47

konu, a temperatura topnienia hafnu jest wyższa o około 370°C niż temperatura topnienia cyrkonu.

Z innych własności należy podkreślić, iż moduł sprężystości hafnu jest prawie o 50% większy niż moduł sprężystości cyrkonu.

O własnościach chemicznych hafnu wiadome jest, iż hafn podobnie jak cyrkon ma bardzo duże powinowactwo do gazów, a zwłaszcza do tlenu i azotu. Już w temperaturach otoczenia hafn przy zetknięciu z powietrzem pokrywa się cienką warstewką tlenków, jednak penetracja tlenu w głąb metalu jest wolniejsza niż w wypadku cyrkonu. Tlenki hafnu są bardzo trwale i nie ulegają redukcji przez wygrzewanie w wodorze [14].

Zanieczyszczenie tlenkowe hafnu, a także azotki hafnu obniżają znacznie jego własności plastyczne i już w niewielkich ilościach czynią go niezdatnym do przeróbki plastycznej.

Hafn jest metalem odpornym na korozję. W temperaturach otoczenia na hafn nie działa kwas siłowy, siarkowy, azotowy, a także większość alkali [4]. Hafn rozpuszcza się natomiast w kwasie fluorowodorowym i w mieszaninach kwasu azotowego i solnego oraz kwasu azotowego i siarkowego [2].

Przeróbka plastyczna hafnu

Hafn ma stosunkowo dobre własności plastyczne i można przerabiać go plastycznie na gorąco i na zimno [4]. Przeróbka plastyczna na gorąco odbywa się w temperaturach powyżej 850°C na powietrzu. W ten sposób hafn możemy walcować, kuć i prasować.

Najtrudniejszą przeróbką plastyczną hafnu jest jego tłoczenie, które przeprowadza się w temperaturze 850°C na powietrzu [4].

Ciągnięcie, a także niekiedy walcowanie można przeprowadzać na zimno, jednak zgniot nie powinien przekraczać 30% [4].

Obróbka cieplna hafnu

Hafn występuje w dwóch odmianach alotropowych. Do temperatury 1600°C hafn występuje jako odmiana α o siatce przestrzennej heksagonalnej. W temperaturze powyżej 1600°C istnieje odmiana alotropowa β krystalizująca w układzie regularnym o siatce przestrzennej centrycznej [14]. Ta przemiana alotropowa hafnu może stać się podstawą obróbki cieplnej obecnie jeszcze nie stosowanych stopów hafnu.

Obecnie obróbka cieplna hafnu sprowadza się do wyżarzania rekrystalizującego, które w zależności od zgniotu przeprowadza się w temperaturze 700–800°C, w atmosferze argonu lub w próżni.

Zastosowanie hafnu

Zastosowanie hafnu we współczesnej technice jest jeszcze bardzo małe, przede wszystkim dlatego, iż metal niedawno jeszcze został odkryty (1923 r.), a także dlatego, że otrzymanie czystego hafnu sprawia jeszcze dużo trudności.

Ze względu jednak na jego bardzo dobre własności antykorozyjne, wysoką temperaturę topnienia, dobre własności mechaniczne i plastyczne,

a także bardzo dużą emisję elektronów, należy przypuszczać, iż zastosowanie hafnu wzrośnie gwałtownie i to przede wszystkim w przemyśle chemicznym, radiotechnicznym i technice wysokiej próżni.

Obecnie hafn jest głównie stosowany jako dodatek w postaci dwutlenku (HfO_2) w ilości od 0,1–3% do wolframu, molibdenu i tantalu przerabianego plastycznie na zimno [4].

Dodatki te opóźniają rekrytalizację tych metali, zwiększając czasokres pracy niektórych gotowych wyrobów, np. włókien wolframowych w lampach żarowych.

LITERATURA

1. K. Wesolowski, B. Ciszewski — Metalurgia proszków. P.W.N. 1954.
2. M. A. Fililand, E. I. Semenov — Swojstwa redkich elementow Metalurgizdat 1953.
3. J. L. Everhart — Materials and Methods, 77 (1951), 80.
4. F. B. Litton, B. W. Genser — Metal Progress. 55 (1949), 346.
5. G. I. Bradford, J. P. Catlin, E. L. Wemple — Metal Progress. 55 (1949), 348.
6. W. L. Williams, W. G. Stewart — Metal Progress. 55 (1949), 351.
7. N. E. Promisel — Metal Progress. 55 (1949), 354.
8. R. Kieffer, H. Hotop — Metalurgia proszków i materialy spiekane — Katowice 1951.
9. A. Van Arkel — Reine Metalle — Berlin 1939.
10. E. Hyac, E. Dilling, A. Robertson — Transactions of American Society for Metals — 42, 49, 1950.
11. O. A. Songina — Redkije metally — Metalurgizdat. 1951.
12. Sprawozdanie Maszynostrojenia t. 3. Masziz 1947.
13. Gmelins Handbuch der anorganische Chemie. N. 41 Titan — Berlin — 1951.
14. Gmelins Handbuch der anorganische Chemie. N. 43 Hf — Berlin. 1941.
15. Gmelins Handbuch der anorganische Chemie — Niols — Berlin. 1947.

Tabela 1

Własności fizyczne [1] [2] [4] [11] [13] [14] [15]

Metal	d Gęstość w temp. 20°C w g/cm ³	t_f Temperatura topnienia w °C	α Przewodność ciepła w temp. przez 20°C w cal/cm sek. °C	β Współczynnik Instytut roz- szerzalności ciepłej na 1°C w zakresie 0–100°C	C_p Ciepła wielofazowa w temp. 10°C w cal/g °C	ρ Odpór elektr. mikrom. cm	E Moduł sprężystości w kg/cm ²
Ti	4,5	1730	0,033	$7 \cdot 14 \cdot 10^{-6}$	0,142	60	$1 \cdot 18 \cdot 10^6$
Zr	6,4	1860	0,047	$6 \cdot 3 \cdot 10^{-6}$	0,066	41	$0,8 \cdot 10^6$
Mo	10,2	2620	0,350	$5 \cdot 49 \cdot 10^{-6}$	0,0647	4,77	$3 \cdot 10^6$
W	19,3	3370	0,476	$4 \cdot 0 \cdot 10^{-6}$	0,034	5,48	$3 \cdot 5 \cdot 10^6$
Ta	16,6	2996	0,130	$6 \cdot 5 \cdot 10^{-6}$	0,034	12,4	$1 \cdot 9 \cdot 10^6$
Nb	8,6	2415	—	$6 \cdot 6 \cdot 10^{-6}$	0,065	13	—
V	6,0	1720	—	$7 \cdot 0 \cdot 10^{-6}$	0,1153	26	$1 \cdot 4 \cdot 10^6$
Hf	13,0	2227	—	$6 \cdot 4 \cdot 10^{-6}$	0,035	30	$1 \cdot 4 \cdot 10^6$

* — Biuletyn WAT nr 1

Tabela 2
Własności mechaniczne [1] [2] [4] [11] [13] [14] [15]

1	2	3	4	5	6	7
Metale	Postać	Stan	R _r kg/mm ²	Q _r kg/mm ²	σ _{0,2} %	Twardość Rock- wella
Tytan						
Tytan o zawartości 0,05% C	Blacha	wyżarzona przerobiona plastycznie na zimno	49 70	39 60	20-30 12	R _A 60
Tytan o zawartości 0,0% C	Blacha	wyżarzona przerobiona plastycznie na zimno	63	56	20	R _A 58-62
	Kępy		84 63	74 60	12 15	R _A 61-65 R _A 58-62
Tytan zospolitej jakości	Rura	wyżarzona w próżni zgniot 15% zgniot 55%	55 67 88	38 59 72	31 9 5	— — —
Tytan otrzymany przez dysocjację związków tytanu z jodem	Taśma	wyżarzona w próżni zgniot 95%	22 75	12 63	55 2,5	— —
Cyrkon						
Cyrkon otrzymany przez dysocjację związków cyrkonu z jodem, zawierający 3% Hf	Blacha 0,6 mm Drut 3 mm	wyżarzona w 735°C zgniot 90% wyżarzony w 735°C zgniot 65%	20 57 28 60	7,5 41 10,5 49	26 1,5 33 17	— — R _B 42 R _B 87
Cyrkon otrzymany drogą redukcji tetrochloru cyrkonu-magnezem (topiony indukcyjnie w tyglu grafitowym)	Blacha 1,2 mm	wyżarzona w 735°C zgniot 60%	41 63	27 59	27 10	R _B 81 R _B 98
Cyrkon o zawartości 0,1% Hf topiony w piecu łukowym	Blacha	wyżarzona w 735°C	25	11	26	R _B 39
Molibden						
Molibden otrzymany drogą procesów metalurgii proszków	Blacha 1 mm 0,25 mm	wyżarzona przerobiona plastycznie na zimno	60 84 81	— — —	4 1 7	R _C 95 R _B 22 R _B 95
	Pręty 0,4 mm 0,3 mm Drut 0,6 mm 0,12 mm	wyżarzona przerobiona plastycznie na zimno	122	—	1	R _C 27
	Pręty 0,4 mm 0,3 mm Drut 0,6 mm 0,12 mm	wyżarzony przerobiony plastycznie na zimno	53 84 70	— — —	5 5 15	R _B 90 R _B 100
	Pręty 0,4 mm 0,12 mm	wyżarzony przerobiony plastycznie na zimno	91 130	— —	5 1	— —
Molibden topiony w łuku elektrycznym	Pręty 12,4 mm	wyżarzony w 1100°C walcowane	62 71	— —	42 32	— —

1	2	3	4	5	6	7
Wolfram	Blacha 1 mm 0,25 mm Pręty 0,4 mm 0,3 mm Drut 0,6 mm 0,12 mm	przerabiana plastycznie na zimno	84 210	— —	0-2 0-2	R _C 45 R _C 67
			49 105	— —	0-2 0-2	R _C 37 R _C 40
			158 210	— —	0-2 0-2	R _C 44
Tantal	Blacha 0,25 mm	wyżarzona przerabiana plastycznie na zimno	35	—	40	R _C 60
	Drut 0,05 mm	wyżarzony przerobiony plastycznie na zimno	77 70	— —	1 11	R _C 95
			126	—	1,5	—
Niob	Blacha Drut	wyżarzona przerobiony plastycznie na zimno	35-40 65-75	— —	— —	— —
Wanad						
Wanad topiony w łuku elektrycznym	Taśma 1,5 mm Pręt 9 mm	wyżarzona w 900°C walcowana na zimno zgniot 75% walcowany na gorąco	50 79	45 76	28 5	R _B 81 R _B 93
			59	50	20	—
Hafn		w stanie surowym				R _B 78

Kpt. mgr inż. ST. KOCARDA
Mjr doc. dr J. GIERULA

**ZASTOSOWANIE LICZNIKÓW GEIGERA-MÜLLERA
DO POMIARÓW GRUBOŚCI ELEMENTÓW KONSTRUKCYJNYCH**

Niniejszą pracę wykonano w roku 1953. Jej rezultaty nie zostały wówczas opublikowane, gdyż uważaliśmy je za zbyt skromne i niezupełne. Ponieważ jednak w bieżącej, światowej literaturze technicznej ukazują się publikacje, zawierające materiał doświadczalny, który nie wykracza poza ramy wykonanych przez nas pomiarów*, uważamy za stosowne podzielić się z naszymi uwagami na ten temat. Skłania nas do tego jeszcze fakt, że do niektórych wyników i wykresów roboczych zawartych w różnych pracach można ustosunkować się krytycznie (pomiaru w zakresie niskiej czułości metody; mała ilość danych statystycznych).

Problem polegał na zbadaniu możliwości wykorzystania promieniowania γ preparatu radowego do techniki kontrolnej, jak np. do pomiarów grubości elementów konstrukcyjnych i do defektoskopii. Podobne pomiary znajdują szczególne zastosowanie przy określaniu grubości blach lub różnych ścianek w miejscach niedostępnych dla pomiaru zwykle używanymi środkami, jak również wykrywa się nimi utajone wady przeważnie w dużych przedmiotach.

Analiza procesów fizycznych związanych z przejściem promieniowania gamma przez substancję wykazuje, iż istnieją dwie zasadnicze możliwości pomiarów grubości na tej drodze. Pierwsza wiąże się z osłabieniem promieniowania gamma, druga z jego rozpraszaniem.

Dla cienkich warstw rzeczywisty współczynnik osłabienia może być z dobrym przybliżeniem zastąpiony współczynnikiem absorpcji μ . Wiadomo, iż prawo absorpcji brzmi:

$$J_d = J_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

gdzie: J_0 — natężenie promieniowania padającego;

J_d — natężenie promieniowania po przejściu warstwy materiału o grubości d w cm;

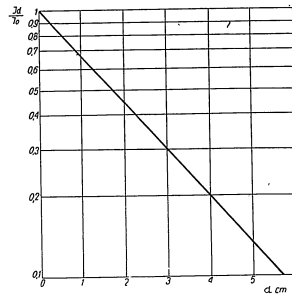
μ — współczynnik absorpcji promieniowania, zależny od rodzaju materiału i od energii kwantów promieniowania.

Prawo to może być zilustrowane wykresami podanymi na rys. 1 i 2.

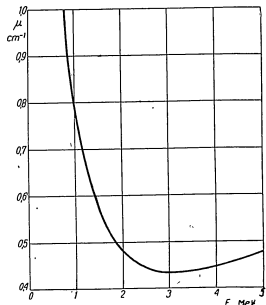
Łatwo stąd zauważyć, że stosunek natężenia przepuszczanego i padającego jest prostą funkcją grubości warstwy. Na tej zasadzie będą oparte metody pomiaru grubości pierwszego typu (rys. 3).

Rozpraszanie promieniowania gamma następuje w procesie Comptona. Kwanti promieniowania gamma przy oddziaływaniu z elektronem prze-

* Na przykład: Dżeczenko P. E. Tolkaczewa N. N. Opriedelenije tolszczyzny stenok z pomocnizju radioaktywnych izotopow, Wiestnik Maszynostrojenija, Nr 9, wrzesień 1955.



Rys. 1. Prawo absorpcji promieniowania γ o energii 1 MeV w ołowiu



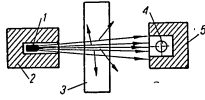
Rys. 2. Zależność współczynnika absorpcji μ w ołowiu od energii kwantu promieniowania E

kasuje mu część swej energii i porusza się dalej w zmienionym kierunku jako kwant o mniejszej energii (kwant rozproszony). Zależność energii kwantu rozproszonego od kierunku rozproszenia jest następująca:

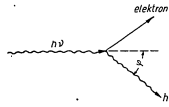
$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + 0,0242(1 - \cos \varphi)} \quad (2)$$

gdzie:

- $h\nu$ — energia kwantu padającego;
- $h\nu'$ — energia kwantu rozproszonego;
- φ — kąt rozproszenia.



Rys. 3. Schemat pomiaru grubości metodą osłabienia promieniowania gamma
1 — źródło promieniowania, 2 — obudowa z ołowiu, 3 — kontrolowany element, 4 — licznik G-M, 5 — osłona z ołowiu,



Rys. 4. Schemat rozproszenia Comptonowskiego

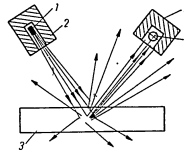
Szansa na rozproszenie rośnie wraz z grubością rozpraszającego materiału. Należy jednak liczyć się z tym, iż rozproszony kwant porusza się wewnątrz substancji rozpraszającej i może być w niej zaabsorbowany na ogół z tym większym prawdopodobieństwem, im większy jest kąt rozproszenia. Wynika to stąd, że energia kwantów rozproszonych maleje ze wzrostem kąta rozproszenia (wzór 2). Stosunki są tu dość skomplikowane — zachodzi więc konieczność badań doświadczalnych. Jeżeli wyobraźmy sobie zasadniczy schemat doświadczenia tak jak na rys. 5, to łatwo można się zorientować, że należałoby znaleźć optymalne warunki dla kątów wiązki padającej i rozproszonej oraz przebadać nateżenie promieniowania rozproszonego w funkcji grubości próbki w tych optymalnych warunkach.

Dlatego też etapy pracy ujęto następująco:

- doświadczenia z istniejącą w Wojskowej Akademii Technicznej aparaturą i środkami badawczymi nad najlepszym ich umiejscowieniem

względem elementu mierzzonego i badanego oraz wybraniu optymalnego położenia do dokonywania pomiarów, a w szczególności:

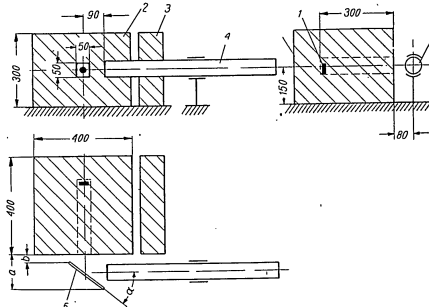
- a) odległości mierzzonego elementu od źródła promieniowania;
 - b) kąta nachylenia elementu do osi licznika.
2. przeprowadzenie pomiarów grubości blach.



Rys. 5. Schemat pomiaru grubości metodą rozproszenia promieniowania gamma
Oznaczenie jak na rys. 3

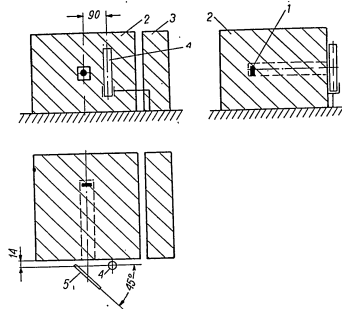
Przeprowadzenie doświadczeń

Do pomiarów jako źródła promieniowania użyto 100 mg radu, umieszczonego w obudowie z bloków ołowianych, jak to ilustrują schematy urządzeń pomiarowych na rys. 6 i 7.



Rys. 6. Schemat urządzenia pomiarowego do wstępnego określenia najlepszych warunków doświadczenia. Licznik G-M o średnicy $d = 55$ mm i długości $l = 700$ mm

Przed przystąpieniem do właściwych pomiarów zbadano tło promieniowania rozproszonego w nieobecności próbek (bieg własny licznika G-M w obecności preparatu w obudowie i nieobecności rozpraszającej próbki). Stałe tło jest zaznaczone na wykresach.



Rys. 7. Schemat urządzenia pomiarowego do określania grubości próbek z blachy. Licznik G-M o średnicy $d = 25$ mm i długości $l = 60$ mm. Wymiary i oznaczenia jak na rys. 6.

Zbadanie wpływu odległości i kąta nachylenia próbek odnośnie osi licznika dostarczyło wyników, które ujęto w formie wykresów na rys. 8—10. Pomiarów grubości dokonano na próbkach z blachy stalowej o zawartości węgla od 0,05—0,2% o wymiarach 100×100 mm w przedziale grubości od 0,2—12 mm. Celem zbliżenia warunków pomiaru do warunków bliższych praktyce, doświadczenia przeprowadzono przy pomocy znacznie mniejszego licznika przy stałej odległości i stałym kącie nachylenia próbki do osi licznika (rys. 7). Odległość i kąt nachylenia próbki odpowiedziały sprawdzonym, optymalnym warunkom doświadczenia. Uzyskane rezultaty pomiarów przedstawia wykres rys. 11. Naniesione punkty na wykresie reprezentują średnie wartości z 54 pomiarów.

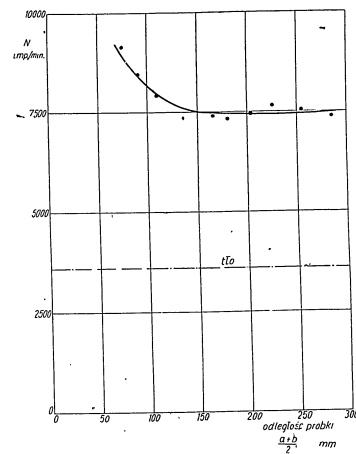
Wnioski

1. Stwierdzono doświadczalnie, iż zmiana odległości między badanym elementem a licznikiem i źródłem promieniowania w zakresie od 100—300 mm nie wpływa istotnie na wskazania licznika (rys. 8). Natomiast kąt nachylenia próbki już odgrywa rolę zasadniczą na wyniki pomiarów, ale tylko do kąta $\alpha = 30^\circ$, zakres od 30° do 60° nie wykazuje poważniejszych

56

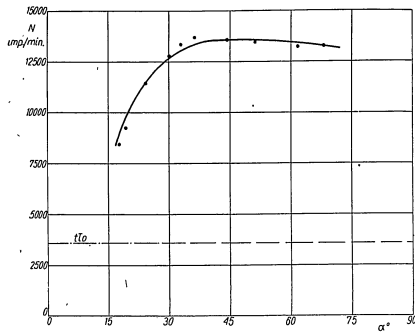
zmian we wskazaniach aparatury dla danych warunków pomiarów (rys. 9 i 10).

2. Doświadczenia dobitnie wykazały, iż istnieją dostateczne przesłanki do dość dokładnego określenia grubości elementów w miejscach niedostępnych dla zwykłych pomiarów, używając do tego celu liczników Geigera-Müllera. Wykres na rys. 11 wskazuje na łatwo odczytelną zależność między grubością a ilością impulsów rejestrowanych przez licznik w przedziale grubości blachy od 0,2—12 mm. A zatem została jednoznacznie określona funkcja wielkości rozproszenia promieniowania od grubości

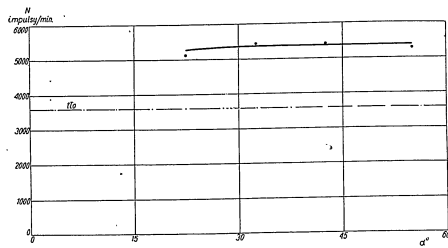


Rys. 8. Wykres ilości impulsów na min. N w zależności od odległości próbki od skraju obudowy źródła promieniowania, wykonany na podstawie doświadczeń przy pomocy urządzenia na rys. 6. Wyniki obowiązują dla licznika G-M o $d = 55$ mm i $l = 700$ mm oraz dla numeratora (przysządu rejestrującego) w skali 32. Próбка z blachy stalowej o wymiarach $200 \times 70 \times 5$. Oznaczenia odległości próbki $\frac{a+b}{2}$ widoczne na rys. 6. Kąt nachylenia próbki do osi licznika $\alpha = 10^\circ$.

57



Rys. 9. Wpływ kąta nachylenia próbki α odnośnie osi licznika na wskazania aparatury rejestrującej dla warunków pomiaru, jak podane przy rys. 8.



Rys. 10. Wykres funkcji $N=f(\alpha)$ ważny dla warunków pomiaru podanych przy rys. 8, lecz odnoszący się do próbki o wymiarach $100 \times 100 \times 1,1$ mm.

rozpraszającego materiału; funkcja ta wskazuje na szerokie możliwości praktycznego zastosowania.

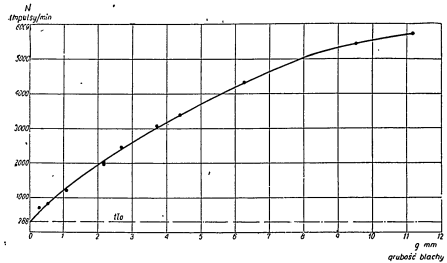
3. Dokładność pomiaru jest ograniczona:

- a) błędami natury statystycznej, które wynikają z fluktuacji liczenia. Procentowa wartość błędu wynosi $\frac{100}{\sqrt{N}}$, gdzie N jest całkowitą ilością impulsów.
- Błędy tego typu można zmniejszyć przez podwyższenie czasu trwania pomiaru;
- b) błędami systematycznymi na skutek niestalości liczenia spowodowanym wahaniami napięcia oraz niepowtarzalności ustawienia próbki, licznika i źródła promieniowania. Błędy te są zawsze większe od błędów pierwszej grupy (a).

Wyczerpujących badań nad skrupulatnym określeniem dokładności pomiaru nie przeprowadzono, natomiast je przeanalizowano zakładając, iż suma błędów w liczeniu dochodzi do 2,5%. W tak nieco uproszczonym przypadku uzyskujemy na podstawie wykresu rys. 11, iż dokładność pomiarów wynosi odpowiednio:

- do grubości 1 mm — ∞ 0,06 mm
- " 4 " — ∞ 0,19 "
- " 8 " — ∞ 0,43 "
- " 12 " — ∞ 0,70 "

4. Przy pomiarze cienkich ścianek dość poważną przeszkodę stanowi tło. Podwyższenie czasu badania usuwa częściowo tę niedogodność, polepszając tym samym warunki pomiaru.



Rys. 11. Zależność ilości impulsów na minutę N od grubości stalowej g . Wykres sporządzony na podstawie wyników z aparaturą pokazaną na rys. 7 dla optymalnych warunków kontroli. Wymiary licznika: średnica $d=25$ mm, długość $l=60$ mm. Skala numeratora 8,16 i 32.

Należy podkreślić, iż w pomiarach grubości, a także w defektoskopii przy pomocy liczników Geigera-Müllera istnieją znacznie doskonalsze warunki dla zastosowania omówionej metody w codziennym życiu technicznym, wyrażające się przez:

1. tanie źródło promieniowania np. ^{60}Co ;
2. wydatnie mniejsze wymiary urządzenia, pozwalające na łatwy transport i bardziej podręczne użycie;
3. poza tym wydaje się, że istnieje energia kwantów promieniowania gamma, dająca optymalne warunki przy użyciu metody rozproszenia. W przytoczonych doświadczeniach nie mieliśmy jednak możliwości stosowania innych preparatów, poza radem.

Kand. nauk techn. L. GRONOMSKI

TEMPERATURA SPALIN JAKO JEDEN ZE WSKAŹNIKÓW PRACY SILNIKA SPALINOWEGO

Badając silnik spalinowy analizujemy szereg wskaźników jego pracy. Chodzi o to, abyśmy otrzymali jak najbardziej wszechstronny obraz danego zjawiska, abyśmy wykryli poszczególne jego elementy dla wzbogacenia teorii i praktycznego stosowania. Chodzi zarazem i o to, aby stosowane wskaźniki były możliwie proste i łatwe z punktu widzenia prac doświadczalnych i obliczeniowych.

Jednym z szeroko stosowanych wskaźników pracy silnika spalinowego to temperatura spalin. Temperaturę tę mierzy się za pomocą termopary umieszczonej na wydechu przy wylocie spalin z silnika. Uważa się powszechnie, że im temperatura spalin na wydechu jest niższa, tym straty są mniejsze, tj. praca silnika jest korzystniejsza.

W niektórych silnikach stosuje się nawet regulację obciążenia poszczególnych cylindrów przy pomocy temperatury spalin na wylocie z każdego cylindra. Śluszność stosowania tej regulacji i jej uzasadnienie nie były jednak opracowane.

Sprawa możliwości oceny jakości procesu pracy silnika na podstawie temperatury spalin za cylindrem zasługuje na wnikliwe badania. W przypadku pozytywnych rezultatów uzyskalibyśmy przecież dogodny sposób np. kontroli pracy silnika w eksploatacji, sposób, który mógłby być bardzo cenny.

W tym właśnie kierunku poszedł w swoich badaniach A. G. Tyriczow. Badania te przeprowadził on w Charkowskim Politechnicznym Instytucie im. W. I. Lenina. W 1954 r. Tyriczow opublikował [1] uzyskane rezultaty badań, w których podaje między innymi, że poprawa procesu spalania wywołuje zmniejszenie temperatury spalin na wydechu, zaś pogorszenie procesu spalania pociąga za sobą wzrost tej temperatury. Tyriczow dochodzi do wniosku, że na podstawie temperatury spalin na wydechu można ocenić jakość pracy silnika i stosować jej kontrolę w eksploatacji. Tyriczow zaleca zarazem, aby w fabrycznych danych technicznych dotyczących produkowanych silników były podawane krzywe zmian temperatury na wydechu w powiązaniu z charakterystykami pracy silnika. W czasie eksploatacji, co pewien okres czasu, byłaby kontrolowana temperatura na wydechu dla porównania z danymi fabrycznymi i w ten sposób można by stwierdzić czy praca silnika jest właściwa.

Przedstawione wyniki badań Tyriczowa pokrywają się, jak już zaznaczyliśmy, ze spotykanym poglądem niektórych badaczy, którzy podają, że im niższa jest temperatura spalin na wydechu, tym większa jest sprawność silnika. Pogląd ten jednak, jak i wnioski Tyriczowa powinny wzbudzić poważne zastrzeżenia.

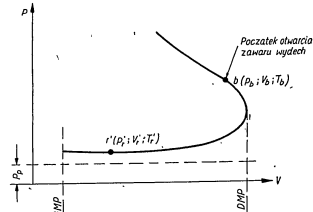
Zatrzymajmy się nad zależnością temperatury spalin na wydechu (T_d) od temperatury spalin w cylindrze pod koniec rozprężenia (T_1), tj. w momencie, w którym zawór wydechowy zaczyna się otwierać.

Czy zawsze zmniejszenie T_b pociąga za sobą spadek T_p , czy też może być i na odwrót, tj. T_p rośnie, chociaż T_b maleje.

Jak wiadomo, wydech (w silniku 4-suwowym) składa się z trzech części. Pierwszą część, tj. główną, odbywa się z szybkością nadkrytyczną przy znacznej różnicy pomiędzy ciśnieniem panującym w cylindrze, a ciśnieniem zewnątrz cylindra. Drugą część wydechu to wypychanie spalin z cylindra przez tłok przesuwający się w kierunku GMP.

Trzecią część wydechu ma miejsce na początku suwu ssania i może ona trwać do zamknięcia zaworu wydechowego. Pierwszej części wydechu towarzyszy stosunkowo nieznaczna strata ciepła spalin na drodze do temperatury, którą mierzymy ich temperaturę. W czasie drugiej części wydechu przepływ ciepła od spalin do ścianek cylindra jest dość duży. Temperatura na wydechu (zewnątrz cylindra mierzona termoparą) T_b może więc zwiększać się lub zmniejszać w zależności od stosunku ilości spalin wydostających się z cylindra w czasie pierwszej części wydechu, do ilości spalin wypychanych przez tłok w czasie drugiej części wydechu. Stosunek ten może zmieniać się w szerokim zakresie w czasie pracy silnika. Zależy on od tych wszystkich czynników, które wpływają na ciśnienie w cylindrze w momencie początku otwarcia zaworu wydechowego p_b . Do czynników tych należą wielkości obciążenia, maksymalnego ciśnienia obiegu i kąta obrotu wału korbowego odpowiadającego maksymalnemu ciśnieniu, przedostawanie się gazów z cylindra do przestrzeni podłokowej itd.

W dowolnym momencie suwu wydechu r' (schemat) znajduje się w cylindrze ilość spalin G' , o temperaturze T' , i ciśnieniu p' , zajmująca objętość V' .



Rys. 1a

Można przyjąć, że ta ilość spalin G' , w momencie początku otwarcia zaworu wydechowego, tj. w punkcie b (schemat), zajmowała objętość V_b oraz, że jej ciśnienie było wtedy równe ciśnieniu cząstkowemu (parcialnemu) p_b przy temperaturze T_b .

Wymieniona ilość spalin G' ulega najpierw pewnemu rozprężeniu od stanu w punkcie b do DMP, a następnie w czasie suwu wydechu odbywa się jej sprężanie. Przemianę tę można uważać za politropową o zmienia-

jącym się wykładniku ($n = \text{var}$), którego średnią wartość oznaczamy n .

Na temperaturę spalin w dowolnym momencie suwu wydechu T' , wpływa oczywiście oprócz wielkości T_b (temperatury spalin w cylindrze w momencie początku otwarcia zaworu wydechowego) i wymiany ciepła, również stosunek $\frac{p'}{p_b}$. Przyjmując, że spaliny nie oddają ciepła ściankom, otrzymalibyśmy:

$$T' = T_b \left(\frac{p'}{p_b} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1)$$

gdzie:

k — wykładnik adiabaty.

Z zależności tej dostajemy dla dwóch różnych warunków pracy silnika:

$$\frac{T'_1}{T'_2} = \frac{T_b}{T_b} \cdot \left(\frac{p'_1}{p_b} \right)^{\frac{k-1}{k}} \cdot \left(\frac{p'_2}{p_b} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (2)$$

W przypadku $T_b = T_b$, oraz $p'_1 = p'_2$, otrzymalibyśmy np. wzrost $\frac{T'_1}{T'_2}$ w miarę zmniejszania $\frac{p_b}{p_b}$ i zarazem wzrost $\frac{T_b}{T_b}$ (przy stałym ciśnieniu p_b).

Zmniejszenie p_b przy stałym T_b i p' jest oczywiście możliwe w rzeczywistej pracy silnika. We wzorach (1) i (2) należałoby wtedy zamiast wykładnika adiabaty k stosować odpowiedni średni wykładnik politropy n .

W przypadku $T_b = T_b$, oraz $p_b = p_b$, otrzymalibyśmy zgodnie z zależnością (2), wzrost T' i zarazem T_b (przy stałym p_b) w miarę wzrostu p' . Jest to oczywiście również możliwe w rzeczywistej pracy silnika.

O wielkości przepływu ciepła od spalin do ścianek cylindra w czasie wydechu można sądzić na podstawie następującego wzoru, który otrzymał N. R. Briling [2]:

$$q_g = 0,99 \sqrt{p'} \cdot T \cdot (a + 0,185 c_m) \frac{\text{k cal}}{\text{m}^3 \cdot \text{godz} \cdot 1^\circ\text{K}} \quad (3)$$

We wzorze tym:

- q_g — współczynnik przepływu ciepła od gazów do ścianek,
- p, T — ciśnienie i temperatura abs. gazów,
- a — pewna stała wartość (Briling przyjmuje dla silników gaźnikowych $a = 1$),
- c_m — szybkość tłoka (m/sek).

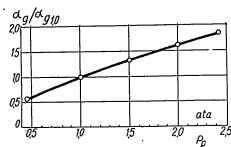
Przy stałej wartości c_m otrzymujemy dla dwóch różnych warunków pracy danego silnika zależność:

$$\frac{q_{g1}}{q_{g2}} = \sqrt{\frac{p'_1}{p'_2}} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad (4)$$

Z zależności tej widzimy, że ciśnienie gazów wpływa znacznie na wielkość q_g .

Autor niniejszego artykułu w swoich badaniach nad wpływem resztek spalin na pracę silnika gaźnikowego [5] otrzymał w przybliżeniu wzrost α_g o 0,6 do 0,7% przypadający na zwiększenie ciśnienia na wydechu p_p o 1%.

Ciśnienie p_p było przy tym zmieniane w szerokim zakresie, a mianowicie od 0,45 ata do 2,4 ata (rys. 1b).



Rys. 1b. Wpływ ciśnienia na wydechu (p_p) na względną zmianę współczynnika przepływu ciepła od spalin do ścianek cylindra (α_g/α_{g10}) w czasie suwu wydechu. Dane przybliżone badań przeprowadzonych przez autora w MWU im. Baumana

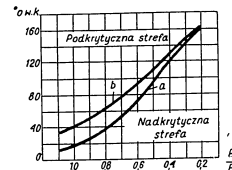
Gdy szybkość obrotów wału korbowego rośnie, zwiększa się c_m oraz ciśnienie spalin w cylindrze w czasie suwu wydechu p_p . Z tego powodu zgodnie z wzorem (3) wartość α_g w czasie wydechu rośnie. Czas suwu wydechu trwa jednak wtedy krócej i dłużej gazy w czasie wydechu przekazują ściankom mniejszą ilość ciepła. α_g zmienia się bowiem wolniej niż obroty wału korbowego, jak to wynika z zależności (3) i znanego wpływu wielkości obrotów na wartości ciśnienia i temperatury spalin w cylindrze podczas suwu wydechu.

Działanie wzrostu temperatury spalin w czasie suwu wydechu T_p na przepływ ciepła od gazów do ścianek jest większe dzięki wzrostowi α_g , zgodnie z zależnością (3) i (4). Im większa jest więc wartość T_p , tym różnica $T_p - T_c$ jest większa, tj. w tym mniejszym stopniu wskazania termopary umieszczonej za zaworem wydechowym odpowiadają temperaturze spalin w cylindrze pod koniec rozprężania.

Trwanie części wydechu, która odbywa się z szybkością nadkrytyczną, może w poszczególnych przypadkach znacznie się przedłużyć i obejmować poważną część suwu wydechu. Szybkość krytyczna spalin występuje, jak wiadomo, przy stosunku ciśnienia w cylindrze p_c do ciśnienia na wydechu p_p równym $p_c/p_p \approx 1,86$. Trwanie wydechu z szybkością nadkrytyczną, mierzone w stopniach obrotu wału korbowego, zależy więc od stosunku p_c do ciśnienia na ssaniu p_s (stosowanie sprzężarek, dławienie ssania przepustnicą itp.), od szybkości obrotów wału korbowego n , od oporów przepływu gazów przez zawory i od innych czynników wpływających na stosunek p_c/p_p . Zagadnieniem tym zajmowało się wielu badaczy. Dobrynin [3] w oparciu o badania Babarina i Czerkewa [4] podaje wpływ wielkości stosunku p_c/p_p na kąt obrotu wału korbowego (po DMP), przy którym następuje przejście od szybkości nadkrytycznej spalin do szybkości podkrytycznej dla dwóch badanych silników „a” i „b” (rys. 2).

Rozważania nasze wskazują więc, że w czasie pracy silnika w różnych warunkach, zmiany temperatury za zaworem wydechowym T_p mogą być

inne niż temperatura w cylindrze w momencie początku otwarcia zaworu wydechowego T_c . W poszczególnych przypadkach zmniejszaniu się T_p może towarzyszyć wzrost T_c . Takie właśnie wyniki otrzymał autor w badaniach, które przeprowadził w Moskiewskiej Wyższej Uczelni Technicznej im. Baumana [5] i [6]. Na rys. 3 podano zmiany T_p (pokazania termopary) oraz względne zmiany T_p/T_{p10} w zależności od ciśnienia za zaworem wydechowym p_p .



Rys. 2. Wpływ wartości p_p/p_c na zasięg nadkrytycznego przepływu spalin według Dobrynina w oparciu o badania Babarina i Czerkewa (ZSBR).

W wyrażeniu T_p/T_{p10} wielkości T_p odpowiadają poszczególnym p_p , zaś T_{p10} — odpowiada ciśnieniu $p_p = 1,0$ ata.

Wartości T_p/T_{p10} otrzymano przy pomocy wykresów indykatorowych jako średnie wartości szeregu kolejnych obiegów (oscylograf petlicowy).

Badania przeprowadzono na jednocylindrowym silniku gaźnikowym typu laboratoryjnego służącym do określania liczby oktanowej paliwa metodą i — C (GOST 3337-48). Mieszanki nie podgrzewano. Silnik pracował na benzynie krekowanej o liczbie oktanowej 54. Obroty wału korbowego były stałe i wynosiły $n = 1200$ obr/min. Przykrycia faz rozrządu zaworów nie stosowano. Zawór wydechowy otwierał się przy kącie 40° przed DMP. Przepustnica na ssaniu była całkowicie otwarta. Stopień sprężania $\epsilon = 5,4$. Mieszanka paliwa była ekonomiczna ($\alpha > 1$). Kąt wyprzedzenia zapłonu θ był każdorazowo ustalany na wartość optymalną (wg mocy).

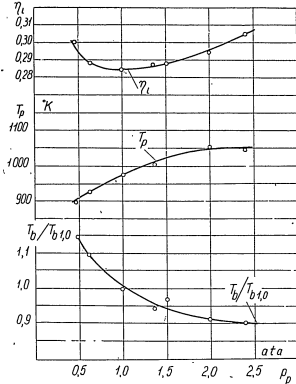
Z wykresów przedstawionych na rys. 3 widzimy, że w badanych warunkach pracy silnika, wzrostowi T_p towarzyszył poważny spadek T_c .

Przykrycie faz rozrządu wywołuje (szczególnie na małych obrotach) przepływ części świeżego ładunku do rury wydechowej. Przepływ ten obniża wskazania termopary umieszczonej na wydechu. Zjawisko to występuje w zwiększonym stopniu w silnikach dwusuwowych. Temperatura T_c odbiega wtedy jeszcze bardziej od T_p .

Temperatura na wydechu T_p może oczywiście być interesująca przy badaniu takich zagadnień jak użyczenia energii zawartej w spalinach (np. do napędu turbosprężarek). Posługujemy się temperaturą T_p przy obliczaniu ogólnego bilansu cieplnego silnika. Z punktu widzenia natomiast procesu indukowanego silnika spaliny, temperatura T_p , jako wskaźnik pracy silnika, może być zawadna. Łatwo zresztą stwierdzić w szeregu publikacji, że np. wzrostowi T_p towarzyszy często zarówno

wzrost sprawności indykowanej jak też i jej spadek. Widzimy to również na rys. 3, na którym podano dodatkowo przebieg η .*

Odnosnie temperatury spalin w cylindrze pod koniec rozprężania T_b , należy podkreślić, że temperatura ta jest faktycznie wyrazem przebiegu procesu indykowanego. Temperatura T_b może być jednak uważana jedynie za jeden ze wskaźników pracy silnika, obok szeregu innych wskaźników które łącznie mogą dać nam właściwy obraz zachodzących w silniku zjawisk.



Rys. 3. Zależności temperatury na wydechu T_b , względnej zmiany temperatury spalin w cylindrze na początku otwarcia zaworu wydechowego T_b/T_{b0} i sprawności indykowanej η od ciśnienia na wydechu p_b . Badania autora w Moskiewskiej Wyższej Technicznej Uczelni im. Baumana. (Silnik gaźnikowy 1-C)

Przebieg pracy silnika spalinowego może być taki, że np. zmniejszonej temperaturze T_b towarzyszy większa ilość ciepła przechodząca od spalin do czynnika chłodzącego, niepełne spalanie itd.

Pomimo więc zmniejszenia T_b może nastąpić spadek η , chociaż przeważnie bywa na odwrót.

* W przyjętej metodycie badań strat indykatorowe suwu wydechu i siania włączano do strat mechanicznych. Metodycie taką stosuje obecnie wielu badaczy radzieckich.

Jeżeli będziemy zmniejszać kąt wyprzedzenia zapłonu θ od maksymalnej jego wartości do minimalnej stwierdzimy najpierw wzrost T_b i równoczesny wzrost η , a następnie po przekroczeniu optymalnej wielkości θ , dalszemu wzrostowi T_b towarzyszy już spadek η . Detonacja i samozapłon w silniku gaźnikowym wywołują, jak wiadomo, spadek η i równoczesny spadek temperatury spalin. Zubożenie mieszanki zwiększając T_b może równocześnie zwiększyć η . Również z wykresów rys. 3 widzimy, że w pewnym zakresie ciśnień na wydechu zmniejszeniu p_b odpowiada zwiększenie T_b i zarazem wzrost η .

Obecny stan techniki pomiarów szybko zmieniających się temperatur nie pozwala jeszcze praktycznie mierzyć bezpośrednio wartości T_b . Otrzymujemy je wyłącznie na podstawie indykatorowych wykresów ciśnień gazów w cylindrze drogą obliczeń przy pomocy znanych zależności termodynamicznych.

Wartości T_b są więc przybliżone. Wygodnie posługiwać się względnymi wielkościami (T_b/T_{b0}), jak to widzimy na rys. 3.

W przypadku posługiwania się wykresem indykatorowym dla analizy innych wskaźników pracy silnika, jak trwanie spalania i poszczególnych jego faz, szybkość narastania ciśnienia itd., określenie temperatury T_b nie stanowi już dużego obciążenia i jest ono tym bardziej celowe. Należy oczywiście uwzględnić nierówność kolejnych obiegów pracy silnika, która w poszczególnych przypadkach w silniku gaźnikowym może przekraczać nawet 30% [5]. Wartości T_b otrzymuje się wtedy jako średnie szeregu kolejnych obiegów i dlatego wygodnie jest posługiwać się oscylografem pętlowym. Pozwala on mianowicie łatwo fotografować dużą ilość kolejnych obiegów na przesuwaną się taśmę filmową. Tą drogą otrzymano też krzywą T_b/T_{b0} przedstawioną na rys. 3.

Krótkie ujęcie wniosków końcowych może być następujące:

1. Posługiwanie się temperaturą spalin na wydechu (T_b) dla oceny jakości pracy silnika spalinowego i dla kontroli w eksploatacji może być zasadne i dlatego nie zasługuje ono na zalecenie. Wniosek ten nie wyklucza oczywiście celowości posługiwania się temperaturą T_b dla innych celów, o których była już mowa.

2. Temperatura spalin w cylindrze pod koniec rozprężania (t_j w momencie, w którym zawór wydechowy zaczyna się otwierać) T_b może być uważana jedynie jako jeden z szeregu innych analizowanych równocześnie wskaźników procesu indykatorowego silnika spalinowego. Temperatura T_b , w odróżnieniu od temperatury T_m , jest oczywiście bezpośrednio związana z procesem indykatorowym, jednak potraktowana w oderwaniu od innych wskaźników, podobnie jak i szereg pozostałych wskaźników, nie wystarcza ona dla oceny jakości pracy silnika.

LITERATURA:

- [1] Tyrticzow A. C. — Ispol'zowanie temperatury vychlupnykh gazov pri issledovanii raboczevo processa dwigatelia — 1954 r.
- [2] Bulling N. R. — Issledowanie raboczevo processa i tieploperedacy w dwigatelach Diesel — 1931 r.
- [3] Melnikow T. M., Dobrynin A. A. i inni. — Teoria awiacionnykh porznievnykh dwigatielej — 1954 r.
- [4] Babarin W. I. i Czerkez A. J. — O wlijanii protivodawlenija na vychlepie na mozcnoost' awiacionno dwigatelia i raschod wozducha — 1947.
- [5] Gronomski L. — Wlijanije ostatocznykh gazow na raboczy process karbiuratnomo dwigatelia 1954 r.
- [6] Gronomski L. — Przebieg spalania w silniku gaźnikowym w zależności od wartości spalin w mieszance roboczej. (Biuletyn WAT, czerwiec 1955 r.).

Drukowano na pap. Ilustr. kl. V, 70 g, 70 x 100 w Wojskowej Drukarni w Łodzi.
Zam. nr 1351 z 6.12.55, Druk ukończono 20.01.56. CW-26094.





BIULETYN

WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ

Im. Jarosława Dąbrowskiego

ZAGADNIENIA
TECHNIKI SAMOCHODOWEJ

ROK IV C Z E R W I E C 6 (50)
W A R S Z A W A 1 9 5 5

**BIULETYN
WOJSKOWEJ AKADEMII
TECHNICZNEJ**
Im. Jarosława Dąbrowskiego

ZAGADNIENIA
TECHNIKI SAMOCHODOWEJ

ROK IV CZERWIEC 6 (50)
WARSZAWA 1955

SPIS TREŚCI

	Str.
Kpt. mgr inż. J. Sikorski — Niektóre metody badań drogowych samochodu i stosowane przyrządy pomiarowe	3
L. Grómski, kand. nauk techn. — Przebieg spalania w silniku gaźnikowym w zależności od zawartości spalin w mieszance roboczej	17
Kpt. mgr inż. S. Probuński — Niektóre zagadnienia dotyczące perspektyw rozwoju silników pojazdów mechanicznych	42
Kpt. mgr inż. T. Kasprzyk — Wyznaczenie reakcji drogi na koła samochodu terenowego 4x4	78
Kpt. mgr inż. M. Bernhard — Zagadnienia doładowania czterósuwowych silników gaźnikowych	93
Mjr mgr inż. J. Michalak — Podstawy teoretycznego określania zużycia paliwa przez silnik samochodowy	114
Mjr mgr inż. A. Zimniak — Badanie silników spalinowych za pomocą pręmienników piezoelektrycznych	125

Kpt. mgr inż. J. SIKORSKI

NIEKTÓRE METODY BADAŃ DROGOWYCH SAMOCHODU I STOSOWANE PRZYRZĄDY POMIAROWE

Ogólna charakterystyka badań drogowych.

Badania drogowe samochodu rozumie się jako zespół prób i pomiarów dokonywanych w czasie jazdy w ściśle określonych warunkach. Odnoszą się one w zasadzie do pojazdu jako całości i mają na celu przede wszystkim określenie własności ruchowych samochodu oraz ocenienie jego zachowania się w terenie.

Badania te stanowią jakby uogólnienie pomiarów, odnoszących się do poszczególnych zespołów i mechanizmów samochodu, wykonywanych na stanowiskach laboratoryjnych i umożliwiają krytyczną ocenę jakości wyników i słuszności obranych metod badawczych. Aby jednak ocena ta była słuszna i wyniki osiągnięte prawidłowe, warunki, w jakich dokonywane są badania drogowe, muszą być dokładnie i jednoznacznie określone.

Brak odpowiednich norm nastęcza niejednokrotnie trudności w ustaleniu pojęć, jednostek miar oraz metod i sposobów postępowania przy badaniach i pomiarach. Dzięki istnieniu takich norm warunków przeprowadzania doświadczeń, prób i pomiarów mogłyby być ściśle określone, a poza tym istniałaby możliwość porównywania wyników badań przeprowadzonych w różnych okresach czasu przez różne instytucje.

Zanim przystąpimy do omówienia pomiarów niektórych właściwości ruchowych samochodu, należałoby jeszcze nadmienić, że badania te mogą różnić się właściwościami zależnie od celu, któremu mają służyć. Można tu wymienić trzy zasadnicze grupy, a mianowicie:

1. badania laboratoryjne,
2. badania drogowe,
3. badania eksploatacyjne.

Badania laboratoryjne przeprowadza się na specjalnych stanowiskach badawczych przeznaczonych do określonych pomiarów i prób pojazdów, zespołów i mechanizmów. Badania te umożliwiają wyodrębnienie tych cech, których określenie w czasie jazdy samochodu jest trudne i mało dokładne, a czasami wręcz niemożliwe.

Na przykład:

- pomiar charakterystyki zewnętrznej silnika,
- pomiar sprawności mechanizmów napędowych,
- położenie środka ciężkości i rozkład nacisków na osie,
- pomiar siły napędowej,
- pomiar współczynnika oporu powietrza itd.

Cenna zaletą pomiarów na stanowiskach jest stosunkowo wysoka dokładność wyników, wada natomiast, że warunki, w jakich są przeprowadzone badania lub pomiary, zwykle odbiegają mniej lub więcej od warunków rzeczywistych.

Badania drogowe uzupełnione badaniami laboratoryjnymi dają wyczerpujący obraz wszystkich własności składających się na pełną charakterystykę pojazdu. Ponadto badania drogowe umożliwiają ocenę zachowania się pojazdu w założonych z góry warunkach pracy.

Badania eksploatacyjne przeprowadzane są nad znajdującym się w użytkowaniu taborze samochodowym. Wyniki takich badań stanowią definitywne i rozstrzygające kryterium jakości i przydatności samochodu. Oceniają one trwałość pojazdu i jego elementów składowych oraz pozwalają określić jego opłacalność.

Należałoby się nieco zatrzymać nad zagadnieniem, jakie właściwości pojazdu mogą być badane na drodze. W tym celu zestawimy poszczególne pozycje bilansu strat mocy pojazdu mechanicznego. Bilans ten układa się następująco:

Straty zachodzące w silniku:

1. straty gazów wydechowych,
2. straty chłodzenia,
3. straty na tarcie i promieniowanie.

Straty wewnętrzne w mechanizmach napędowych:

4. straty na podłożu sprzęgła,
5. straty w przekładniach skrzyni biegów,
6. straty w przegubach wałów napędowych,
7. straty w przekładni głównej i mechanizmie różnicowym
8. straty włożyskach półosi.

Straty na pokonanie oporów zewnętrznych:

9. straty na opór toczenia kół samochodu,
10. straty na opór powietrza.

Moc pozostała użyta jest na:

- pokonywanie wzniesień,
- przyspieszenia pojazdu.

Poza tym interesować nas będzie wiele innych własności charakteryzujących samochód jak:

- szybkość maksymalna,
- zdolność hamowania,
- oszczędność zużycia paliwa,
- stateczność,
- płynność ruchu,
- kierowność,
- zdolności terenowe i inne, które należałoby omówić oddzielnie.

Zastanówmy się, które z wymienionych pozycji w bilansie mocy mogą być mierzone w badaniach drogowych.

Pozycje 1 — 3. Dokładny pomiar mocy efektywnej silnika wykonuje się w zasadzie na specjalnych urządzeniach zwanych hamownikami. Zdąrza się czasami, że moc rozwijana przez silnik badanego samochodu nie jest nam dokładnie znana, chociażby ze względu na pogorszenie się jego stanu technicznego.

W takim przypadku wykonując próbę drogową można określić moc efektywną, a nawet sporządzić wykres mocy silnika w funkcji szybkości. Do tego celu stosuje się przyrząd wahadłowy lub przyrząd rejestrujący z kołem biegowym.

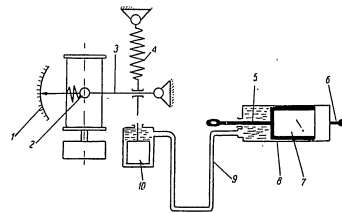
Pozycja 4 — 8. Straty zachodzące w układzie napędowym określa się na stanowiskach laboratoryjnych. Pomiar tych strat za pomocą prób drogowych nie daje zadowalających rezultatów.

Pozycje 9 — 10. Straty mocy na poszczególne pozycje w tej grupie mogą być z dostateczną dokładnością zmierzone, jeśli dysponujemy odpowiednią aparaturą pomiarową.

Pomiary strat na opór toczenia wykonuje się zwykle za pomocą dynamometru. Należy je wykonywać przy małych prędkościach jazdy, np. rzędu 15 — 20 km/godz., i na drodze poziomej, aby uniknąć wpływu oporu powietrza i wzniesienia. Przy niskich prędkościach wpływ oporu powietrza jest tak mały, że można go pominąć.

Jest bardzo wskazane ze względu na dokładność wyników, aby dynamometr był zaopatrzony w urządzenie rejestrujące.

Schemat takiego dynamometru pokazany jest na rys. 1.



Rys. 1. Schemat dynamometru hydraulicznego z urządzeniem rejestrującym: 1 — skala tarczy; 2 — rysik zapisujący; 3 — ramię ryśka; 4 — cięgło połączone z tłokiem; 5 — zaczep dynamometru; 7 — tłok; 8 — cylinder; 9 — przewód łączący cylinder główny z cylindrem urządzenia wskaźnikowego; 10 — tłok przekazujący ciśnienie na dźwignie wskaźnika

Dynamometry sprężynowe, a nawet hydrauliczne bez urządzeń tłumiących, nie nadają się do wykonania dokładnych pomiarów w czasie jazdy ze względu na wstrząsy wskutek nierówności drogi.

Pomiar oporu powietrza w czasie prób drogowych jest możliwy, jednak należy zaznaczyć, że wynik obejmować będzie, podobnie zresztą jak przy pomiarze oporu toczenia, straty w układzie napędowym.

Pokonywanie wzniesień drogi

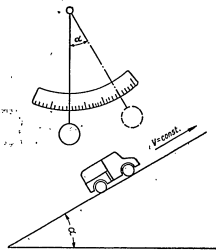
Zdolność pokonywania wzniesień, podobnie jak przyspieszanie pojazdu, ściśle odpowiada wielkości sił napędowych. Maksymalnej sile napędowej na danym biegu odpowiada maksymalna zdolność pokonywania wzniesień na tym samym biegu, przy stałej szybkości.

Ocena wartości pojazdu pod tym względem nie może być oparta na samych pomiarach zdolności pokonywania wzniesień. Mierzac wzniesień

ścienia pokonywane przez pojazd trzeba również mierzyć szybkość jazdy i siłę napędową.

Pomiar taki można wykonać posługując się przyrządem wahadlowym i szybkościomierzem. Urządzenie to umożliwi poza tym pomiar kąta pochylecia drogi. Przyrząd przymocowany do samochodu obróci się wraz z pojazdem o kąt równy wzniesieniu drogi, który odczytać można na skali bębna związanego z wahadłem zajmującym położenie pionowe. Działanie to schematycznie przedstawiono na rys. 2.

Na tarczy tego przyrządu wykonane są dwie skale, z których jedna określa pochyłość drogi w procentach, a druga siłę w kilogramach na tonę ciężaru pojazdu, potrzebną do pokonania wzniesienia. Do pomiaru pochyłości, czy to przy jeździe pod górę czy w dół, należy utrzymać pojazd na stałej szybkości ($V = \text{constans}$). Budowę tego przyrządu przedstawiono na rys. 7a i 7b.



Rys. 2.

Przy niewielkich wzniesieniach (do 7%) wyniki odczytane z przyrządu wahadlowego są niedokładne ze względu na jego małą czułość. Znaczna bezwładność części obracających się, głównie wahadła wskutek zanurzenia go w cieczy, wymaga stosunkowo długiego czasu na ustalenie się we właściwym położeniu. Podlega to za sobą konieczność doboru odpowiednio długich odcinków pomiarowych drogi, co niejednokrotnie w praktyce nastręcza wiele trudności.

Zanurzenie wahadła w cieczy wywołane jest koniecznością tłumienia jego drgań pochodzących od wstrząsów wywołanych nierównościami drogi.

Metody pomiaru przyspieszeń samochodu

Pomiar przyspieszeń lub opóźnień jest zwykle oparty na wykorzystaniu sił bezwładności, które pojawiają się w chwili zmian prędkości ruchu.

Istnieje kilka metod pomiaru przyspieszenia samochodu zależnie od rodzaju używanych przyrządów, z których najczęściej stosowane są:

- metoda przy użyciu przyrządu rejestrującego z kołem biegowym,
- metoda przy użyciu przyrządu wahadlowego,
- metoda oparta na zasadzie bezwładności cieczy.

W zagadnieniu tym staramy się przede wszystkim określić przyspieszenia, jakie może osiągnąć pojazd na poszczególnych biegach od szybkości minimalnej do szybkości maksymalnej oraz całkowity rozbieg od ruszenia z miejsca i kolejnej zmiany biegów aż do osiągnięcia maksymalnej szybkości jazdy.

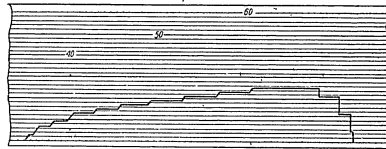
Dobre rezultaty osiąga się przy użyciu przyrządu z kołem biegowym. W wyniku pomiaru otrzymujemy wykres na taśmie wykazujący zmiany szybkości w funkcji przebytej drogi.

Mechanizm tego urządzenia składa się z dwóch części. Jedną z jego części, a mianowicie koło biegowe, służy do pomiaru przebytej przez badany pojazd drogi, druga zaś zaopatrzona w mechanizm zegarowy i urządzenie rejestrujące* do pomiaru czasu.

Sam przyrząd otrzymuje napęd za pomocą elastycznego przeniesienia od koła biegowego, które jest mocowane, przegubowo, do stopnia lub innej dogodnej części pojazdu. Urządzenie rejestrujące jest sprzężone z mechanizmem zegarowym i mechanizmem napędowym, wprawianym w ruch od koła biegowego. Na taśmie, wykonanej z nawoskowanego papieru, rysik kreśli w odpowiednio dobranej skali odcinki drogi proporcjonalne do drogi rzeczywiście przebytej przez badany pojazd w ciągu każdej sekundy.

Po upływie każdej sekundy wyłącza się pomiar drogi i równocześnie co sekundę blokowany jest pomiar czasu. Działanie to powtarza się co sekundę, z tym że rysik zostaje przesunięty na taśmie w kierunku rzędnej (skala szybkości) w takie położenie, które odpowiada średniej szybkości pojazdu w ciągu mierzonej sekundy. W wyniku tego przy ruchu zmiennym pojazdu linia wykreślona na taśmie przybiera charakter linii schodkowej.

Przy ruchu przyspieszonym kreślona linia wznosi się ku górze, przy jednostajnym biegnie równoległe do osi odciętych, a przy opóźnionym opada w dół, jak to uwidoczniło na rys. 3.



Rys. 3.

Przyrządy rejestrujące oraz przystosowane od nich taśmy są wykalibrowane fabrycznie na różny zakres szybkości odpowiednio do potrzeb.

* Dokładny opis budowy i działania tego przyrządu czytelnik znajdzie w książce „Teoria samochodu” E. A. Czudakowa.

z których najczęściej spotyka się o zakresie do 60 km/godz, 90 km/godz, i 150 km/godz.

W celu zapewnienia dokładniejszych wyników pomiaru należy zawsze używać przyrządu o takiej skali, która jest najbardziej zbliżona do szybkości badanych.

Taśmy wykonane są z papieru nawoskowanego długości 20 m; posiadają one na całej długości naniesioną podziałkę szybkości w km/godz. W czasie pracy urządzenia skala drogi znaczonej jest na taśmie przez specjalny bęben. Odległość między znaczącymi punktami wynosi 3 mm.

Podziałka skali drogi (na taśmie) jest proporcjonalna do drogi rzeczywistej przebytej przez badany pojazd; przedstawia się ona dla różnych przyrządów w sposób następujący:

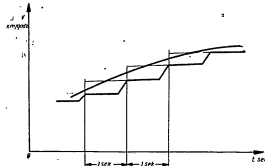
1. dla przyrządu o zakresie do 60 km/godz. — 3 mm = 3 m drogi,
2. dla przyrządu o zakresie do 90 km/godz. — 3 mm = 1,5 m drogi,
3. dla przyrządu o zakresie do 150 km/godz. — 3 mm = 1,5 m drogi.

Wartość drogi znaczonej na taśmie jest jednocześnie wielkością kontrolną dokładności wykonanych odczytów średniej szybkości pojazdu w ciągu danej sekundy.

Z wykresu naniesionego w czasie pomiaru wykonuje się krzywą szybkości rzeczywistych $V_r = f(t)$.

W celu zmniejszenia wpływu czynników ubocznych, np. wiatru i nieznacznych wzniesień drogi, wykres ten należy wykonać jako wyśredkowany z pomiarów w obu kierunkach jazdy.

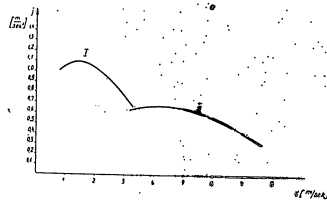
Sposób wykreślenia krzywej szybkości rzeczywistej pokazano na rys. 4.



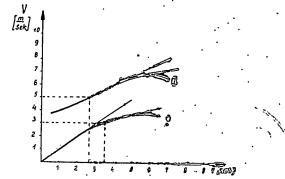
Rys. 4.

Dla dokonania wykresu przyspieszeń na krzywej szybkości wybiera się kilka punktów i przez każdy punkt przeprowadza się styczną. Im więcej będzie obranych punktów na krzywej szybkości i im bliżej siebie będą one położone, tym wykres przyspieszeń będzie dokładniejszy. Na rys. 5 pokazano wykres szybkości, na podstawie którego wykonano wykres przyspieszeń dla I i II biegu.

Tangens kąta zawartego między styczną a osią odciętych, z uwzględnieniem stosunku podziałek skali czasu i szybkości wyrażonych w milimetrach, określa wartość przyspieszenia, np.:



Rys. 5a. (Wykres przyspieszeń)



Rys. 5b. (Wykres szybkości)

1 sek = a mm; 1 m/sek = b mm

$$\frac{dv}{dt} \cdot \frac{b}{a} = a_{\text{m/s}^2}$$

$$j = \frac{dv}{dt} = \text{tg} \alpha \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sek}^2}$$

W ten sposób można wykonać wykres przyspieszeń samochodu na poszczególnych biegach lub dla całkowitego rozbiegu.

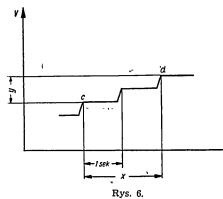
W przypadku, gdy nie zachodzi konieczność wykreślenia dokładnych wykresów, można określić przyspieszenia bezpośrednio z taśmy w sposób następujący.

Dla danego punktu szybkość wynosi c m/sek., a po upływie pewnego czasu wzrosła do d m/sek. (patrz rys. 6).

To średnie przyspieszenie w tym czasie wynosi:

$$j_m = \frac{d-c}{t} \text{ m/sek}^2$$

Dla uproszczenia przyjmuje się wskaźnik W dla danego typu przyrządu. max. zakres szybkości dla danego przyrządu w m/sek.
 $W = \frac{\text{max. szerokość wyskalowanej taśmy w mm.}}{\text{Np. dla przyrządu o zakresie 90 km/godz.}}$



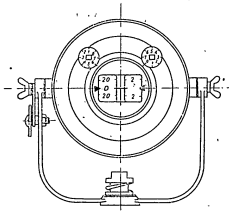
Rys. 6.

$$W' = \frac{90}{60 \cdot 3,6} = 0,4166.$$

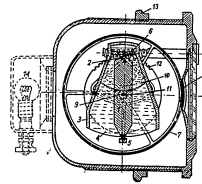
Uwzględniając wskaźnik W , średnie przyspieszenie określić można wg zależności

$$j_a = \frac{y}{x} \cdot W \text{ m/sek}^2,$$

gdzie:
 y — różnica między obranymi punktami szybkości w kierunku rzędnej, wyrażona w mm,
 x — ilość sekund między tymi punktami.



Rys. 7a. Widok zewnętrzny przyrządu wahadłowego



Rys. 7b.
 1 — wahadło; 2 — os wahadła; 3 — obudowa wahadła (naczynie zamknięte); 4 — płyn tłumiący drgania wahadła; 5 — kotwica; 6 — śruba regulująca; 7 — bęben (wyskalowany); 8 — wzmocnienie; 9 — kołko zębate; 10 — segment szasty; 11 — os bębna; 12 — tarcza regulująca; 13 — pierścień mocujący przyrząd; 14 — żarówka oświetlająca skalę przyrządu.

Pomiar za pomocą przyrządu wahadłowego

W przyrządach tych masę wahadłową stanowi magnes zanurzony w cieczy. Równocześnie z magnesem wychyla się ramka metalowa, która powoduje poprzez odpowiednie przeniesienia ruch tarczy, w kształcie bębna (rys. 7a i 7b).

Na powierzchni tej tarczy wykonane są dwie skale, z których jedna wyrażona jest w kg/t i określa wartość siły przyspieszającej, a druga w stopniach lub procentach określa wzniesienie drogi.

Rezultaty pomiarów odczytuje się przez wskaźnik wykonany w obudowie przyrządu. Jak z powyższego wynika, konstrukcja tego przyrządu pozwala na wykorzystanie go do pomiaru siły przyspieszającej, siły potrzebnej do pokonania wzniesienia drogi i pomiaru kąta wzniesienia drogi, o czym była już mowa.

Wykorzystując omawiany przyrząd do pomiaru przyspieszeń należy dodatkowo zaopatrzyć się w szybkościomierz.

Można do tego celu wykorzystać szybkościomierz wbudowany na tablicy wskaźników samochodu, jednak uprzednio należy sprawdzić prawidłowość jego wskazań.

Do wykonania pomiaru przyspieszeń na poszczególnych biegach należy zwolnić szybkość pojazdu do z góry określonej wartości i gdy tarcza przyrządu ustali się na zero, nacisnąć pedał przyspiesznika. W czasie pomiaru notować jednocześnie dla kilku pośrednich szybkości wartości siły przyspieszającej oraz szybkość.

Do sporządzenia wykresu przyspieszeń wskazane jest wykonać 4-5 pomiarów dla każdego biegu. W szczególności ważne jest uchwycenie maksymalnej siły przyspieszającej na danym biegu.

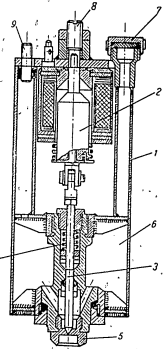
Gdy występuje działanie wiatru, próbę wykonać w obydwie strony i wziąć wynik średni.

Sporządzając wykres należy uprzednio przejść z wartości siły przyspieszającej wyrażonej w kg/t na jednostki przyspieszenia w m/sek. W tym celu oblicza się całkowitą siłę przyspieszającą mnożąc otrzymane wyniki w kg/t przez całkowity ciężar samochodu wyrażony w tonach. Następnie ze znanej zależności obliczamy przyspieszenia (j)

$$j = \frac{3,6 \cdot P_a}{m}$$

gdzie:

P_a — odpowiednia siła przyspieszająca,
 m — masa pojazdu.



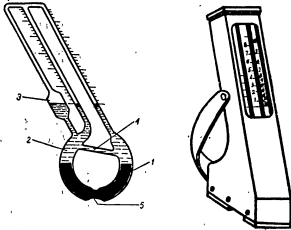
Rys. 8.

1 — korpus przyrządu; 2 — rdzeń elektromagnety; 3 — iglica; 4 — sprężyna iglicy; 5 — dysza wtrysku; 6 — zbiornik płynu; 7 — korek wlewowo; 8 — śruba regulująca skok rdzenia; 9 — zawór powietrza

Przy tej metodzie drogę rozbiegu należy mierzyć dodatkowo. W tym celu do dokładnego oznaczenia na powierzchni drogi punktów początku i końca pomiaru stosuje się urządzenie zwane „pistoletem strzalowym”.
Na rys. 8 pokazano przekrój przyrządu do oznaczenia drogi za pomocą płynu kolorowego.

Pomiar za pomocą przyspieszeniomierza cieczowego

Działanie tego przyrządu oparte jest na tej samej zasadzie co i przyrządu wahadłowego. Rolę masy wahadłowej spełnia tu ciecz w zamkniętym układzie odpowiednio połączonych naczyń rys. 9.



Rys. 9.
1 — rtręć; 2 — płyn zabarwiony; 3 — zbiornik wyrównujący ciśnienie wskutek zmiany temperatury; 4 — rurka wyrównująca poziom płynu; 5 — przewężenie dla tłumienia drgań

Przyrząd składa się z dwóch zasadniczych rurek połączonych przewężeniem tłumiącym ruchy rtręci, którą rurki są częściowo wypełnione. Ponad rtręcią znajduje się ciecz zabarwiona. Obydwie rurki są w górnej swej części zwężone i połączone. Naprzeciw tych rurek znajduje się trzęsda, mająca połączenie z poprzecznymi; zadaniem jej jest zmniejszenie wpływu zmian temperatury.

Odpowiednie dobranie średnicy rurek i sposób ich połączenia zapewnia, że rtręć pod wpływem bezwładności odchyła się od poziomu proporcjonalnie do zmian, szybkości, jakie zachodzą przy przyspieszaniu i opóźnianiu pojazdu.

Jedną z rurek wyskalowana jest dla pomiaru przyspieszenia w m/sek², druga dla opóźnienia. Ponieważ przyspieszenie jest zazwyczaj znacznie mniejsze niż opóźnienie, rurka ta jest mniejszej średnicy.

Metoda pomiaru jest analogiczna jak przy użyciu przyrządu wahadłowego, z tą różnicą, że wyniki otrzymujemy bezpośrednio w m/sek².

W tabeli 1 podano wyniki maksymalnych przyspieszeń mierzonych za pomocą przyrządu wahadłowego i cieczowego. Próbę wykonano na sa-

mochodzie ZIS-151, z włączonym reduktorem o przełożeniu 1:2,24, na drodze o nawierzchni betonowej mokrej.
Na każdym biegu wykonano 4 pomiary.

Tabela 1. Wyniki pomiaru przyspieszenia max. samochodu ZIS-151 z włączonym reduktorem

Bieg	Typ przyrządu	Przyspieszenia w m/sek ²				Uwagi
		1	2	3	4	
I	C.	0,5	0,5	0,6	0,5	
	W.	0,4	0,5	0,55	0,45	
II	C.	0,8	0,9	0,95	0,95	
	W.	0,7	0,78	0,85	0,88	
III	C.	1,1	1,15	1,17	1,17	
	W.	0,981	1	1,1	1,05	
IV	C.	0,85	0,82	0,8	0,8	
	W.	0,88	0,8	0,78	0,8	

W rubryce „Typ przyrządu” symbolem „C” oznaczono przyrząd cieczowy, a symbolem „W” przyrząd wahadłowy. Z wartości podanych w tabeli widać, że różnice między wskazaniami obu przyrządów wynoszą w niektórych przypadkach ponad 10%. Trzeba przy tym podkreślić, że odczyty z obu przyrządów dokonywano jednocześnie i jak najstaranniej. Stąd wniosek, że do wykonania stosunkowo ściślejszych pomiarów przyspieszeń należy stosować przyrząd rejestrujący z kołem biegowym.

Pomiary hamowania

Zdejmowanie dokładnej charakterystyki hamowania pojazdu jest zadaniem dość skomplikowanym, chociażby dlatego, że często mamy do czynienia z drogami o różnej nawierzchni i trudno jest określić w poszczególnych etapach okresu hamowania wpływ reakcji kierowcy.

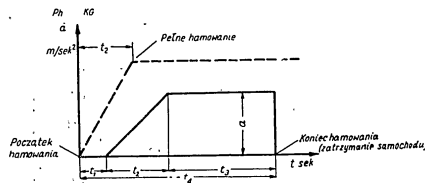
Aby temu zapobiec, stosowane są różnego rodzaju dodatkowe urządzenia umożliwiające wyodrębnienie poszczególnych etapów całkowitego okresu hamowania np.:

- czas reakcji kierowcy, tj. chwili dania mu sygnału do naciśnięcia pedału hamulca,
- czas początku hamowania obejmujący wzrost siły nacisku,
- czas pełnego hamowania aż do zatrzymania się pojazdu,
- czas całkowity obejmujący wyżej wymienione okresy i mierzony od pewnej prędkości V, przy której nastąpiło hamowanie, aż do całkowitego zatrzymania.

Drugim miernikiem określenia intensywności hamowania jest długość drogi niezbędnej do zatrzymania samochodu.

Praktycznie rzecz biorąc, określenie drogi hamowania zasługuje na większą uwagę, ponieważ podczas hamowania samochodu kierowca zazwyczaj musi dostosować intensywność hamowania do wolnej przestrzeni przed samochodem.

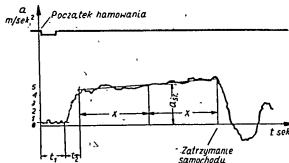
Na rys. 10 przedstawiono ideowy wykres wskazujący narastanie opóźnienia a lub siły hamowania P_h w procesie hamowania oraz poszczególne etapy tego procesu wyrażone w jednostkach czasu.



Rys. 10.

P_h — siła hamowania w kg; a — opóźnienie w m/sek²; t_1 — czas reakcji kierowcy w sek.; t_2 — czas narastania siły hamującej; t_3 — czas intensywnego hamowania przy maksymalnej wartości siły hamującej; t_4 — całkowity czas hamowania.

W rzeczywistości przebieg siły hamowania P_h lub opóźnienia a nie jest tak równomierny jak na rys. 10.



Rys. 11.

Na rys. 11 pokazano wykres zdjęty w czasie badań przy określaniu charakterystyki hamowania metodą bezpośredniego pomiaru przebiegu opóźnienia, za pomocą specjalnego przyrządu rejestrującego. Przyrząd ten jest wyposażony w mechanizm zegarowy odmierzający czas. Dzięki temu otrzymuje się zmiany opóźnienia w czasie, poza tym mamy możliwość wyodrębnienia poszczególnych etapów czasu t_1 , t_2 , t_3 w procesie hamowania. W celu ograniczenia siły nacisku na pedał hamulca stosuje się dodatkowe urządzenie instalowane pod pedałem. W ten sposób zabezpieczamy się przed pełnym zablokowaniem kół samochodu i wystąpieniem poślizgu kół względem drogi.

Na taśmie rejestrującej znaczony jest punkt początku hamowania nadany przez specjalny przełącznik wbudowany w przyrząd ograniczający siłę nacisku.

Inna metoda, zwana pośrednim badaniem hamowania, polega na określeniu opóźnienia średniego a_{sr} z pomiaru szybkości wyjściowej V_1 i drogi hamowania S_h .

$$a_{sr} = \frac{V_1^2}{2S_h}$$

V_1 — szybkość, przy której rozpoczęło hamowanie,
 S_h — droga od początku hamowania aż do zatrzymania się pojazdu.

Do oznaczania na drodze początku hamowania można wykorzystać przyrząd podany na rys. 8.

Pomiar hamowania przy użyciu przyrządu wahadłowego

Budowa tego przyrządu różni się od opisanego na rys. 7a i 7b tym, że zaopatrzony jest dodatkowo w mechanizm zapadkowy zatrzymujący wahadło w maksymalnym wychyleniu w czasie hamowania. Na obrotowej tarczy naniesione są również dwie skale, z których jedna wyraża:

- hamowanie w procentach,
- a druga:
- długość drogi hamowania w metrach. Hamowanie w % Z określane jest ze stosunku opóźnienia a , jakie wystąpiło w procesie hamowania, do przyspieszenia ziemskiego g , czyli:

$$Z = \frac{a}{g} \cdot 100$$

lub ze stosunku siły hamującej P_h do całkowitego ciężaru samochodu G , co jest jednoznaczne:

$$P_h = ZG = \frac{G}{g} \cdot a$$

Ponieważ wahadło przyrządu zatrzymywane jest przy maksymalnym jego wychyleniu przez urządzenie zapadkowe, wskazany przez przyrząd wynik określa tylko maksymalne hamowanie, jakie wystąpiło w czasie pomiaru.

W celu skontrolowania dokładności wyników oraz określenia średniego opóźnienia a_{sr} lub średniej siły hamującej pożądanym jest dodatkowy pomiar drogi, ponieważ droga hamowania wg wskazań przyrządu odpowiada tylko maksymalnemu hamowaniu.

W tabeli 2 podane są wyniki pomiarów hamowania osiągnięte na samochodzie ZIS-151, przy użyciu przyrządu wahadłowego. Pomiar przeprowadzono na drodze o nawierzchni betonowej suchej.

Poruszone w niniejszym artykule zagadnienia, aczkolwiek w sposób fragmentaryczny, pozwalają dojść do wniosku, że uzyskanie zadowala-

Tabela 2. Wyniki pomiarów hamowania za pomocą przyrządu wahadłowego

Lp.	V_1	V_2	Z	S_h	S'_h	$\alpha = \frac{\beta \cdot Z}{100}$
	km/godz.	km/godz.	%	m	m	m/sek.
1.	5	0	42	2,50	1,2	4,12
2.	10	0	48	3,20	1,5	4,22
3.	15	0	43	3,00	2,05	4,22
4.	20	0	48	4,88	3,27	4,70
5.	25	0	56	5,30	4,37	5,50
6.	30	0	55	12,10	6,43	5,40
7.	40	0	55	15,20	11,4	5,40
8.	45	0	55	20,20	14,4	5,40
9.	50	0	52	24,00	19,7	5,10

V_1 — szybkość wyjściowa,
 Z — hamowanie w % odczytane z przyrządu,
 S_h — droga hamowania mierzona taśmą,
 S'_h — droga hamowania wg wskazań przyrządu,
 α — opóźnienie.

Wyniki tych badań wymaga przeprowadzenia wstępnej analizy sposobów postępowania i zastosowania właściwych przyrządów.
 Dokładne opracowanie metody pomiaru umożliwi uzyskanie zamierzonego celu jak najkrótszą drogą i w sposób możliwie jak najdokładniejszy.

LEON GRONOMSKI — Kand. nauk techn.

PRZEBIEG SPALANIA W SILNIKU GAŹNIKOWYM W ZALEŻNOŚCI OD ZAWARTOŚCI SPALIN W MIESZANCE ROBOCZEJ

1. Niejasne właściwości resztek spalin

Zagadnieniem resztek spalin w silnikach zajmowało się już szereg uczonych i to od wieku lat. Zagadnienie to nie zostało jednak należycie zbadane. Spotykamy niewystarczająco uzasadnione poglądy odnośnie wpływu resztek spalin na pracę silnika. Poglądy te są niejednokrotnie sprzeczne między sobą. Sprowadzają one nawet na fałszywe tory niektórych badaczy w ich usiłowaniach praktycznego wykorzystania właściwości spalin dla poprawy procesu spalania.

Tacy badacze, jak BUGROW [1], BOUCHARD i TAYLOR [2], CZU-DAKOW [3] i inni otrzymywali, na podstawie badań w bombie i w silniku, zmniejszenie szybkości spalania i zakresu zapalności w miarę zwiększenia współczynnika resztek spalin. Na tej podstawie panuje powszechne poglądy, że resztki spalin pogarszają proces spalania. Stąd też i nazwa „zanieczyszczenie resztkami spalin” („zagrzanie”).

Czy można jednak zgodzić się z takim poglądem? Przecież dławienie ssania przepustnicą, które stosujemy przy normalnej regulacji mocy silnika gaźnikowego, zwiększa współczynnik resztek spalin γ . Dlaczego więc nie zmniejsza ono sprawności indykowanej η_i ? Zmniejszenie η_i , bardzo rzadko, obserwuje się jedynie przy bardzo małych obciążeniach (doświadczenia MASLENNIKOWA i RUDZKIEGO [4]). Niektórzy badacze, np. JODGE [5], otrzymali przy częściowym dławieniu mocy (bez zmiany składu mieszanki palnej) większe wartości η_i niż przy całkowitej otwartej przepustnicy.

Analogicznie nie daje się zauważyć poprawy η_i przy stosowaniu sprężarki.

Autor w swoich doświadczeniach przeprowadzonych w Moskiewskiej Wyższej Technicznej Uczelni im. Baumana [6], otrzymywał przy dławieniu mocy przepustnicą zwiększenie η_i w przypadku stosowania stopnia sprężania ϵ zbliżonego do optymalnego dla danego paliwa w danym silniku, zaś w przypadku zmieszanych ϵ , obserwowane wartości η_i były w przybliżeniu stałe.

Na tej podstawie można przypuszczać, że zwiększenie współczynnika resztek spalin, przy dławieniu mocy, nie tylko nie pogarsza procesu spalania, lecz może nawet i wpływa na niego dodatnio.

Następnym niejasnym zagadnieniem jest wpływ γ na powstawanie detonacji. MKRTUMIAN [7] i inni wprowadzali do silnika spaliny dla gaszenia detonacji. Dzięki temu udawało się zwiększyć stopień sprężania.

Stosowanie sprężarki, jak wiadomo, zwiększa skłonność do detonacji, a dławienie ssania zmniejsza ją. Jednak zwiększenie γ , które występuje

przy dławieniu wydechu, prawie nie wpływa na detonację, świadczą o tym badania TAYLORA [8] i wymieniona już praca autora [6].

SOKOLIK [9] i [10] wysunął hipotezę o różnym działaniu resztek spalin na szybkość spalania w zależności od składu mieszanki paliwej. Zgodnie z tą hipotezą, w przypadku pracy silnika na bogatej mieszance, w resztkach spalin znajdują się pewne ilości węglowodorów (np. metanu), wodoru i aktywnych połączeń.

Dzięki temu resztki spalin powinny wtędy powodować szybszy proces spalania, a nie wolniejszy.

Wymieniona hipoteza SOKOLIKA może wywołać poważne zastrzeżenia, zwłaszcza, że doświadczenia BOUCHARDA i TAYLORA [2] wykazały zmniejszenie szybkości spalania, w miarę zwiększenia γ właśnie przy pracy silnika na bogatej mieszance ($\alpha = 0,88$), jak to widać z wykresów na rys. 2.

Hipoteza SOKOLIKA wymaga oczywiście wnikliwych badań. Niezależnie od swojej słuszności pobudza ona do nowego podejścia do zagadnienia resztek spalin. Chodzi o to, ażeby obok ujemnych stron ich wpływu na spalanie szukać również i stron dodatnich. Jeżeli uda się wykryć te ostatnie, wówczas może okazać się celowym praktyczne ich wykorzystanie.

Takie podejście do omówionego zagadnienia uwzględniłoby sprzeczności wewnętrzne sjąwiska, tj. byłoby dialektyczne. Dzięki temu może ono przyczynić się do rozwiązania niejasnego dotychczas problemu w teorii silnika spalinyowego, jakim jest wpływ resztek spalin na proces spalania, rozwiązania, które w praktyce może dać poprawę wskaźników sprawności i mocy.

2. O niektórych wskaźnikach jakości spalania

a) Trwanie spalania, szybkość narastania ciśnienia i ich wielkości jednostkowe.

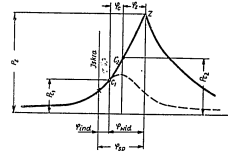
Do głównych wskaźników procesu spalania zalicza się zazwyczaj szybkość rozprzestrzeniania się płomienia (m/sek), lub trwanie spalania (w stopniach obrotu wału korbowego) i szybkości narastania ciśnienia (kg/cm²). W określeniu tych wskaźników i w ich analizie bardzo ważne jest właściwe rozróżnienie poszczególnych faz spalania oraz ustalenie czy i która z tych faz odgrywa podstawową rolę.

Bez uwzględnienia tego warunku możemy popaść w eklektyczną metodę badań, metodę szkodliwą i antynaukową.

Należy zaznaczyć, że spotykamy dość różny podział procesu spalania. Na charakterystyczne jego okresy czyli fazy, ich ilość, nazwy i oznaczenia nie są u poszczególnych badaczy jednakowe. Zagadnienie to omówił szczegółowo SOKOLIK [9], który słusznie wydziela fazę widocznego spalania, jako najważniejszą, nazywając ją nawet „główną fazą spalania”.

Odnosząc silników gaźnikowych przyjmuje się zazwyczaj, że pierwsza faza zaczyna się w momencie przeskokowania iskry między elektrodami świecy i kończy się, gdy rozpoczyna się wzrost ciśnienia na wykresie inductywnym spowodowany spalaniem. Fazę tę nazywają często inductywnym spalaniem, a jej trwanie w stopniach obrotu wału korbowego oznaczamy „ φ_{ind} ” (rys. 1).

Druga faza, tj. widocznego spalania, kończy się w punkcie „ α^* ”, tj. gdy ciśnienie w cylindrze osiąga maksymalną wartość (p_c). Trwanie tej fazy oznaczamy „ φ_{vid} ”. Część spalania, która odbywa się po widocznej fazie, nazywa się zwykle dopalaniem. Za trwanie całkowitego spalania (bez dopalania) przyjmujemy $\varphi_{ca} = \varphi_{ind} + \varphi_{vid}$.



Rys. 1. Schemat linii spalania rozwiniętego wykresu inductywnego

Srednia szybkość narastania ciśnienia na linii widocznego spalania wynosi:

$$w_p = \frac{\Delta p}{\Delta \varphi} \quad \frac{\text{kg/cm}^2}{\text{obr.w.k.}}$$

Dla udogodnienia badań przyjmujemy, że:

$$w_p = \frac{p_c - p_s}{\varphi_s} \quad \frac{\text{kg/cm}^2}{\text{obr.w.k.}}$$

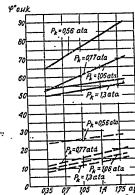
Oznaczenia tego wyrażenia wyjaśnia schemat na rys. 1. Położenie linii widocznego spalania w stosunku do GMP określamy wartością $\psi = \frac{\varphi_s}{\varphi_c}$.

BOUCHARD C. L., TAYLOR C. F. i TAYLOR E. S. [2] w swoich badaniach wpływu ciśnienia na wydechu p_p na szybkość spalania w silniku gaźnikowym, fotografowali przesuwanie się czoła płomienia i przyjęli, że 10% drogi płomienia odpowiada inductywnej części spalania, a 95% tej drogi — całkowitemu spalaniu. Wyniki tych badań pokazuje rys. 2, na którym linie ciągłe to φ_{ca} (obr.w.k) w zależności od p_p dla różnych ciśnień na ssaniu p_s , a linie kreskowane — φ_{ind} .

Przyjęcie 10% drogi płomienia za inductywną część spalania, niezależnie od p_s i p_c , nie może odpowiadać rzeczywistości procesowi w silniku. Przy dużych wartościach φ_{ca} , inductywne spalanie może bowiem obejmować znacznie większą część drogi płomienia niż przy małych φ_{ca} .

BOUCHARD i inni nie wydzielałają części widocznego spalania od całkowitego. Nie analizują oni wpływu p_p na φ_{vid} , tj. na podstawową część spalania. Stwierdzają oni, że szybkość spalania zmniejsza się w miarę wzrostu p_p . Spalanie może jednak przebiegać w taki sposób, że φ_{vid} może zmniejszyć się chociaż φ_{ca} się zwiększa.

Jeżeli nawet przy metodzie BOUCHARDA i na podstawie jego danych (rys. 2), rozpatrzyć wielkości $(\varphi_{sp} - \varphi_{ind})$, możemy otrzymać, że różnica ta, dla pewnych wartości p_k (np. $p_k = 1,06$ ata), zmniejsza się w miarę wzrostu P_p .



Rys. 2. Zależności φ_{sp} (linie ciągłe) i φ_{ind} (linie kreskowane) od P_p dla różnych p_k , otrzymane przez Boucharda i innych.

Wniosek więc szeregu badaczy, wyciągnięty na podstawie przebiegu φ_{sp} , że reszki spalin pogarszają proces spalania, należy uznać za nieuzasadnione.

Gdy zmienia się wielkość napełnienia cylindra węższym ładunkiem, wówczas wielkość trwania widocznego spalania φ_{wid} , jako jednego ze wskaźników jakości spalania, zmniejsza się. To samo bowiem φ_{wid} (° obr. w.k.) może występować przy dwóch różnych ilościach wprowadzonego do cylindra paliwa, przypadającego na jeden obieg pracy. Z tego powodu bardziej cennym wskaźnikiem jakości spalania może być jednostkowe trwanie widocznego spalania, tj. przypadające na 1 mg paliwa/obieg. Wskaźnik ten oznaczamy literą φ_{wid} . Wynosi on:

$$\varphi_{wid} = \frac{\varphi_{ind}}{G_p} = \frac{\varphi_{ind}}{G_p} \cdot 60 \cdot n \quad \text{° obr.w.k.} \quad (1)$$

$$\varphi_{wid} = \frac{\varphi_{ind}}{G_p} \cdot c \cdot 10^6 \quad \text{mg/obieg}$$

W zależności tej:

- $\frac{G_p}{G_p}$ — różnica paliwa w mg, przypadający na 1 obieg pracy
- $\frac{G_p}{G_p}$ — różnica paliwa w kg/godz.
- n — ilość obiegów pracy na minutę.

Jednostkowe trwanie widocznego spalania φ_{wid} (w podanym ujęciu) nadaje się do analizy zmian jakości spalania w danym silniku, a nie dla porównania spalania w różnych silnikach. W tym ostatnim przypadku możemy w jednostkowym trwaniu widocznego spalania uwzględnić np. pojemność słoikową cylindra. Zmiana współczynnika resztek spalin jest związana ze zmianą napełnienia, i dlatego w naszych badaniach wydaję się celowe posługiwać się wielkością φ_{wid} , jako jednym z szeregu wskaźników procesu spalania. Można go łatwo obliczyć z wartości φ_{ind} , znając

G_p i n . Pozwala on bezpiecznie na otrzymanie większej jasności w przebiegu procesu spalania.

Analogicznie można podejść do zagadnienia średniej szybkości narastania ciśnienia w_p . Jednostkowa średnia szybkość narastania ciśnienia:

$$\varphi_p = \frac{w_p}{G_{obieg}} \quad \frac{\text{kg/cm}^2}{\text{° obr. w.k. mg/obieg}} \quad (2)$$

Można również uwzględnić jednostkowy przyrost ciśnienia, to jest przypadający na 1 mg paliwa/obieg:

$$\varphi_{\Delta p} = \frac{\Delta p}{G_{obieg}} \quad \frac{\text{kg/cm}^2}{\text{mg/obieg}} \quad (3)$$

Wskaźniki te, jako jedne z szeregu innych wskaźników procesu spalania, dotyczą również danego silnika, a nie różnych pod względem wymiarów silników.

b) Temperatura spalin

Jednym z ważnych wskaźników jakości spalania jest temperatura spalin w cylindrze w momencie otwarcia zaworu wydechowego T_p .

Powszechnie przyjęto stosowanie pomiaru temperatury spalin na wydechu za zaworem wydechowym T_p , tj. po wyjściu ich z cylindra. Metoda ta jest dogodna, gdyż sprowadza się do łatwego pomiaru temperatury przy pomocy termopary. Nie należy jednak, na podstawie przebiegu T_p , wyciągać wnioski o temperaturze T_b i o procesie spalania. Błąd ten spotykamy zazwyczaj u wielu badaczy pracy silników.

Gdy zmieniają się warunki pracy silnika, a zwłaszcza napełnienie, ciśnienia na wydechu i intensywność chłodzenia, wówczas naprzykład, wzrost temperatury T_p może towarzyszyć spadkowi temperatury T_b . Na wielkość bowiem temperatury T_p (mierzonej termoparą za zaworem wydechowym) wywierają znaczny wpływ (oprócz wartości T_b):

- a) Ilość gazów uchodzących z cylindra w podstawowej części wydechu, tj. przy ciśnieniu wyższym od krytycznego.
- b) Średnia temperatura gazów w cylindrze w czasie suwu wydechu (T_{in}).

Przyjmijmy, na przykład, zwiększenie ciśnienia na wydechu P_p . Połączymy ono za sobą zmniejszenie nadkrytycznej części wydechu i zarazem zwiększenie części spalin wypychanych przez tłok w czasie suwu wydechu. Współczynnik wymiany ciepła wzrasta proporcjonalnie do P_p .

Ilość ciepła, którą oddają gazy ściankom cylindra podczas suwu wydechu zwiększy się więc przy tym poważnie. Świadczy o tym wzór BRILINGA [11] na współczynnik wymiany ciepła między gazami i ściankami cylindra:

$$\alpha_c = 0,99 \sqrt{P_p \cdot T} \cdot (a + 0,185 c_m) \quad \frac{\text{k cal}}{\text{m}^2 \cdot \text{godz. } 1^\circ\text{K}}$$

w którym:

- $P_p T$ — ciśnienie i temperatura gazu
- a — pewna stała dla danego silnika, wielkość
- c_m — średnia szybkość tłoka (m/sek)

Dla danego silnika przy stałych obrotach wału korbowego otrzymamy więc:

$$\frac{\alpha_{c1}}{\alpha_{c2}} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\beta_0} \cdot \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\gamma_0}$$

Z powyższego wynika, że posługiwanie się T_p dla oceny procesu indykatorowego silnika może doprowadzić do mylnych wniosków. Zauważył to już PORTNOW [12] w swoich badaniach nad silnikiem wysokoprężnym.

Należy więc analizować wartości T_b , chociaż ich otrzymanie nie jest łatwe. Praktycznie dla analizy zmiany jakości spalania można posługiwać się wielkościami względnej zmiany temperatury gazów w momencie otwarcia zaworu wydechowego, tj. stosunkiem $\left(\frac{T_b}{T_{b1}}\right)$ gdzie T_b dotyczy wyjściowych warunków pracy silnika.

Przy pomocy równania charakterystycznego stanu gazów możemy otrzymać:

$$\frac{T_b}{T_{b1}} = \frac{p_b}{p_{b1}} \cdot \frac{G_{b1}}{G_b} \cdot \frac{R_{b1}}{R_b}$$

gdzie: G_b, G_{b1} — ciężarowe ilości spalin w cylindrze pod koniec rozprężenia (przed otwarciem zaworu wydechowego),

R_b, R_{b1} — ich stałe gazowe.

Przyjmujemy, że $R_b = R_{b1}$, przy jednakowych współczynnikach nadmiaru powietrza α , względnie i przy różnych α , lecz ≥ 1 . Wtedy:

$$\frac{T_b}{T_{b1}} = \frac{G_{b1}}{G_b} \cdot \frac{p_b}{p_{b1}} = \frac{G_{o1} + G_{r1}}{G_o + G_r} \cdot \frac{p_b}{p_{b1}} = \frac{G_o(1 + \gamma_1/\beta_0)}{G_o(1 + \gamma_1/\beta_0) p_b} \quad (5)$$

gdzie: G_o, G_{r1} — ciężarowe ilości świeżej mieszanki,
 G_r, G_{r1} — ciężarowe ilości resztek spalin
 β_0 — współczynnik zmiany molowej pod warunkiem wymienionych α . Dla $\alpha \geq 1$ wartość $\beta_0 \approx 1,05$.

Przy pomocy tego wzoru możemy otrzymać wielkości T_b/T_{b1} po określeniu ilości świeżej mieszanki, wartości p_b/p_{b1} (z wykresów indykatorowych) oraz współczynników resztek spalin.

c) Nierówność kolejnych obiegów.

Silniki gaźnikowe wykazują znaczną nierówność kolejnych obiegów (cykli). Jest ona szczególnie duża podczas pracy na ubogich mieszankach. Nierówność ta wyraża się poważnymi różnicami w przebiegu linii spalania i zarazem linii rozprężenia wykresów indykatorowych. Różnice dotyczą wielkości ciśnień i szybkości ich narastania, trwania spalania i poszczególnych jego faz, temperatur itd. Jasne więc, że średnie ciśnienie indykowane p_i i sprawność indykowana η_i kolejnych obiegów są różne.

Zagadnieniu nierówności obiegów poświęcono dotychczas w teorii silnika spalnego bardzo mało uwagi. Organicznie się przeważnie do stwierdzenia, że nierówność obiegów występuje. Tacy badacze jak ZAŁOGA [13] potraktowali ją raczej fragmentarycznie. Dopiero REWO i SARKISIAN [14] zajęli się tym zagadnieniem obszernie i to przed kilkoma

zaledwie laty. Na prace ich powołują się już MASLENNIKOW i RAPI-PORT [15].

REWO i SARKISIAN posługują się nazwą „nieidentyczność kolejnych obiegów”. Wprowadzili oni pojęcie stopnia nierówności kolejnych obiegów, jako jej miernika. Pojęcie to definiuje zależność:

$$\Delta_o = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} |p_i - p_{si}|}{n_k \cdot p_{si}} \cdot 100\% \quad (6)$$

gdzie $|p_i - p_{si}|$ — to wartość bezwzględna różnicy między p_i danego obiegu i p_{si} , otrzymanym jako średnia arytmetyczna p_{si} kolejnych obiegów w ilości n_k .

Stopień nierówności kolejnych obiegów Δ_o należy uważać za ceny wskaźnik procesu spalania. Jeżeli przy danej wartości Δ_o otrzymujemy pewną wielkość średniej sprawności indykowanej η_i , to zmniejszając Δ_o możemy zbliżyć się do η_i optymalnego obiegu tj. zwiększyć sprawność pracy silnika.

REWO i SARKISIAN, badając Δ_o w zależności od α , stwierdzili, że na ubogich mieszankach ($\alpha < 1,35$) η_i optymalnych obiegów może być o 18% większe niż średnie η_i pracy silnika na α maksymalnej sprawności.

Dla pomiaru wielkości, potrzebnych do obliczenia Δ_o , wygodnie posługiwać się oscylografem pętlicowym, zmniejszając przy tym szybkość przesuwania się taśmy fotograficznej. Otrzymujemy wtedy wykresy pokazane na rys. 3.



Rys. 3. Wykres indykatorowy szeregu obiegów pracy silnika otrzymany przy małej szybkości przesuwania się taśmy fotograficznej (oscylograf pętlicowy).

3. Metodyka badań

Badania przeprowadzono na silniku C — 1, który służy do badania liczb oktanowej paliwa. Silnik był więc jednocylindrowy, czterosuwowy z górnymi zaworami. Średnica cylindra $D = 82,5$ mm, a skok $S = 114,3$

mm. Obróty wału korbowego były stałe i wynosiły $n = 1200$ obr./min. Stopień sprężania ϵ mógł zmieniać się w zakresie od 4 do 10.

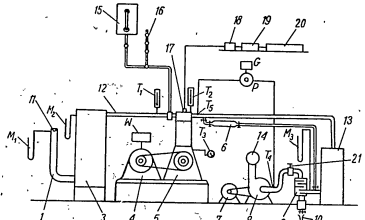
Standardowy układ ssania zastąpiono gaźnikiem służącym do badań regulacyjnych silnika. Przekrycie otwarcia zaworów usunęto.

Układ wydechu wykonano w sposób pokazany na schemacie rys. 3a. Składał się on z rury wydechowej, chłodnicy dla obniżenia temperatury spalin (13), chłodnika skroplonej pary wodnej spalin (9) ze zlewem (10), wentyla regulacyjnego dławiącego wydech (21), pompy próżniowej (8), napędzanej motorem elektrycznym (7), aspiratora dla zdejmowania prób spalin (6) manometru (M_2), termopar umieszczonych bezpośrednio za zaworem wydechowym (T_2) i przed pompą próżniową (T_1).

Stosowany układ pozwalał na zmianę ciśnienia na wydechu p_p w szerokim zakresie. Zakres ten obejmował ciśnienia od 0,45 do 2,4 ata.

Zasilanie paliwa odbywało się ze zbiornika (15). Pomiar ilości paliwa odbywał się przy pomocy kółb pomiarowych (16).

Powietrze wchodziło do gaźnika przez rurę (1), zbiornik wyrównawczy (3) i rurę (12). Pomiar ilości powietrza odbywał się przy pomocy wychowawanej dyszy typu Venturi (11) i manometru wodnego (M_1). Manometr (wodny) (M_2) pokazywał spadek ciśnienia w zbiorniku (3). Temperaturę powietrza (przed gaźnikiem) pokazywał termometr rtęciowy (T_1), temperaturę wody chłodzącej silnik — termometr rtęciowy (T_2), a temperaturę oleju w silniku — termometr ciśnieniowy (T_3).



Rys. 3a. Schemat stoiska doświadczalnego:

1 — rura zbiornika wyrównawczego, 3 — zbiornik wyrównawczy, 4 — hamulec elektryczny, 5 — silnik spaliny, 6 — aspirator dla prób spalin, 7 — silnik elektryczny, 8 — pompa próżniowa, 9 — chłodnik wody, 10 — zlew, 11 — dysza do pomiaru rozchodu powietrza, 12 — rura doprowadzająca powietrze, 13 — chłodnica spalin, 14 — wylot spalin, 15 — zbiornik benzynowy, 16 — kołby pomiarowe, 17 — czujnik, 18 — wzmacniacz, 19 — przestawnik, 20 — oscylograf, 21 — wentyl, P — przełącznik, G — galvanometr, T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 — termometry, M_1 , M_2 , M_3 — manometry, W — watomierze z pomocniczą aparaturą.

Hamulec elektryczny typu synchronicznego (4) służył zarazem do rozruchu silnika (5). Wykresy indukcyjne (rozwinęte) otrzymano przy pomocy piezokwarcowego czujnika (17), pętlowego oscylografa (20) i pomocniczej aparatury (18, 19). Przesuwająca się taśma filmowa oscylografu rejestrowała ciśnienia, czas i moment przekakiwania iskry.

Moment ten odczytywano również na przyrządzie neonowym silnika. Początek widocznego spalania określano przy pomocy odpowiedniego nałożenia na siebie linii ciśnień z zaplonem i bez zaplonu (rys. 1).

Chłodnica (13) była wykorzystana jako zbiornik wyrównawczy wahań ciśnienia na wydechu. Wskazania manometru M_2 były korygowane o różnicę ciśnień między manometrem i rurą wydechową bezpośrednio za zaworem silnika. Skorygowaną wartość przyjęto jako ciśnienie na wydechu p_p .

Ciśnienie w cylindrze pod koniec wydechu: $p_c = p_p + \Delta p_c$, gdzie Δp_c to straty ciśnienia przy przejściu spalin przez przekrój zaworowy. Wielkość Δp_c , na podstawie przeprowadzonych pomiarów i źleceń wielu badaczy [16], przyjęto równą 0,05 kg/cm².

Współczynnik nadmiaru powietrza α określono przy pomocy pomiarów rozchodu powietrza i paliwa. Wielkość α kontrolowano również przy pomocy analizy spalin.

Wartość α_{max} określano w następujący sposób:

Zmniejszono rozchód paliwa, przy stałym rozchodzie powietrza, do pojawienia się przerw w zaplonie mieszanki palnej (na słuch). Przerwy te usuwano przy pomocy zmiany kąta wyprzedzenia zaplonu θ i ponownie zmniejszono rozchód paliwa. Czynności te powtarzano do utrzymania maksymalnego α o początku pojawiania się wymienionych przerw, których nie usuwała już więcej zmiana θ . Następnie zwiększano nieznacznie dopływ paliwa do utrzymania pracy bez przerw w zaplonie, tj. do tzw. statecznej pracy silnika. Pomiarów dokonywano po sprawdzeniu, że przerwy nie pojawiają się w ciągu nie mniej niż 1 minutę.

Granice bezdetonacyjnego spalania otrzymano w sposób następujący:

Zwiększano stopień sprężania ϵ do pojawiania się detonacji stwierdzonej słuchowo. Regulowano przy tym na maksymalną detonację zarówno θ , jak i α . Ta ostatnia wielkość była równa około 0,9. Badania przeprowadzono przy różnych ciśnieniach na wydechu p_p . W drugiej części tych badań współczynnik nadmiaru powietrza α był równy około 1,15.

Należy zaznaczyć, że zmiana ciśnienia na wydechu zmieniała wielkość napełnienia cylindra świeżą mieszanką i szeregi innych, związanych z nią wielkością, parametrów. Okoliczność tę można uważać za korzystną. Dzięki niej bowiem otrzymujemy zależności, które są bardziej cenne dla praktyki. W badaniach silników spalinyowych zmiana jakości parametru pociąga za sobą zmianę innych, których zazwyczaj nie eliminujemy, jeżeli nie wymaga tego praktyka. Badając naprzekiad, zależność jednostkowego zużycia paliwa g_e i mocy N_e od obrotów silnika przy całkowicie otwartej przepustnicy (zewnętrzna charakterystyka), nie usuwamy występującej przy tym zmiany współczynnika napełnienia η_v , a kąt wyprzedzenia zaplonu θ stosujemy każdorazowo optymalny, tj. zmienny.

Zmiany wielkości współczynnika resztek spalin określono przy pomocy zależności:

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{p_p' + 0,05}{p_p + 0,05} \cdot \frac{G_p'}{G_p} \cdot \frac{T_p'}{T_p} \quad (7)$$

gdzie: G_p — rozchód powietrza w kg/godz.

p_p , T_p — ciśnienie i temperatura absolutna na wydechu (bezpośrednio za zaworem wydechowym).

W wyprowadzeniu tej zależności wykorzystano znany wzór Hry-niewieckiego

$$\gamma = \frac{1}{\epsilon - 1} \cdot \frac{1}{\eta_v} \cdot \frac{p_r T_o}{p_o T_r}$$

w którym p_o, T_o — ciśnienie i temperatura abs. na ssaniu, p_r, T_r — ciśnienie i temperatura abs. w cylindrze pod koniec wydechu.

Jak już zaznaczono, w warunkach przeprowadzonych badań $p_r = p_o + 0,05 \text{ kg/cm}^2$.

Dla dwóch różnych p_o , przy stałych ϵ_o, p_o, T_o , otrzymamy

$$\frac{\gamma''}{\gamma'} = \frac{p_r'}{p_r} \cdot \frac{\eta_v'}{\eta_v} \cdot \frac{T_r''}{T_r'} = \frac{p_o + 0,05}{p_o + 0,05} \cdot \frac{\eta_v'}{\eta_v} \cdot \frac{T_r''}{T_r'}$$

$$\text{Przyjmujemy, że } \frac{T_r''}{T_r'} \sim \frac{T_p''}{T_p'}$$

$$\text{oraz } \frac{\eta_v''}{\eta_v'} = \frac{C_p''}{C_p'}$$

na tej podstawie otrzymujemy zależność (7), w której wszystkie wielkości prawej strony określano z pomiarów.

Zależność (7) jest oczywiście przybliżona. Dla małych wielkości p_o , które znaczenie zwiększają nadkrytyczną część wydechu ($p_o < 0,45 \text{ at}$), niedokładność, wynikająca z przyjętej zależności $p_r = p_o + 0,05$ może być znaczna. Świadczą o tym badania zależności p_r od p_o przeprowadzone przez DOBRZYŃNĄ A. A. [17].

W czasie badań silnik pracował na benzynie krekowanej, której dane techniczne były następujące:

Liczba oktanowa	54,0/M
Gęstość 20/4	0,733
Wartość opałowa	10394 kcal/kg
Skład chemiczny:	
C	86,09%
H	13,96%
Destylacja frakcji:	
Początek destylacji	37 °C
10% destyluje do	67 °C
40% destyluje do	103 °C
50% destyluje do	115 °C
90% destyluje do	177 °C
97,5% destyluje do	222 °C

Stożenie sprężania ϵ stosowano w zakresie od 4 do 8. Wysokie ϵ wymagały gaszenia detonacji, które otrzymywano przy pomocy zmniejszenia kąta wyprzedzenia zapłonu θ . Przy $\epsilon = 8$ występował już samozapłon, który wywoływał silną detonację. Przy $\epsilon \leq 7$, samozapłonu nie stwierdzono. Optymalny stopień sprężania ϵ_{opt} (wg mocy i jednostkowego zużycia paliwa) wynosił około 5,4.

Obiegi pracy silnika bez resztek spalin (tj. $\gamma = 0$) otrzymano w pierwszym obiegu po krótkotrwałym wyłączeniu zapłonu (średnio na okres 2 — 3 obiegów). Metodyka ta daje jednak pewne zniekształcenia, które wynikają z następujących przyczyn:

- Kąt wyprzedzenia zapłonu θ , wyregulowany na optymalne warunki pracy z zawartością resztek spalin, jest zbyt duży dla obiegu bez resztek spalin.
- Wyłączenie zapłonu narusza w pewnym stopniu warunki cieplne pracy silnika.
- W czasie obiegów bez zapłonu może osiadać w cylindrze pewna ilość paliwa, która wpływa na zmniejszenie współczynnika nadmiaru powietrza.
- Opracowywanie wykresów indykatorowych pracy bez resztek spalin odbywa się każdorazowo na podstawie jednego obiegu, a nie jak podczas pracy z zawartością resztek spalin, kiedy można otrzymać średnie wartości z szeregu kolejnych obiegów.

Omawiana metoda jednak, pomimo swoich ujemnych stron, może być uważana za wartościową, z tym, że otrzymane wyniki mają charakter przybliżony. Metoda ta była już poprzednio stosowana w Moskiewskiej Wyższej Technicznej Uczelni im. Baumana w imięgo rodzaju badaniach, które dotyczyły silnika z napędem gazowym [18].

4. Temperatura mieszanki roboczej w końcu suwu ssania T_1

$$\text{Ilość mieszanki roboczej (kg): } G_r = G_c + G_s = G_o (1 + \frac{G_s}{G_o})$$

gdzie G_c — ilość świeżej mieszanki (kg),
 G_s — ilość resztek spalin (kg).

Współczynnik resztek spalin $\gamma = \beta_o \frac{G_s}{G_o}$. Wielkość β_o to współczynnik zmiany molowej. Jest on stały, gdy $\alpha = \text{const}$. Dla $\alpha \neq \text{const}$, gdy $\alpha \gg 1$, wartość β_o też jest stała (w przybliżeniu). Otrzymamy wtedy (tj. gdy $\beta_o = \text{const}$):

$$\frac{G_{s1}}{G_{o1}} = \frac{C_{s1}}{C_{o1}} \frac{1 + \gamma_1 \beta_o}{1 + \gamma_2 \beta_o} = \frac{C_{s1}}{C_{o1}} \frac{\beta_o + \gamma_1}{\beta_o + \gamma_2}$$

Ponieważ

$$\frac{G_{s1}}{G_{o1}} = \frac{\eta_{v1}}{\eta_{v2}}$$

oraz (na podstawie równania charakterystycznego gazu) $\frac{G_{s1}}{G_{o1}} = \frac{T_{s1}}{T_{o1}}$

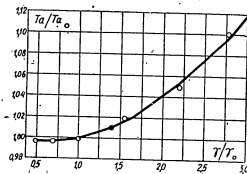
$$\text{przeto } \frac{T_{s1}}{T_{o1}} = \frac{\eta_{v1}}{\eta_{v2}} \cdot \frac{\beta_o + \gamma_1}{\beta_o + \gamma_2} \quad (8)$$

dla $\alpha \gg 1$; mamy $\beta_o = 1,05$.

Przyjmując wartości $T_{s1}; \eta_{v2}; \gamma_2$, jako wyjściowe, tj. równe kolejno $T_{s0}; \eta_{v0}; \gamma_0$; otrzymamy dla różnych $T_{s1}; \beta_1$; γ krzywą $\frac{T_{s1}}{T_{o1}} = f(\gamma/\gamma_0)$. Wartości η_{v1}/η_{v0} określamy z pomiarów rozchodu powietrza, a wielkości γ/γ_0 dla różnych p_o przy pomocy równania (7) i pomiarów T_p .

Na rys. 4 przedstawiono zależność T_1/T_0 od γ/γ_0 , dla $\gamma_0 = 0,1$. Zmiana γ odbywała się, jak już wspomniano, przy pomocy zmiany p_0 . Wartości wyjściowe dotyczą $p_0 = 1$ ata. Warunki pracy silnika były następujące:

przepustnica całkowicie otwarta,
 $\epsilon = 5,4$,
 p_0 — w zakresie od 0,45 do 2,4 ata,
 Θ — optymalne,
 mieszanka — ekonomiczna ($\alpha > 1$);
 na ssaniu: $T_1 \approx 290$ °K; $p_1 \approx 0,96$ ata.



Rys. 4. Zmiana temperatury mieszanki roboczej na początku sprężania w zależności od zmiany współczynnika resztek spalin.

Na podstawie wykresu — rys. 4 — możemy stwierdzić, że temperatura mieszanki roboczej na początku sprężania T_1 zmienia się w zależności od współczynnika resztek spalin w sposób następujący:

- Wzrost γ w stosunku do γ_0 (tj. gdy $p_0 = 1$ ata) wywołuje wzrost T_1 , który jest większy dla dużych γ niż dla małych. Zwiększenie γ/γ_0 do 2,0 (na skutek zmiany p_0 od 1 ata do 2,4 ata), które było związane ze zmniejszeniem napełnienia cylindra świeżą mieszanką o 22%, zwiększyło T_1 o 10% (dla podanych warunków pracy silnika).
- Zmniejszenie γ w stosunku do γ_0 wywołuje bardzo nieznaczne zmiany T_1 . W zakresie spadku γ/γ_0 od 1,0 do $\approx 0,5$ (tj. gdy p_0 zmniejsza się od 1,0 do 0,45 ata), który był związany ze wzrostem napełnienia o 6,5%, wartość $T_1 \approx \text{const}$.

Przebieg $T_1/T_0 = f(\gamma/\gamma_0)$ pozwala więc uważać poprawę jakości spalania za możliwą, zarówno przy zwiększeniu współczynnika resztek spalin, jak i jego zmniejszeniu w stosunku do normalnej wielkości (tj. 1a). Uzyskanie tej poprawy, jak i jej wielkości, zależy również od wpływu pozostałych czynników związanych ze zmianą γ , do których należy zaliczyć zawartość gazów obojętnych w spalinach oraz pewnej ilości węglowodorów (np. $\alpha = 0,5$, wartości γ — γ_0 — γ_{maks} , ω — ω_0 i α — α_0).

5. Trwanie spalania i jego wielkość jednostkowa

Na rys. 5 pokazano zależność trwania spalania i poszczególnych jego faz (w stopniach obrotu wału korbowego) oraz jednostkowego trwania widocznego spalania (obr. w. k./mg paliwa/obieg) od ciśnienia na wyciechu p_0 (ata). Na rysunku tym pokazano również zależność współczynnika resz-

tek spalin γ od p_0 i dzięki temu mamy zarazem zależności wymienionych wielkości od γ . Krzywa Θ pokazuje stosowane wielkości optymalnych kątów wyprzedzenia zapłonu.

Warunki pracy silnika były następujące:
 Przepustnica (na ssaniu) była całkowicie otwarta, $\epsilon = 4,0$; $\alpha \approx 0,85$,
 Θ — optymalne; $p_1 \approx 0,96$ ata; $T_1 \approx 290$ °K.

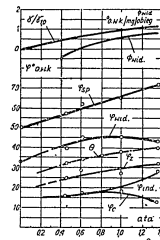
Punkty wykresów odpowiadające $p_0 = 0$ otrzymano opisaną już metodą krótkotrwałego wylączenia zapłonu.

Otrzymane wyniki (dla podanych warunków pracy silnika) pokazują co następuje:

- Wzrost p_0 wywołuje prawie prostoliniowy wzrost całkowitego spalania $\phi_{\text{całk}}$, co pokrywa się z danymi Boucharda (rys. 2).
- Zarówno wzrost jak i zmniejszenie p_0 (a więc i γ) w stosunku do $p_0 \approx 1,0$ ata wywołuje zmniejszenie trwania widocznego spalania ϕ_{wid} .
- Jednostkowe trwanie widocznego spalania $\phi_{\text{wid}}^{\text{jed}}$ rośnie w miarę wzrostu p_0 , z tym, że wzrost ten dla małych p_0 jest większy niż dla dużych p_0 .
- Trwanie induktywnego spalania ϕ_{ind} rośnie pod wpływem wzrostu p_0 , z tym, że dla małych p_0 wzrost ten jest nieznaczny.

Wymienione zależności dotyczą pracy ze stopniem sprężania $\epsilon = 4,0$, który nie wymagał gaszenia detonacji.

W przypadku $\epsilon = 5,4$ stosowano gaszenie pojawiającej się detonacji zmniejszeniem Θ . Wtedy to, dla tych samych pozostałych warunków pracy silnika (przepustnica na ssaniu całkowicie otwarta; $\alpha \approx 0,85$; $p_1 \approx 0,96$ ata; $T_1 \approx 290$ °K), otrzymano zależności pokazane na rys. 6.



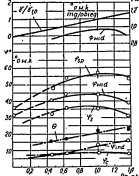
Rys. 5. Wpływ ciśnienia na wyciechu na trwanie spalania. Przepustnica na ssaniu całkowicie otwarta; $\epsilon = 4,0$; $\alpha \approx 0,85$; Θ — optymalne; $p_1 \approx 0,96$ ata; $T_1 \approx 290$ °K.

Porównanie wyników pracy (rys. 5 i rys. 6) pokazuje, że w przypadku $\epsilon = 5,4$ krzywa ϕ_{wid} jest bardziej wypukła niż przy $\epsilon = 4,0$ z tym, że charakter krzywych jest ten sam. Jednostkowe trwanie widocznego spalania

Φ_{wid} dla $\epsilon = 5,4$ zmniejsza się zarówno przy wzroście p_0 (i zarazem γ) jak i spadku p_0 w stosunku do $p_0 \approx 1,0$ ata.

Wykresy rys. 5 i 6 dotyczą pracy silnika na α maksymalnej mocy (w przybliżeniu). Dla składu mieszanki odpowiadającego minimum jednostkowego zużycia paliwa (α zmienne oraz > 1), otrzymujemy zależności pokazane na rys. 7. Pozostałe warunki pracy silnika, jak dla zależności podanych na rys. 6 (tj. $\epsilon = 5,4$ itd.).

Porównując wykresy rys. 6 i 7 możemy stwierdzić, że dla $p_0 > 1$ ata krzywa Φ_{wid} jest bardziej stroma dla bogatych mieszanek (linia kreskowana na rys. 7 przeniesiona z rys. 6) niż dla ubogich. Dla $p_0 < 1$, na odwrót: dla bogatych mieszanek krzywa Φ_{wid} jest mniej stroma niż dla ubo-



Rys. 6. Wpływ ciśnienia na wydechu na trwałość spalania. Przepustnica na ssaniu całkowicie otwarta, $\epsilon = 5,4$; $\alpha \approx 0,85$; O — optymalne; $p_0 \approx 0,96$ ata, $T_k \approx 290^\circ K$.

gich. To samo dotyczy również jednostkowego trwania widocznego spalania Φ_{wid} . Wyniki te można więc uważać za eksperymentalne potwierdzenie słuszności wspomnianej już hipotezy Sokolika, dotyczącej dodatniego wpływu aktywnych połączeń, zawartych w resztkach spalin, na proces spalania.

Wykresy 5, 6 i 7 to zarazem doświadczalny dowód słuszności naszego twierdzenia, że zwiększenie współczynnika resztek spalin zmniejsza trwałość widocznego spalania Φ_{wid} (dla $\gamma > \gamma_{1,0}$).

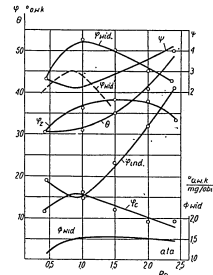
Dotyczy to oczywiście zwiększenia zawartości gorących spalin w mieszance roboczej. Odnosnie zaś dodatku chłodnych spalin do mieszanki roboczej, skutek może być wręcz odmienny. Ciekawym, na przykład, wprowadził do cylindra (przez gaźnik) osłodzone spaliny i otrzymał zmniejszenie szybkości spalania [9], podobnie jak to otrzymał Bugrow w bombie [1]. Wprowadzenie natomiast do cylindra gorących spalin powinno dać zwiększenie szybkości spalania, jak to otrzymaliśmy w naszych doświadczeniach, zatrzymując gorące spaliny w cylindrze drogą dławienia wydechu. Decyduje więc temperatura spalin.

Zmniejszenie trwania widocznego spalania Φ_{wid} i jednostkowej jego wartości Φ_{wid} (rys. 5, 6 i 7) pod wpływem zmniejszenia γ w stosunku do normalnej jego wartości (dla $p_0 < 1$ ata) można wyznaczyć bardzo nieznacznie odświeżeniem czynnika temperatury (rys. 4). Decyduje wtedy, widocznie, zmniejszenie ilości gazów obojętnych w mieszance roboczej.

Ważne jest, szczególnie odnośnie praktycznego wykorzystania właściwości spalin, porównanie rezultatów, otrzymanych przy zwiększeniu ci-

śnienia na wydechu p_0 i całkowicie otwartej przepustnicy na ssaniu z odpowiednim ciśnieniem ssania (regulowanie mocy) przy stałym atmosferycznym ciśnieniu na wydechu. W tym celu wykresiono krzywe doświadczalne pokazane na rys. 8. Silnik pracował na $\epsilon = 5,4$; na ekonomicznym składzie mieszanki palnej, optymalnych Φ , $p_0 \approx 0,96$ ata, $T_k \approx 290^\circ K$.

Krzywe rys. 8 pokazano w zależności od rozchodu paliwa przypadającego na 1 obieg w mg/obieg, tj. w zależności od obciążenia. Wielkości ze znakiem „1” (linie pełne) odnoszą się do pracy ze zmieniającym się p_0 i całkowicie otwartą przepustnicą, zaś ze znakiem „2” (linie kreskowane) — pracy ze stałym atmosferycznym ciśnieniem na wydechu i przy zmieniającym się otwarciu przepustnicy. W wyrażeniach γ_1/γ_0 i γ_2/γ_0 , wielkość γ_0 dotyczy pracy bez dławienia ssania i $p_0 \approx 1$ ata.



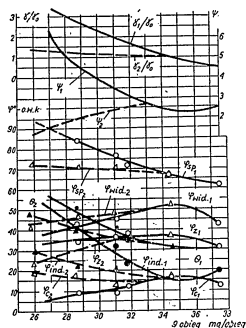
Rys. 7. Wykresy trwania spalania oraz Ψ w zależności od ciśnienia na wydechu p_0 . Silnik pracował na $\epsilon = 5,4$; przepustnica była całkowicie otwarta; O — optymalne, $p_0 \approx 0,96$ ata; $T_k \approx 290^\circ K$. Linie pełne dotyczą pracy na ekonomicznych α , zaś linia kreskowana — pracy na $\alpha \approx 0,85$.

Na rys. 9 przedstawiono krzywe jednostkowego trwania widocznego spalania Φ_{wid} i Φ_{wid} , w zależności od g_{obieg} (mg/obieg). Warunki pracy silnika i oznaczenia takie, jak na rys. 8.

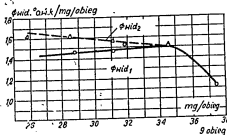
Na podstawie rys. 8 i 9 możemy stwierdzić, że przebiegi linii trwania widocznego spalania i jego jednostkowej wielkości przy regulowaniu mocy zmianą zawartości gorących spalin w mieszance roboczej, bez dławienia ssania, są korzystniejsze niż przy normalnym regulowaniu mocy przy-
mykaniem przepustnicy na ssaniu.

Dla poszczególnych g_{obieg} (mg/obieg) wartości $\Phi_{wid1} < \Phi_{wid2}$ oraz $\Phi_{wid} < \Phi_{wid}$, jednak na dużych obciążeniach różnice między Φ_{wid1} i Φ_{wid2} oraz między Φ_{wid} i Φ_{wid} są stosunkowo nieznaczne.

Należy zaznaczyć, że przy regulowaniu mocy przemykaniem przepustnicy na ssaniu, wstępnie zmniejszenie ciśnienie w cylindrze na początku suwu sprężania p_s . O wpływie jednak p_s na szybkość spalania trudno sądzić na podstawie doświadczeń w bombie, które przeprowadził Neiman [1], czy Fening [5], a odpowiednich badań w silniku nie spotykamy w literaturze.



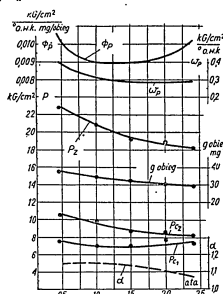
Rys. 8. Przebieg trwania spalania i poszczególnych jego faz, oraz zmiany względnej wielkości resztek spalin (γ_{sp}) i Ψ w zależności od zużycia paliwa przypadającego na 1 obieg (g_{obieg}) przy zmieniającym się p_s bez dławienia ssania (linie pełne i oznaczenia ze znakiem "1") i przy stałym $p_s \approx 1$ ata z przemykaniem przepustnicy ssania (linie kreskowane i oznaczenia ze znakiem "2"). Silnik pracował na $\epsilon = 5,4$; Θ — optymalne, α — ekonomiczne, $p_k \approx 0,96$ ata; $T_k \approx 290^\circ K$.



Rys. 9. Przebieg jednostkowego trwania widocznego spalania przy regulowaniu obciążenia zmianą p_s (krzywa Φ_{wid}), i przemykaniem przepustnicy (Φ_{wid}) w zależności od zużycia paliwa przypadającego na 1 obieg (g_{obieg}). $\epsilon = 5,4$; Θ — optymalne; α — ekonomiczne; $p_k \approx 0,96$ ata; $T_k \approx 290^\circ K$.

6. Ciśnienie spalania i szybkość wzrostu ciśnienia

Na rys. 10 pokazano zmiany ciśnienia na początku widocznego spalania (p_s), w GMP (p_c) i maksymalnego ciśnienia obiegów (p_e) oraz średnią szybkość wzrostu ciśnienia (w_p) i jego jednostkową wartość (Φ_p) w zależności od ciśnienia na wydechu p_0 . Na rysunku tym pokazano również, jak zmieniła się przy tym wielkość zużycia paliwa przypadająca na 1 obieg (g_{obieg}) oraz wielkość ekonomicznych α . Silnik pracował na $\epsilon = 5,4$, Θ — optymalne; $p_k \approx 0,96$ ata; $T_k \approx 290^\circ K$.



Rys. 10. Zależności ciśnień linii spalania (p_s , p_c , p_e), szybkości wzrostu ciśnienia (w_p) i jego wielkości jednostkowej (Φ_p) w zależności od p_0 . Silnik pracował na $\epsilon = 5,4$, Θ — optymalne, α — ekonomiczne (linia kreskowana), $p_k \approx 0,96$ ata, $T_k \approx 290^\circ K$.

Na rys. 11 przedstawiono zależności p_s , w_p , Φ_p od p_0 w czasie pracy silnika na $\alpha \approx 0,85$. Pozostałe warunki pracy takie, jak rys. 10.

Wykresy na rys. 10 i 11 pokazują nam, że zmiana maksymalnego ciśnienia obiegów p_e w zależności od ciśnienia na wydechu p_0 , i zarazem od zawartości gorących spalin, w mieszance roboczej jest następująca:

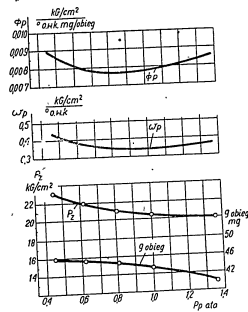
W miarę wzrostu p_0 następuje zmniejszenie p_s , jednak dla małych wartości p_0 krzywa p_s jest bardziej stroma niż dla dużych p_0 .

Charakter krzywej $p_s = f(p_0)$ można wyjaśnić zmianą $g_{obieg} = f(p_0)$ i zmianą $\Phi_{wid} = f(p)$. Rozchód paliwa, przypadający na 1 obieg, zmniejsza się w przybliżeniu prostolinijnie (rys. 10) pod wpływem wzrostu p_0 (zmniejszenie napężenia cylindra świeżą mieszanką), zaś Φ_{wid} w miarę wzrostu p_0 rośnie jedynie dla wartości $p_0 < 1$ ata (rys. 6 i 7), zaś dla $p_0 > 1$ ata występuje pewien spadek Φ_{wid} .

Z tego powodu spadek p_s , pod wpływem zmniejszenia rozchodu paliwa g_{obieg} jest przyspieszony przy małych p_0 (tj. < 1 ata), zaś przy dużych p_0 ($p_0 > 1$ ata) spadek p_s ulega częściowemu powstrzymaniu (przyhamowaniu).

Na przebieg p_e w zależności od p_e wpływa również zmiana Ψ (rys. 7). Wzrost wartości Ψ obniża p_e , tj. w przypadku zmniejszenia Ψ otrzymamy byśmy dla małych p_e większe wartości p_e .

Charakter zmiany p_e i p_e (rys. 10) oraz $\Phi_{w, id}$ i $\Phi_{s, id}$ (rys. 6, 7) wywołuje odpowiednie zmiany średniej szybkości wzrostu ciśnienia w_p i jego jednostkowej wartości Φ_p .



Rys. 11. Zależności p_e , w_p , Φ_p od p_e . Silnik pracował na $\epsilon = 5,4$, $\alpha \infty 0,85$, Θ — optymalne, $p_k \infty 0,96$ ata, $T_k \infty 2900$ K.

W miarę wzrostu p_e od 0,45 ata do 2,4 ata obserwujemy (rys. 10) początkowo dość znaczne zmniejszenie w_p i Φ_p , które ulega powstrzymaniu dla dużych p_e , kiedy dalszy wzrost p_e nie obniża już w_p , zaś Φ_p — rośnie. Ten wzrost Φ_p , który oznacza, że każdy mg spalonego w czasie 1 obrotu paliwa daje większy średni wzrost ciśnienia przypadający na 1° obrotu wału korbowego, jest niezmiennej dużej wagi. Wynika bowiem z tego wzrostu Φ_p , że proces spalania jest korzystniejszy tj., że jakość spalania jest lepsza.

Analogiczny przebieg w_p i Φ_p w zależności od p_e obserwujemy na rys. 11. Zakres p_e jest tu mniejszy, gdyż dla $\alpha \infty 0,85$ praca na dużych p_e (i zarazem γ) jest mniej istotna.

Ważne jest porównanie przebiegu Φ_p w zależności od obciążenia (g_{obieg}) przy zmieniającej się zawartości gorących spalin w mieszance roboczej ($p_e = var$) i całkowicie otwartej przepustnicy ssania, tj. Φ_p , z odpowiednim przebiegiem Φ_p , tj. otrzymanym przy ciśnieniu ssania i atmosferycznym stałym ciśnieniu na wydechu. Krzywe Φ_p i Φ_p w zależności od g_{obieg} przedstawiono na rys. 12.

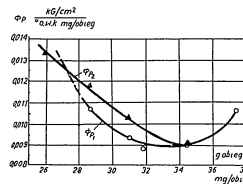
Warunki pracy silnika były następujące:
 $\epsilon = 5,4$; α — ekonomiczne; Θ — optymalne; $p_k \infty 0,96$ ata; $T_k \infty 2900$ K.

Porównanie krzywych Φ_p z Φ_p pokazuje nam, że na dużych obciążeniach (w danych warunkach dla $g_{obieg} > 28$ mg/obieg), gdy silnik pracuje na stopniu sprężania bliskim optymalnego (dla danego paliwa), wielkości $\Phi_p < \Phi_p$. Charakter krzywych pokazuje jednak, że na średnich i małych obciążeniach możemy otrzymać: $\Phi_p > \Phi_p$, tj. lepsze spalania przy ciśnieniu wydechu, niż przy odpowiednim pod względem obciążenia ciśnieniu ssania.

Podany wpływ wielkości obciążenia można wyjaśnić stosowanym gazowaniem detonacji na dużych obciążeniach. Dla danego g_{obieg} wartość współczynnika resztek spalin γ jest większa w przypadku ciśnienia wydechu niż w przypadku ciśnienia ssania (rys. 8 — krzywe γ_1/γ_0 i γ_2/γ_0).

Większe γ pociąga za sobą i większą temperaturę mieszanki roboczej T_{12} , a więc potrzebę silniejszego gaszenia detonacji na dużych obciążeniach, która wyraża się znacznym wzrostem Ψ , w stosunku do Ψ_2 (rys. 8).

Na średnich i małych obciążeniach gaszenie detonacji staje się niepotrzebne. Wtedy większe γ , dla danego g_{obieg} , jest korzystniejsze i dlatego Φ_p może być mniejsze niż Φ_p , tj. efekt spalania może być większy, gdy wartość γ jest większa.



Rys. 12. Zależności Φ_p i Φ_p od g_{obieg} . Silnik pracował na $\epsilon = 5,4$; α — ekonomiczne; Θ — optymalne; $p_k \infty 0,96$ ata; $T_k \infty 2900$ K.

7. Temperatura gazów w cylindrze w końcu rozprężenia T_b

Omawiając wskaźniki jakości spalania, wyprowadziliśmy wzór (5), który można też przedstawić w postaci

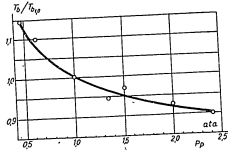
$$\frac{T_b}{T_{b, \infty}} = \frac{p_b}{p_{b, \infty}} \cdot \frac{\eta_{12}}{\eta_v} \cdot \frac{\beta_0 + \gamma_{12}}{\beta_0 + \gamma}$$

w której wielkości ze znakiem „1,0” dotyczą pracy silnika przy $p_e = 1,0$ ata, zaś wielkości bez znaków cyfrowych — pracy przy danych p_e . Przyjmujemy, że przepustnica (na ssaniu) jest całkowicie otwarta. Obroty wału korbowego są stałe ($n = 1200$ obr./min.). Dla $\alpha \infty 1$, wartości $\beta_0 = 1,05$.

Na podstawie wykresów indykatorowych określamy $p_b/p_{b, 1,0}$ a z rozochodu powietrza $\beta_0/\beta_{1,0}$

W niżej umieszczonej tabelicy podano otrzymane w ten sposób wartości dla następujących warunków pracy silnika:
 $\epsilon = 5,4$; α — ekonomiczne; Θ — optymalne; $p_b \approx 0,96$ ata; $T_1 \approx 290^\circ$ K.
 Wartość $\eta_{1,0}$ jak już była przepustnica (na ssaniu) całkowicie otwarta. Wartość $T_2/T_{b,0}$ o tym poprzednio mowa, przyjęto równą 0,1. Otrzymane wartości $T_2/T_{b,0}$ w zależności od p_b przedstawiono na wykresie rys. 13.
 Wykres podany na rys. 13 pokazuje nam, że zwiększenie p_b i zarazem zawartości gorących spalin w mieszance roboczej obniża temperaturę gazów w cylindrze w końcu rozprężenia T_b .

p_b ata	0,45	0,61	1	1,36	1,5	2,0	2,4
$\eta_{1,0}$	0,5	0,69	1	1,4	1,55	2,2	2,8
$\frac{p_0 + T_{1,0}}{p_0 + \bar{T}}$	1,045	1,015	1	0,965	0,953	0,905	0,863
$p_b/p_{b,0}$	1,17	1,125	1	0,935	0,945	0,88	0,8
$\eta_v/\eta_{v,0}$	1,65	1,047	1	0,954	0,93	0,86	0,78
$T_2/T_{b,0}$	1,145	1,1	1	0,945	0,97	0,925	0,9



Rys. 13. Zależność względnej zmiany temperatury spalin w cylindrze w końcu rozprężenia ($T_2/T_{b,0}$) od ciśnienia na wydechu p_b . Silnik pracował przy całkowicie otwartej przepustnicy (ssania), $\epsilon = 5,4$; α — ekonomiczne; Θ — optymalne; $p_b \approx 0,96$ ata; $T_1 \approx 290^\circ$ K.

Może to świadczyć o korzystniejszym spalaniu i o zmniejszonym dopalaniu na linii rozprężenia tym bardziej, że temperatura gazów na początku sprężania jest przy tym wyższa. Należy jednak zaznaczyć, że wzrost p_b to zarazem mniejsze napełnienie cylindra świeżą mieszanką, czyli i zmniejszona ilość paliwa, która bezspornie wywiera swój wpływ na omawiane zjawisko.

8. Nierówność kolejnych obiegów

Zwiększenie ciśnienia na wydechu p_b wywoływało w naszych badaniach znaczny wzrost stopnia nierówności kolejnych obiegów Δ_0 %. W czasie pracy silnika na całkowicie otwartej przepustnicy ssania oraz $\epsilon = 5,4$; ekonomicznych α ; optymalnych Θ ; $p_b \approx 0,96$ ata i $T_1 \approx 290^\circ$ K, otrzymano przy przejściu od $p_b = 1$ ata do $p_b = 2,4$ ata, wzrost Δ_0 od 13 % do 33 %.

Przy odpowiednim pod względem obciążenia (g_{obieg}) dławieniu ssania i stałym ciśnieniu na wydechu $p_b \approx$ ata, wielkości Δ_0 % były w przybliżeniu jednakowe (w podanym zakresie). Na rys. 14 podano wykresy Δ_0 % w zależności od g_{obieg} dla pracy silnika w podanych warunkach, z tym, że krzywa Δ_0 dotyczy pracy z dławieniem wydechu, a $\Delta_{0,1}$ — z dławieniem ssania.

Zmniejszenie ciśnienia na wydechu od $p_b = 1$ ata do $p_b = 0,45$ ata nie dawało spodziewanego zmniejszenia $\Delta_{0,1}$ (rys. 14 — prawa część krzywej dla $g_{obieg} > 34,5$ mg/obieg), a nawet stwierdzono pewien wzrost $\Delta_{0,1}$. Możliwe, że wpływa na to wytwarzanie się tzw. błony paliwowej na ściankach rury ssanej. Błona ta, jak wiadomo, zwiększa się w miarę wzrostu obciążenia i powoduje mniej jednolity skład mieszanki (objętościowy i między-obiegowy).

Wymienionego wzrostu Δ_0 % pod wpływem zmniejszenia p_b (dla $p_b < 1$ ata) nie stwierdzono w przypadku pracy na $\alpha \approx 0,85$. Widocznie niejednorodność składu mieszanki mniej wpływa na Δ_0 % przy bogatych mieszankach niż przy biednych.

Na wielkość Δ_0 % wpływa zapewne w większym stopniu ujemny czynnik zawartości gazów obojętnych w mieszance i związanej z nią niejednorodności składu mieszanki (objętościowej i międzyobiegowej) niż dodatni czynnik podwyższenia temperatury mieszanki pod wpływem wzrostu p_b i zawartości aktywnych połączeń w spalinach. Wpływ tego ostatniego czynnika potwierdzają dane naszych badań na $\alpha \approx 0,85$. Otrzymano wtedy bardziej łagodny wzrost Δ_0 pod wpływem wzrostu p_b ($p_b > 1$ ata), niż w czasie pracy na $\alpha > 1$.

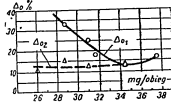
Odnosnie małego wpływu dławienia ssania na Δ_0 , które otrzymano w warunkach podanych na rys. 14 (krzywa $\Delta_{0,1}$), można stwierdzić, że jest on widocznie wywołany gaszeniem detonacji na dużych obciążeniach. W przypadku pracy, na przykład na paliwie z wyższą liczbą oktanową, tj. bez gaszenia detonacji, otrzymalibyśmy na dużych obciążeniach niższe wartości Δ_0 , tj. krzywa Δ_0 wykazywałaby wzrost nierówności obiegów w miarę dławienia ssania. Wyniki takie otrzymali REVO i SARKISJAN [14]. O ich słuszności świadczą również i nasze wyniki otrzymane podczas pracy silnika na $\epsilon = 4,0$.

Analizując zwiększenie się stopnia nierówności kolejnych obiegów pod wpływem zwiększenia p_b (i zarazem η), należy uwzględnić występującą przy tym poprawę innych wskaźników procesu spalania. Jak już zaznaczono, wskaźniki te określono jako średnie z szeregu kolejnych obiegów. Jesliby poszczególne obiegi wykazywały takie wskaźniki, jakie obserwujemy w optymalnych obiegach, wówczas jakość procesu spalania byłaby znacznie wyższa.

Stopień nierówności kolejnych obiegów Δ_0 pokazuje nam więc zarazem rezerwy poprawy spalania, z jakich możnaby korzystać w przypadku zmniejszenia Δ_0 . Rezerwy te, jak widać z rys. 14, są bardzo znaczne.

Zmniejszenie Δ_s można otrzymać, na przykład przy stosowaniu dwóch świec na cylinder, które od dawna znalazło zastosowanie w silnikach lotniczych, jednak dla innych celów.

Badania nad uzyskaniem lepszej sprawności silnika przez stosowanie dwóch świec (np. GENKIN [9]) nie dały większego efektu dlatego, że stosowanie to nie dotyczyło pracy silnika na dużych Δ_s , które występują przy znacznym zwiększeniu γ .

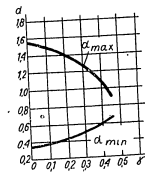


Rys. 14. Zależność Δ_s % od α_{max} przy zmianie p_p i całkowite otwartej przepustnicy na ssaniu (Δ_s) oraz przy dławieniu ssania i stałym ciśnieniu $p_p \approx 1$ ata (Δ_s); silnik pracował na $\epsilon = 5,4$; α — ekonomiczne; \odot — optymalne; $p_k \approx 0,96$ ata; $T_k \approx 290^\circ K$.

9. Zakresy zapalności

Zakres zapalności określają graniczne wartości współczynnika nadmiaru powietrza, tj. α_{min} (górna granica) i α_{max} (dolna granica).

Bugrow [19] badał zależności zakresu zapalności mieszanki benzynowej w bombie od współczynnika resztek spalin γ . Wyniki jego badań pokazano na rys. 15.



Rys. 15. Zakres zapalności mieszanki benzynowej w bombie w zależności od γ według Bugrowa.

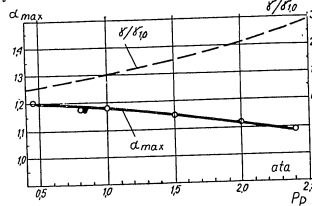
W literaturze spotyka się i inne badania tej zależności, ale również w bombie. Badań zakresu zapalności w silniku, w zależności od γ , nie spotyka się w publikacjach.

W silniku natomiast zależność ta może być inna niż w bombie ze względu na wpływ spalin na temperaturę mieszanki roboczej.

Jak wiadomo (badania Berla i Fischera), temperatura na ssaniu rozszerza zakres zapalności. Ponadto zawrocie mieszanki w silniku zmniejsza niejednorodność składu mieszanki, która dotyczy również i resztek spalin.

W naszych badaniach w silniku określono jedynie α_{max} , która to wielkość jest ważna dla pracy silnika. Wyniki podano na wykresie, rys. 16, w formie zależności α_{max} od p_p . Na rysunku tym przedstawiono również zmianę wielkości względnej $\gamma/\gamma_{1,0}$ od p_p i dzięki temu mamy zarazem i zależność α_{max} od zmiany współczynnika resztek spalin ($\gamma_{1,0}$ — dla pracy przy $p_p = 1,0$ ata). Wykresy na rys. 16 dotyczą pracy silnika na $\epsilon = 5,4$; \odot — optymalne, ssanie bez dławienia (przepustnica całkowicie otwarta); $p_k \approx 0,96$ ata, $T_k \approx 290^\circ K$.

Przebieg krzywej α_{max} na rys. 16 jest, jak to można było przewidzieć, mniej stromy niż podczas pracy w bombie. Oznacza to, że faktycznie wpływ γ na α_{max} jest w silniku mniejszy niż według badań Bugrowa w bombie.



Rys. 16. Zależność α od ciśnienia na wydechu (p_p) i od względnej wielkości resztek spalin ($\gamma/\gamma_{1,0}$) przy całkowicie otwartej przepustnicy (na ssaniu), $\epsilon = 5,4$, \odot — optymalne, $p_k \approx 0,96$ ata, $T_k \approx 290^\circ K$.

Zwiększenie p_p od 0,45 do 2,4 ata, tj. $\gamma/\gamma_{1,0}$ od 0,5 do 2,8 zmniejszyło, w podanych warunkach pracy silnika, wartość α_{max} od 1,2 do $\approx 1,08$, tj. o około 0,12.

W przypadku doprowadzenia do cylindra chłodnych spalin, ich wpływ może być zbliżony do otrzymywanego w bombie (rys. 15). Porównując poszczególne α_{max} przy dławieniu ssania z α_{max} przy odpowiednim, pod względem obciążenia (g_{obiec}), zwiększeniu p_p , możemy stwierdzić na podstawie naszych badań pewną niezmierną różnicę na korzyść dławienia ssania.

Wyraża się ona również wielkościami optymalnych α .

I tak podczas pracy silnika na $\epsilon = 5,4$ przejście od $g_{obiec} = 34,5$ mg/obieg do 28,7 mg/obieg wywołało zmniejszenie α_{opt} od wartości 1,15 do 1,08 przy zwiększeniu p_p , zaś przy dławieniu ssania α_{opt} zmniejszyło się tylko do wartości 1,12.

Różnicę tę można wyjaśnić wpływem stopnia nierówności kolejnych obrotów Δ_s .

10. Granice bezdetonacyjnego spalania

Radziecki badacz Mkrumian [7] wprowadził do cylindra chłodne spaliny do gaszenia detonacji i uzyskiwał dzięki temu możliwość znacznego zwiększenia stopnia sprężania. Badanie to przeprowadził Mkrumian w 1938 r. W r. 1953 analogiczne badania w USA przeprowadził Miller i Suliss (Sincin) [20], dochodząc do takich samych rezultatów. Jednak zarówno Mkrumian, jak też Miller i Suliss nie uwzględniają, że uzyskany przez nich antydetonacyjny efekt wynika głównie z niskiej temperatury wprowadzanych spalin. Gorące natomiast spaliny mogą nie dać takiego efektu.

W naszych badaniach zwiększenie ciśnienia na wydechu p_e pociągało za sobą zwiększenie zawartości gorących spalin w mieszance roboczej. Dla różnych p_e w granicach od 0,45 ata do 1,36 ata doprowadzano stopień sprężania ϵ do maksymalnej wartości przy pracy silnika bez detonacji na dowolnych kątach wyprzedzenia zapłonu θ . Badania prowadzono dla $\alpha = 0,85$, $\alpha = 1,15$ i α największej składowości do detonacji. Przepustnica na ssaniu była całkowicie otwarta, $p_s \approx 0,96$ ata, $T_k \approx 290^\circ$ K.

Wyniki wymienionych naszych badań wykazały nieznaczne różnice ϵ_{max} . Dla $p_e = 1,36$ ata wartość ϵ_{max} była o $\approx 0,15$ większa niż dla $p_e = 0,45$ ata. Podobne wyniki uzyskał Taylor [8] w 1940 r.

Należałoby jednak zaznaczyć, że zwiększenie zawartości spalin w mieszance roboczej pociąga za sobą zmniejszenie ilości świeżej mieszanki, tj. zmniejsza obciążenie ($q_{ob\text{cz}}$), obniżając przez to maksymalną temperaturę obiegu. Z tego powodu, chociaż praktyczne zwiększenie ϵ daje pewien wzrost ϵ_{max} , jednak twierdzenie o antydetonacyjnym wpływie gorących spalin nie może być uważane za uzasadnione.

11. Wnioski ogólne

Przeprowadzone badania wskaźników procesu spalania pozwalają stwierdzić:

- Zarówno zmniejszenie jak i zwiększenie zawartości gorących spalin w mieszance roboczej w stosunku do normalnej ich ilości (tj. występującej przy pracy bez dławienia ssania i w atmosferycznych warunkach na ssaniu i wydechu) daje poprawę jakości spalania.
- Zwiększenie zawartości gorących spalin wymienione w punkcie a wywołuje wzrost stopnia nierówności kolejnych obiegów. Przeciwnie działając temu wzrostowi (np. przez stosowanie dwóch świec), możemy więc uzyskać znacznie większy efekt w poprawie jakości spalania.
- Zwiększenie zawartości gorących spalin w mieszance roboczej może być stosowane dla regulowania obciążenia silnika zamiast stosowanego dławienia ssania przepustnicą. Przebieg spalania będzie wtedy korzystniejszy, zwłaszcza na średnich i małych obciążeniach. Na dużych obciążeniach, przy ϵ bliskich ϵ_{max} (dla danego paliwa), przebieg wykazuje pewne pogorszenie w stosunku do odpowiedniego regulowania mocy przepustnicą na ssaniu.

LITERATURA.

- [1] Sgoranie i detonacja (Zbiór prac pod redakcją Bugrowa, Nejmana i innych).
- [2] C. L. Bouchard, C. F. Taylor, and E. S. Taylor — Variables Affecting Flame Speed in the Otto — Cycle Engine (S.A.E. „J” XI, 1937, Nr 5).

- [3] Czudakow — Puti powyszenia ekonomičnosti karburatornowo awtomobilnogo dwigatela.
- [4] Maslennikow i Rudzik — Wlijanije temperatury i dawlenia postupajuščezewozduchu na rabotu karburatornogo dwigatela.
- [5] Jodge A. B. — Awtomobilnyje i awiacionnyje dwigateli (tłumaczenie).
- [6] Oronowski — Wlijanije ostatocznych gazow na raboczij process karburatornogo dwigatela (Moskwa, 1954 r.).
- [7] Mkrumian — Powyszenie ekonomičnosti karburatornych dwigatellej putiem ispolzowanija swojstw otechodiaszczich gazow.
- [8] Taylor E. S. — Wlijanije sostawa smiesi, temperatury postupajuščezewo wozducha i dawlenia na wupuskie na detonaciju (tłumaczenie).
- [9] Sgoranie w transportnych porznych dwigatelach (red. Czudakow).
- [10] Sotnik, Wojnow, Swiridow — Wlijanije chemiczskich i turbulencnych faktorow na process sgoranija w uslowijach dwigatela (Izwestija A. N. SSSR, OTN 1949 r.).
- [11] Seiling — Issledowanije raboczego processa i tieploteredaci w dwigatelach Dizel.
- [12] Portnow — Raboczij process awiawizela pri nadduwie s ispolzowanijem energii wycoblonych gazow.
- [13] Zalog — Issledowanije raboty bistrochodnych dwigatellej wnutrennego sgoranija indikatorami dawlenia.
- [14] Rewo i Sarkisjan — K woprosu o wlijanii nieidentičnosti cyklow na raboczij process dwigatela.
- [15] Maslennikow i Rapiport — Awiacionnyje porznych dwigateli.
- [16] Lenin I. M. — Raboczije processy i karburacija w awtomobilnych dwigatelach.
- [17] Mielkunow, Dobrynin, Fugaczow, Fiodorow, Majzel — Teoria awiacionnych dwigatellej.
- [18] Pierwod dwigatellej wnutrennego sgoranija na gazobraznoje topliwie (red. Wyrubow).
- [19] Bugrow — Teoria awiacionnogo dwigatela.
- [20] „Erdol und Kohle”, 1954, Nr 1 (tom VII).

Kpt. mgr inż. S. PROBUŁSKI

NIEKTÓRE ZAGADNIENIA DOTYCZĄCE PERSPEKTYW ROZWOJU SILNIKÓW POJAZDÓW MECHANICZNYCH

Wstęp

Zapotrzebowanie na energię całej ludzkości w chwili obecnej jest w 85% pokrywane przez silniki ciepłone. Jeżeli zaś zapotrzebowanie to związane jest z napędem wszelkiego rodzaju pojazdów mechanicznych, to procent energii dostarczonej przez silniki ciepłone osiąga prawie 100%. W najbliższej przyszłości nie należy spodziewać się zastąpienia silnika ciepłonego przez inny silnik. Istnieje wprawdzie możliwość wykorzystania do tego celu energii jądrowej, ale konstrukcja lekkich silników o napędzie atomowym przedstawia jeszcze tak duże trudności, że w bliskiej przyszłości prawdopodobnie nie zostaną osiągnięte pozytywne rezultaty w tym kierunku.

Przezwrot, jaki nastąpił w konstrukcji silników lotniczych w ostatnich dziesiątkach lat, nasuwa pytanie czy w konstrukcji silników pojazdów mechanicznych można spodziewać się podobnych radykalnych zmian. Wprowadzenie silnika odrzutowego w lotnictwie było zmianą jakościową w stosunku do poprzednio stosowanych silników tłokowych. Nowy silnik lepiej mógł sprostać zasadniczemu wymaganiu, jakie mu stawiano w zakresie zwiększenia szybkości lotu. Zmniejszenie ekonomiczności pracy, bardzo znaczne w pierwszym okresie rozwoju silników odrzutowych, nie zmniejszyło zasadniczej ich przewagi w stosunku do silnika tłokowego tj. większej szybkości lotu.

Głównym celem zmian i ulepszeń silnika pojazdu mechanicznego nie jest zwiększenie mocy pozwalającej na wzrost szybkości jazdy, gdyż ta jest ograniczona bezpieczeństwem poruszania się po szosach. Podstawowym celem postępu jest zwiększenie sprawności oraz specjalnie dla silników typu wojskowego zmniejszenie ciężaru i wymiarów. Zadanie to jest trudne do zrealizowania i nie należy się spodziewać dużych zmian, chociaż pewien postęp ilościowy jest możliwy nawet w najbliższej przyszłości.

Zmiany jakościowe również nie są wykluczone. Wyraźnie od paru lat zarysowuje się możliwość zastąpienia silnika tłokowego przez silnik typu wirnikowego np. turbiny gazowej. Zmiana ta jednak nie spowoduje jakichś zasadniczych konsekwencji i chociaż przewaga silnika wirnikowego nad tłokowym z punktu widzenia celowości konstrukcji jest bezsporna, to jednak wprowadzenie go napotyka na ogromne trudności spowodowane przede wszystkim zbyt małymi korzyściami, jakie zapewnia on, zwłaszcza w pierwszym okresie zastosowania go.

Wydaje się być rzeczą prawdopodobną, że w krajach kapitalistycznych produkcji samochodów rozryśnienie hamują rozwój pojazdów zapotrzebowanych w turbiny gazowej, gdyż to koliduje z ich interesami.

W ustroju socjalistycznym istnieją możliwości szybszego rozwiązania tego problemu, jak to wskazują prace prowadzone w Związku Radzieckim.

W latach 1950—52 prowadzona była w Związku Radzieckim szeroka dyskusja dotycząca perspektyw budowy nowych silników pojazdów mechanicznych.

Można tu przytoczyć prace Chanina prowadzone w N.A.M.I. oraz wypowiedzi takich uczonych jak Czystozwonow, Briling czy Kalisz. Zainteresowany czytelnik znajdzie część tych materiałów w czasopiśmie „Automobilnaja i traktornaja promyslenost” z lat 1951—1953. Prawdziwie istotną zmianę jakościową silnika pojazdu mechanicznego może tylko spowodować wprowadzenie silnika o napędzie atomowym, stanowi to jednak osobne zagadnienie.

Postęp w konstrukcji silników pojazdów mechanicznych odbywa się w sposób bezwzględnie ciągły, ale znacznie mniej intensywny aniżeli w innych dziedzinach. Silnik lotniczy wyrosł z silnika samochodowego i bardzo szybko wypierzeł swój pierwowzór, który wypełniając stawiane mu wymagania jako silnikowi trakcyjnemu rozwijał się równoległe do ogólnego postępu. Natomiast silnik lotniczy nigdy nie mogący sprostać coraz to bardziej rosnącym wymaganiom, zwłaszcza w lotnictwie wojskowym, robił gwałtowne postępy, zarówno co do wzrostu mocy, jak i doskonałości konstrukcji i technologii produkcji. Wspaniały postęp w rozwoju silnika lotniczego był możliwy dzięki wysiłkom dużego zespołu pracowników technicznych rozmaitego rodzaju i ogromnym wydatkom środków materialnych. Gdyby np. prace dotyczące możliwości zastosowania silnika odrzutowego były prowadzone w podobny sposób, jak obecnie w szeregu krajów prowadzi się eksperymenty związane z zastosowaniem turbiny gazowej do napędu pojazdów mechanicznych, to prawdopodobnie dopiero następane pokolenie doczekałoby się samolotów z silnikami odrzutowymi.

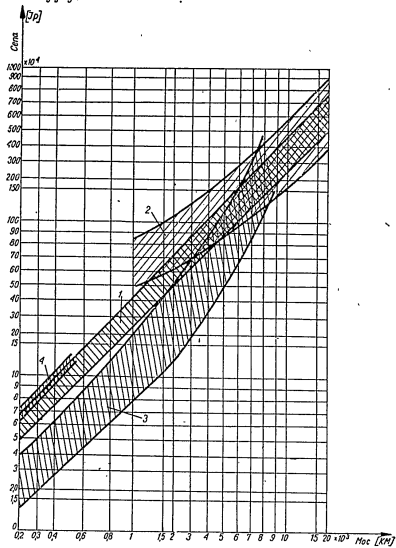
Mniejsze zapotrzebowanie w stosunku do silników pojazdów mechanicznych jest przyczyną stosunkowo wolnego ich rozwoju. Spełniały i spełniają one swoje zadanie a udoskonalenie ich wymaga bardzo dużego nakładu pracy i środków. Rezultaty zaś mogą być widoczne dopiero po dość długim okresie czasu. Wszelkie nowatorstwo, które nie daje szybkich efektów zwykle bywa bardzo trudne zwłaszcza, gdy jest do tego jeszcze bardzo kosztowne. Tyłko ustrój socjalistyczny może zapewnić długofalową racjonalną pracę w tym kierunku.

Omawiając w dalszym ciągu drogi prowadzące do zwiększenia sprawności silników trakcyjnych, jako zasadniczego postulatu, podzielimy to zagadnienie na dwie części. Osobno rozpatrzmy zagadnienie zmian konstrukcyjnych i zasad pracy silników tłokowych, a oddzielnie możliwość zastąpienia ich innym typem silnika ciepłonego. Zajmiemy się zagadnieniami związanymi ze sprawnością i z rozwiązaniami konstrukcyjnymi. Ocena zalet i przewagi jaką posiadają silniki wirnikowe stanowi bardzo interesujący problem zwłaszcza, gdy rozpatruje się to zagadnienie z uwzględnieniem pewnego postępu w przyszłości.

Przed przystąpieniem do szczegółowego rozpatrzenia szeregu możliwości zmian konstrukcyjnych, postaramy się w dużym skrócie podać niektóre dane dotyczące tych silników ciepłonych, które ewentualnie wchodzi w rachubę jako silniki nadające się do napędu pojazdów mechanicznych. Są to: silniki spalinowe tłokowe — nisko i wysokoprężne, turbiny gazowe i parowe oraz silniki parowe tłokowe. Przytoczone poniżej dane są oparte o osiągnięcia tych silników uzyskane w roku 1954.

Jako pierwsze kryterium porównawcze rozpatrzmy cenę silnika w funkcji rozwijanej przez niego mocy. Cena podana jest (z. p.) w jednostkach pieniężnych „Deutsche Mark”, natomiast moc w KM. 10⁵.

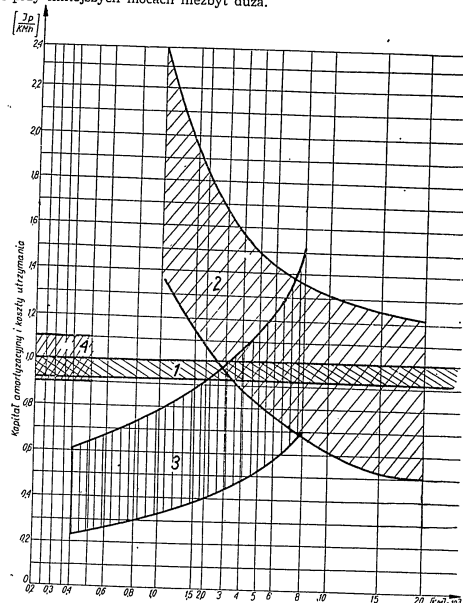
Wykres przedstawiony na rys. 1 sporządzony jest w układzie logarytmicznym. Ceny silników począwszy od około 3 tysięcy KM, są bardzo do siebie zbliżone, niezależnie od tego jaki to jest silnik. Dla napędu pojazdów mechanicznych interesujące są silniki o mniejszych mocach. W tym obszarze bezwzględna przewagę mają silniki tłokowe, należy jednak zwrócić uwagę na pewien bardzo istotny fakt w tym wypadku. Silniki wysokoprężne budowane są w oparciu o co najmniej 50-letnie doświadczenie w sposób seryjny.



Rys. 1. Zależność ceny silnika od mocy efektywnej

Natomiast turbiny małej mocy są to przeważnie prototypy, konstruowane z bardzo szczupłym zapasem doświadczenia. Jak wielkie postępy są możliwe w kierunku zwiększenia sprawności silników turbinowych niech świadczy przykład silnika odrzutowego, który w swym rozwoju liczącym około 10 lat zmniejszył jednostkowe zużycie paliwa prawie o połowę.

Duża rozpiętość cen silników wysokoprężnych spowodowana jest różnicami ilości obrotów, jednostkowego ciężaru oraz sprawności. Silniki pojazdów mechanicznych będą należały do droższych i różnica między nimi a turbinami gazowymi, najpoważniejszymi ich konkurentami jest również i przy mniejszych mocach niezbyt duża.

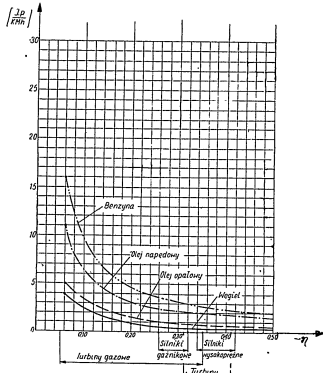


Rys. 2. Zależność kosztów eksploatacji i amortyzacji od mocy silnika

Następnie rozpatrzmy dla tych samych silników koszty ruchu wraz z amortyzacją wynoszącą średnio 18%. Zakładając, że stopień wykorzystania wynosi około 69%, czyli rocznie silnik eksploatowany jest przez 6000 godzin, otrzymamy wykres przedstawiony na rys. 2, który podaje zależność tych kosztów od mocy silnika.

Pod tym względem silniki spalinowe tłokowe mają dużą przewagę nad pozostałymi zwłaszcza przy małych mocach.

Interesującym jest również porównanie cen paliwa stosowanego w różnych typach silników. Wykres na rys. 3 podaje cenę paliwa w jednostkach pieniężnych na konia mechanicznego i godzinę w zależności od sprawności silnika. Obecnie silniki wysokoprężne i turbiny gazowe pracują na podobnych paliwach. W przyszłości można będzie zastosować w turbinach jako paliwo olej opałowy. Prace związane z realizacją tego problemu są w chwili obecnej w pełnym toku.



Rys. 3. Zależność ceny paliwa na konia mechanicznego i godzinę od sprawności silnika

Istnieją wprawdzie poważne trudności związane z działaniem korozyjnym na łopatkę turbin zanieczyszczeń znajdujących się w takim paliwie. Trudności te ostatnio wynikały przy eksploatacji ciepłowodów o napędzie turbinowym. Należy jednak spodziewać się, że systematyczne badania i zastosowanie odpowiednich inhibitorów pozwolą na opanowanie tego szkodliwego zjawiska. Sprawa godna jest opracowania, gdyż zastąpienie oleju napędowego przez olej opałowy daje duże oszczędności, jak to nie trudno zauważyć z wykresu na rys. 3.

Dalszym poważnym krokiem będzie niewątpliwie przejście w turbinach z paliwa ciekłego na paliwo stałe (pył węglowy). Zagadnienie to jakkol-

wiek opracowywane jest już od dosyć dawna, to jednak nie zostało do chwili obecnej rozwiązane i wbrew wielkiemu optymizmowi z jakim o tych pracach badawczych do niedawna pisano, można dzisiaj stwierdzić, że w praktyce powstają coraz to nowe trudności, o których początkowo w ogóle nie myślano. Produkcja pyłu węglowego w urządzeniach ruchomych oraz spalanie go nie przedstawia obecnie większych trudności, natomiast odopalenie spalin dostatecznie dokładne, to znaczy w takim stopniu by nie zawierały one pyłków o większej średnicy aniżeli 20μ nie jest dostatecznie dobrze rozwiązane, wbrew wielu zapewnieniom różnych wytwórni tego rodzaju urządzeń. W przyszłości należy się spodziewać rozwiązania tego problemu, nie mniej wydaje się to być jeszcze sprawą dosyć odległą.

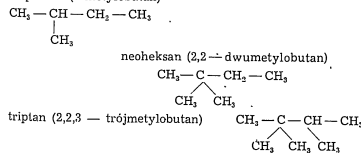
Silniki spalinowe tłokowe

A. Właściwości fizyko-chemiczne paliw silnikowych i ich ocena

Analizując postęp, jaki jest możliwy w budowie silników niskoprężnych, trudno nie zauważyć oddziaływania silników lotniczych, które wyprzedzając silniki pojazdów mechanicznych uitorowały im drogę w wielu wypadkach. Ostatnio zaczyna to być coraz wyraźniejsze, a zwłaszcza dotyczy to zastosowania paliw wysokooktanowych, wtrysku paliwa lekkiego i dola-dowania. Oczywiście wymagania stawiane tym dwu typom silników są różne i nie można mówić tu o jakiejś mechanicznej analogii, niewątpliwie jednak osiągnięcia silników lotniczych w wielu wypadkach ułatwiają postęp silnika pojazdu mechanicznego.

Wzrost sprawności silników pojazdów mechanicznych niskoprężnych w okresie ostatnich kilkudziesięciu lat wyraził się przede wszystkim zwiększeniem stopnia sprężenia z $\epsilon = 5$ do ϵ przewyższającego 7, oczywiście chodzi tu o wartości średnie. Zmiana stopnia sprężenia została umożliwiona z jednej strony przez udoskonalenie samej konstrukcji silnika, z drugiej zaś przez podwyższenie liczby oktanowej paliwa. Dalszy wzrost ϵ do 10 a nawet 12 nie przedstawia specjalnych trudności; tego rzędu stopnie sprężenia stosowane w lotnictwie wymagają tylko odpowiedniego paliwa, którego cena decyduje o tym, że nie jest ono powszechnie stosowane.

Paliwa wysokooktanowe o charakterze czystych węglowodorów wykazywały niewystarczalność metod oceny odporności na detonację przy pomocy silników wzorcowych. Z ciekawszych paliw tego typu można wymienić:



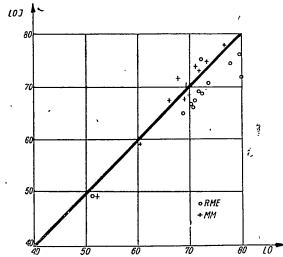
Własności tych paliw podane są w tabeli nr 1.

Tabela 1

	Izopentan	neoheksan	triptan
Ciepota właściwa (15°C)	0,622	0,649	0,691/20
Liczba oktanowa	90	94	S + 0,07
Temperatura wrzenia (°C)	28	50	81

Najbardziej interesującym z tych paliw jest triptan, który jakkolwiek określony metodą MM „Motor Method” różni się tylko nieznacznie od izooktanu, to jednak w silniku okazał się o wiele od niego lepszym i pozwolił na zwiększenie mocy silnika oraz stopnia sprężenia z 10 do 12, spowodował również zmniejszenie jednostkowego zużycia paliwa o około 25% w stosunku do paliwa o liczbie oktanowej 100.

Nie tylko w stosunku do paliw wysokooktanowych zawadzą metody oceny paliw w oparciu o silniki wzorcowe, czyli o liczbę oktanową. W stosunku do normalnych paliw samochodowych liczba oktanowa również nie określa jednoznacznie własności fizyko-chemicznych paliwa. Przeprowadzone w ubiegłych latach systematyczne badania nad przebiegiem spalania w silniku samochodowym w czasie jazdy samochodu właśnie to wykazały. Przy badaniu nie ograniczono się do jednego typowego silnika, ale badano 15 samochodów z różnymi silnikami i wyznaczono wartości średnie. W dalszym ciągu oznaczamy liczby oktanowe otrzymane na silniku wzorcowym w laboratorium przez L.O., zaś wyznaczone w czasie jazdy samochodem przez L.O.J.

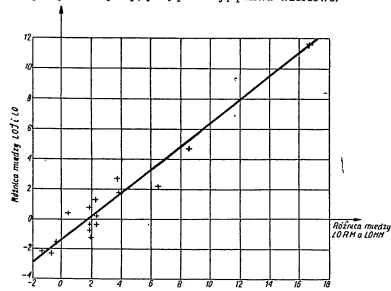


Rys. 4. Porównanie liczb oktanowej wyznaczonej w laboratorium (L.O.) i liczby oktanowej wyznaczonej w czasie jazdy samochodu (L.O.J.)

48

Zależność między tymi wielkościami przedstawiona jest na wykresie rys. 4 przy czym pomiary doświadczalne nie pokrywają się z linią pochyłą pod kątem 45°.

Wykres przedstawiony na rys. 5 podaje zależność różnicy L.O.J. i L.O. od „skłonności” paliwa do wykazywania różnych L.O. przy pomiarze laboratoryjnym metodą RM „Research Method” i MM „Motor Method”. Badanie spalania detonacyjnego w czasie jazdy przy zmieniającej się szybkości jazdy w szerokich granicach od 20 km/godz. do 100 km/godz., wykazuje, że nie wszystkie paliwa posiadają taką zmienność stopnia detonacji w funkcji szybkości jazdy, jaką posiadają paliwa wzorcowe.



Rys. 5. Zależność między różnicą LOJ i LO a „skłonnością” paliwa do tworzenia różnicy między LO wyznaczoną metodą RM a MM

Wykres na rys. 6 ilustruje to wyraźnie. Należy jeszcze pokreślić, że różnice zachodzące między badanym paliwem a wzorcowym mogą występować w innej formie, przy czym zależą nie tylko od badanego paliwa ale i od innych zewnętrznych czynników.

Występowanie spalania detonacyjnego, jako jeden z głównych czynników hamujących postęp w rozwoju silników niskoprężnych, było przedmiotem licznych badań i eksperymentów. W rozwoju historycznym tego problemu pogląd na to zagadnienie kilkakrotnie ulegał znacznym modyfikacjom.

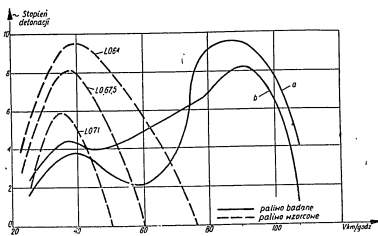
Obecnie aktualny pogląd na spalanie detonacyjne można przedstawić w największym skrócie następująco:

Normalne spalanie rozpoczyna się od świecy zapłonowej i front płomienia rozchodzi się kuliście we wszystkich kierunkach. Gazy spalinowe znajdujące się za frontem płomienia ulegają rozprężeniu, natomiast mieszanka niespalona zostaje sprężana przed frontem płomienia. W części ładunku cylindra, która jeszcze nie została spalona, zachodzą reakcje wstępnego utleniania, przy czym przebieg ich zależy od następujących parametrów:

4 — Biuletyn WAT nr 4

49

p — ciśnienia, T — temperatury i m — stosunku paliwa do powietrza. W wypadku, gdy wspomniane parametry posiadają odpowiednią wielkość, niespalona mieszanka znajdująca się przed frontem płomienia spala się detonacyjnie na zasadzie samozapłonu, czemu towarzyszy powstanie fali ciśnieniowej. Szybkość spalania się w tym wypadku wynosi około 2000—3000 [m/sek.], co w porównaniu z szybkością spalania normalnego wynosi 30—40 m/sek. jest reakcją bardzo szybką (reakcją łańcuchową typu lawinowego).



Rys. 6. Zależność stopnia detonacji od szybkości jazdy wyznaczona przy pomocy 5 samochodów

Skłonność paliwa do spalania detonacyjnego w dużym stopniu zależy od reakcji zachodzących w czasie poprzedzającym spalanie, przy czym nie chodzi tu tylko o okres czasu od chwili pojawienia się iskry na świecy, chociaż ten okres zwany okresem indukcji jest bardzo ważnym czynnikiem. Za właściwe wydaje się być liczenie czasu przebiegania reakcji wstępnych od chwili, w której paliwo zostaje wprowadzone do cylindra lub wypełnizę z rozpylacza w gaźniku, do chwili spalania (w ten sposób niektórzy badacze określają okres indukcji).

Badania Sokolika, Withrowa, Lovella, Boyda, Josta, Egertona i Schmidta oraz wielu innych badaczy wykazały, że w okresie poprzedzającym spalanie próbka gazu pobranego z cylindra silnika zawiera nie tylko aldehydy i niewielkie ilości nadtlenków jako produkty przejściowe spalania węglowodorów, ale również wolne atomy wodoru, kompleksy atomów takie jak: OH , O_2H , NO_2 biorące również udział w utlenianiu węglowodorów.

Wpływ aldehydów wg. badań Josta przyspiesza przebieg reakcji normalnego spalania, skracając więc okres indukcji; inni badacze są skłonni przypuszczać, że aldehydy nie przyspieszają biegu reakcji.

Nadtlenki natomiast nawet w małych ilościach znakomicie przyspieszają przebieg reakcji zamieniając reakcję łańcuchową na reakcję lawinową i obecność ich nawet w bardzo małych ilościach w dużym stopniu przyczynia się do powstania spalania detonacyjnego. Odporność paliwa na spalanie detonacyjne wiąże się z jego budową chemiczną, przy czym na przy-

kład węglowodory parafinowe są skłonne do spalania detonacyjnego natomiast aromaty nie. Wpływ budowy jest zupełnie widoczny i łatwy do określenia.

Ukazało się wiele publikacji zwracających uwagę na niedokładność i niepełność określenia własności paliwa przy pomocy jego liczby oktanowej, jak również na zbyt małą ilość czynników uwzględnianych przy rozpatrywaniu zjawiska spalania detonacyjnego. Należy tu wymienić nowe rozważania F.A.F. Schmidta, który zwrócił uwagę na takie czynniki wpływające na przebieg spalania detonacyjnego jak: sposób i czas zapłonu, nadmiar powietrza, a przede wszystkim sposób wytworzenia mieszanki palnej jako czynnik o pierwszorzędnym znaczeniu. Zwraca on również uwagę na to, że poglądy na temperaturę panującą wewnątrz cylindra odbiegają bardzo znacznie od rzeczywistości z uwagi na niemożliwość uwzględnienia szeregu czynników takich jak: oddziaływanie ciepłe ścianek cylindra, przemieszanie świeżego ładunku z resztkami spalin i zmiany wywołane oddawaniem ciepła przez te ostatnie oraz na niejednorodność faz mieszanki (faza gazowa i ciekła) znajdującej się w cylindrze silnika.

Siemann rozważa wpływ samozapłonu na przebieg spalania detonacyjnego w silniku niskopryzycznym. W oparciu o skłonności do samozapłonu ustala nowe stałe empiryczne i przy ich pomocy opisuje dokładnie własności paliw anizeli robi to liczba oktanowa.

Wszystkie te wypowiedzi i badania idą w kierunku wskazanym przez Hryniewieckiego, który w końcowej części ogłoszonej przez siebie metody obliczeń cieplnych silnika spalinowego, zachęcał do gromadzenia odpowiedniego materiału doświadczalnego koniecznego przy wykonywaniu obliczeń tego typu. Usiłowania w tym kierunku podjęło cały szereg badaczy; do nowszych prac z tej dziedziny należy zaliczyć nową teorię obliczeń cieplnych silnika spalinowego, podaną przez Glagolewa. Wspomina on również we wstępie do swej pracy o konieczności gromadzenia danych doświadczalnych dotyczących przede wszystkim teorii spalania, gdyż w tej dziedzinie teoria posiada największe luki. Należy podkreślić, że eksperymentowanie jest specjalnie trudne, gdyż konieczne jest możliwie jaknajwiększe rozczłonkowanie procesu spalania i wprowadzenie dużej ilości parametrów łatwych do pomiaru w niezbyt skomplikowanych urządzeniach, by nagromadzenie danych doświadczalnych nie napotykało na większe trudności dla szeregu różnego typu silników i paliw.

Do tego rodzaju usiłowań można zaliczyć w pewnym sensie prace eksperymentalne autora dotyczące związku własności fizyko-chemicznych paliwa z przebiegiem procesu parowania i spalania w silniku.

Wyniki doświadczeń i opracowaną przez autora nową metodą oceny własności paliw opartą na parowności paliwa w postaci kropli znajdzie zainteresowany czytelnik w artykule pt. „Nowa metoda oceny własności paliw silnikowych” umieszczonej w Biuletynie W.A.T. nr 7 (51).

Rozpatrując ogólne zagadnienie lekkich paliw silnikowych przeznaczonych dla silników niskopryzycznych, należy stwierdzić stałe zwiększenie się liczby oktanowej. Oprócz tego, że opracowuje się nowe dodatki wpływające na podwyższenie L.O., to również pojawił się nowy dodatek ICC, który obniża liczbę oktanową nieznacznie np. z 93,5 na 88,5 ale będąc związkiem haloalkilfosforowym służy do ulepszenia zapłonu w silnikach o dużym stopniu sprężenia. Obniżenie L.O. nie powoduje zwiększenia skłonności do spalania detonacyjnego, na skutek zmian w przebiegu zapłonu, co nie uwidacznia się w LO, lecz dopiero w eksploatacji silnika.

Duże znaczenie posiada również walka z osadami powstającymi z zanieczyszczeń paliwa jak i z dodatków uodparniających go na spalanie detonacyjne. Usunięcie ich przez stosowanie odpowiednich domieszek fosforowych również może prowadzić do ulepszenia pracy silnika.

Produkcja paliw o wysokiej liczbie oktanowej a niskiej cenie może doprowadzić do wzrostu stopnia sprężenia powyżej 10, co będzie bez wątpienia związane z polepszeniem sprawności silnika niskopiętrowego.

Rozpatrując kształtowanie się zagadnień związanych z paliwami dla silników niskopiętrowych nie trudno zauważyć istnienie dwu sprzecznych tendencji. Pierwsza opiera się na tezie, że stosowanie paliwa o wyższej liczbie oktanowej jest celowe, gdyż nakład środków na produkcję paliwa jest mniejszy, aniżeli zysk uzyskany w silniku na skutek podwyższenia energii zawartej w paliwie. Oczywiście koniecznym jest odpowiednie przystosowanie silników do tego, by wykorzystaly możliwości jak najdokładniej podwyższenie energii paliwa. Stosowanie paliw wysokooktanowych posiada również pewien ujemny wpływ na pracę silnika. Prowadzi do intensywniejszego powstawania osadów w silniku, które stwarzają znowu pomyślne warunki dla powstawania spalania detonacyjnego. Walka z tymi osadami powstałymi z nieorganicznych soli ołowowych oraz z oleju smarowego jest w chwili obecnej w pełnym toku i, jak to już podkreślił, rozpatrywane są możliwości stosowania rozpuszczalników tych osadów, względnie innych środków czyszczących.

Druga tendencja idzie w kierunku wprowadzenia zmian konstrukcyjnych silnika prowadzących do możliwości stosowania paliw niskooktanowych bez powstania spalania detonacyjnego. Wydaje się być rzeczą niewątpliwą, że obydwie kierunki są słuszne i doprowadzą w rezultacie do podwyższenia stopnia sprężania do takiej wysokości, że dalsze zwiększenie będzie bezcelowe. Wzrost stopnia sprężania łączy się z wielu zagadnieniami konstrukcyjnymi i prowadzi do zwiększonego zużycia silnika oraz wzrostu ciężaru układu korbowego, co należy mieć oczywiście na uwadze przy rozpatrywaniu tego zagadnienia.

Zmiany konstrukcyjne silnika niskopiętrowego

Rozważając możliwości ulepszeń i zmian w konstrukcji silnika niskopiętrowego pojazdów mechanicznych można wyodrębnić kilka zagadnień takich jak:

- zastosowanie wtrysku paliwa lekkiego (usunięcie gaźnika),
- doładowanie silnika,
- przedłużenie rozprężenia,
- usunięcie rozrządu zaworowego (rozrząd suwakowy lub kurkowy),
- silniki z obracającymi się tłokami.

A. Silniki z wtryskiem paliwa lekkiego i zapłonem od iskry

Zagadnienie wtrysku benzyny bezpośrednio do cylindra silnika nie jest czymś nowym. Myśl usunięcia gaźnika i użycia układu zasilania podobnego do tego jaki jest stosowany w silniku wysokopiętrowym od dawna zaprzętała wielu konstruktorów. Wystarczy przypomnieć, że bracia Wright stosowali wtrysk paliwa w swoich silnikach usuwając w ten sposób niesprawnny gaźnik.

52

W latach 1916—18 stosują to również znani konstruktorzy radzieccy Slicozkin, Mikulin w silniku dwusuwowym. Duży postęp w konstrukcji gaźników zahamował zainteresowanie wtryskiem paliwa lekkiego. W czasie ubiegłej wojny pojawił się wtrysk benzyny w silnikach lotniczych, przy czym silniki te wykazały szereg zalet przewyższających silniki gaźnikowe.

Możliwość stosunkowo łatwego rozwiązania wtrysku paliwa w silniku lotniczym stworzył fakt stosowania dużych cylindrów (duże dawki paliwa oraz mała ilość obrotów). W tym wypadku dużą rolę odegrało bogate doświadczenie uzyskane przy konstrukcji układu zasilania szybkobieżnych wysokopiętrowych silników trakcyjnych.

Wtrysk paliwa lekkiego w silniku pojazdu mechanicznego w porównaniu z silnikiem lotniczym stwarza szereg poważnych trudności, z których najpoważniejszymi jest konieczność wtrysku małych ilości paliwa (małe cylindry i moce) oraz regulacja w szerokich granicach, przy stosunkowo dużych ilościach obrotów.

Od mniej więcej 25 lat prowadzone są prace nad budową urządzeń wtryskowych dla małych silników. Trudności zostały w zasadzie pokonane, jednak taniść całego urządzenia przedstawia wiele do życzenia i to stanowi poważną przeszkodę w rozpowszechnianiu się tego systemu zasilania.

Wtrysk paliwa może być realizowany w następujący sposób:

- w silniku czterosuwowym — wtrysk bezpośredni do cylindra w czasie ssawu ssania;
- w silniku dwusuwowym lub czterosuwowym — wtrysk do kanału ssącego lub przed zawór ssący;
- w silniku czterosuwowym — wtrysk bezpośrednio do cylindra w czasie ssawu sprężania tuż przed zapłonem a następnie dalszy ciąg wtrysku już w czasie spalania;
- w silniku dwusuwowym — wtrysk bezpośredni do cylindra w czasie płukania lub sprężania.

Wtrysk pośredni — tzn. przed zaworem lub w kanał ssący stanowi najmniej interesujące rozwiązanie. Czas realizowania tego wtrysku jest prawie obojętny dla przebiegu procesu spalania, jak uczy doświadczenie, a różnica między silnikiem gaźnikowym a tak realizowanym wtryskiem jest bardzo nieznaczna. W dalszym ciągu zajmujemy się więc tylko zagadnieniem wtrysku bezpośredniego.

Przy wtrysku bezpośrednim jest sprawą bardzo ważną dobór prawidłowego początku wtrysku, gdyż decyduje to o dalszym prawidłowym przebiegu spalania. W latach 40-tych przeprowadzone zostały bardzo szczegółowe i systematyczne studia nad różnymi czynnikami decydującymi o mocy, sprawności i innych parametrach pracy silnika z wtryskiem paliwa.

Badania przeprowadzone w National Advisory Committee for Aeronautics (NA CA).

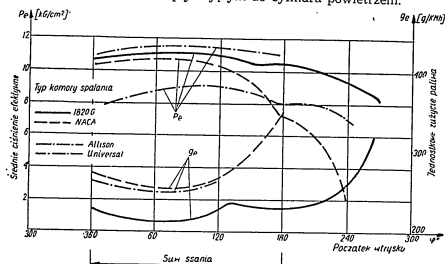
Wykres przedstawiony na rys. 8, podaje zależność między jednostkowym zużyciem paliwa i średnim ciśnieniem efektywnym a początkiem wtrysku paliwa, dla kilku silników o różnych komorach spalania. Dla wszystkich tych silników najkorzystniejsze wyniki osiągnięte były wówczas, gdy wtrysk rozpoczynał się w czasie, kiedy powietrze wpływające przez zawór wlotowy posiadało największą szybkość.

Duży wpływ na dobór początku wtrysku posiada stopień zawiorowania powietrza oraz ilość obrotów. Np. dla obrotów $n = 2000$ [obr./min.] ką

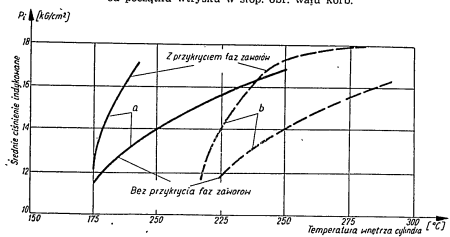
53

wtrysku można zmniejszyć o 40° obr. wału korbowego w stosunku do kąta dla obrotów $n = 1500$ [obr./min.].

Najdogodniejszym miejscem dla umieszczenia wtryskiwacza jest punkt położony pomiędzy czterema zaworami lub pomiędzy zaworami wydechowymi. Wtryskiwacz powinien być tak skierowany, by wtrysk był realizowany w przeciwną stronę do wpływającego do cylindra powietrza.



Rys. 7. Zależność średniego ciśnienia efektywnego i jednostkowego zużycia paliwa od początku wtrysku w stop. obr. wału korb.



Rys. 8. Wpływ przykrycia faz zaworów na temperaturę wnętrza cylindra

Najlepsze wyniki osiągnięto z wtryskiwaczami wielootworowymi. Przeprowadzone pomiary wskazywały, że przy większych ilościach obrotów silnika z wtryskiem paliwa lekkiego osiągnąć lepszy stopień napełnienia aniżeli w silniku gaźnikowym. Np. jeżeli $\eta_v = 92,5$ — dla silnika z wtryskiem paliwa, to przy tych samych obrotach dla silnika gaźnikowego $\eta_v = 86,0$. To stanowi jedną z głównych zalet silnika z wtryskiem paliwa w stosunku do silnika gaźnikowego.

Przy wtrysku paliwa bezpośrednio do cylindra można znacznie zwiększyć stopień przykrycia faz otwarcia zaworów. Kąt przykrycia może wynosić w tym wypadku od 120—140° obrotu wału korbowego.

Przeplukanie cylindra powietrzem wpływa na obniżenie temperatury ścianek cylindra. Wykres na rys. 9 podaje zmiany temperatury wewnątrz cylindra w zależności od tego, czy przykrycie faz zaworów jest stosowane.

Równoczesne zastosowanie wtrysku paliwa z doładowaniem przy pomocy turbo-sprężarki i dużym przykryciem faz zaworów jest bardzo korzystnym rozwiązaniem pozwalającym na stosowanie paliw o wyższej temperaturze wrzenia, co znacznie zwiększa bezpieczeństwo przeciwpożarowe i przede wszystkim pozwala stosować tańsze paliwa.

W ciężkich pojazdach mechanicznych o ile będą stosowane silniki niskopreżne, to wyżej wspomniane połączenie wydaje się być najbardziej odpowiednim.

Pojawienie się w lotnictwie silników odrzutowych zahamowało badania nad wtryskiem paliw lekkich, ponieważ środek ciężkości zainteresowania przenosił się na inne zagadnienia. Dalsze badania związane z wtryskiem paliwa lekkiego zaczęto kontynuować z perspektywą zastosowania go w budowie silników pojazdów mechanicznych.

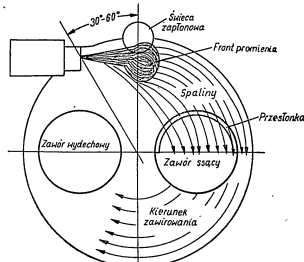
Do bardzo interesującego rezultatu w tym kierunku należy zaliczyć patent firmy Texas z roku 1949 nazwany „Texaco Combustion Process”. System ten przewidziany był przede wszystkim dla samochodów wyścigowych, niemniej może być on z powodzeniem stosowany i w innych pojazdach mechanicznych. Spalanie odbywa się w sposób następujący: wtrysk paliwa następuje tuż przed zwrotem zewnętrznym (G. M. F.). Strumień rozpylonego paliwa zwrócony jest ku świecy i przepływa przed nią porwany przez, zawirowane powietrze na skutek odpowiedniej przesłanki na zaworze wlotowym.

Pierwsza dawka paliwa powinna się zapalić w chwili, gdy mniej więcej znajduje się naprzeciw świecy. Tworzy się w ten sposób front płomienia, który w zasadzie stoi w miejscu na skutek podtrzymywania spalania przez w dalszym ciągu napływające paliwo. Na froncie płomienia tworzy się nowa mieszanka, natomiast spaliny zostają od frontu spalania odsunięte. Stopień sprężania w takim silniku wynosił około 10 i mimo użycia normalnych paliw nie występowało spalanie detonacyjne. Badano kilka sposobów umieszczenia wtryskiwacza i stwierdzono, że gdy kąt między nim a świecą wynosił od 30—60° (patrz rys. 10), to zjawisko detonacji nie występowało. Przy wzroście kąta do około 90° zaczynało występować spalanie detonacyjne i w miarę dalszego wzrostu kąta rosła detonacja. Poprawnie usytuowany strumień powinien tak przebiegać, by nie wyginął się ku świecy, ale równocześnie nie przebiegał poza nią. Badanie przeprowadzono na paliwach o różnych liczbach oktanowych. Przy odpowiednio umieszczonym wtryskiwaczu i właściwej prędkości strumienia wtryskiwanego paliwa spalanie detonacyjne nie występowało bez względu na rodzaj paliwa.

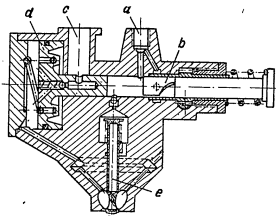
Spalanie prowadzone w ten sposób, że w części komory spalania, do której front płomienia dociera najpóźniej, nie ma mieszanki palnej lub jest ona tak uboga, że nie może powstać samozapłon, będący początkiem spalania detonacyjnego, jest najbardziej celowe.

Najistotniejszym zadaniem konstrukcyjnym dla silników małej mocy z wtryskiem paliwa lekkiego jest problem realizacji wtrysku przy bardzo małych ilościach wtryskiwanego paliwa i szerokiej regulacji mocy.

Do ciekawszych rozwiązań tego zagadnienia można zaliczyć przedstawione na rys. 10 urządzenie wtryskowe połączone z pompą powietrzną. Działanie tego urządzenia, podobnie zresztą jak i następujących, wydaje się być zupełnie jasne na podstawie spisu części składowych umieszczonego pod rysunkiem.

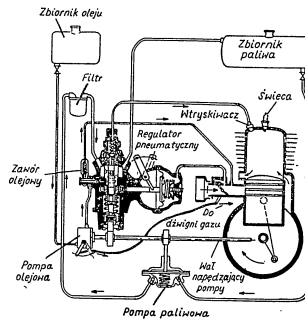


Rys. 9. Schemat spalania „Texaco Combustion Process”



Rys. 10. Projekt pompy wtryskowej z pompą powietrzną, a — doprowadzenie paliwa; b — tłoczek pompy paliwowej; c — wejście powietrza; d — tłok pompy powietrznej; e — iglica wtryskiwacza.

Bardziej znanym i rozpowszechnionym urządzeniem wtryskowym (silniki Goliath i Gutbrod) dla silników dwusuwowych jest układ przedstawiony na rys. 11. Wadą tego urządzenia jest konieczność precyzyjnego wykonania tłoczka i cylindera pompy, co podraża znacznie koszt całego urządzenia. Pompa wtryskowa tego typu może pracować przy 7 000 wtrysków na minutę.



Rys. 11. Urządzenie wtryskowe dla silnika dwusuwowego

Interesującym rozwiązaniem jest pompa wtryskowa przedstawiona na rys. 12; zaopatrzona ona jest w poliamidowe uszczelnienie zamiast pasowanego tłoczka. Rozwiązanie to wykazuje cały szereg zalet i pracuje również dobrze nawet przy większej ilości wtrysków na minutę niż 7 000. Wszystkie przytoczone rozwiązania posiadają wspólną wadę, którą jest wysoka cena.

Próbą budowy taniego urządzenia wtryskowego jest niskociśnieniowa pompa wtryskowa przedstawiona na rys. 13. Sterowanie ilości paliwa odbywa się przy pomocy płaskiego suwaka.

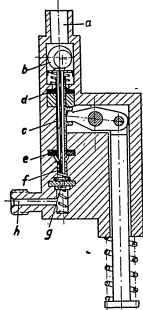
Cena urządzenia wtryskowego jest wyższa aniżeli gaźnika, lecz oszczędność paliwa, wynosząca około 15%, po przejechaniu 10 000 [km] rekompensuje cenę tego urządzenia. Pompa wtryskowa pracuje dobrze średnio przy przejechaniu około 30 000 [km], następnie wymaga zmiany.

Ogólnie podsumowując zalety wtrysku paliwa lekkiego w silniku pojeździ mechanicznego należy stwierdzić, że są one duże. Opóźnienie zetknięcia paliwa z tlenem bezwładności jest korzystne z punktu widzenia przebiegu spalania.

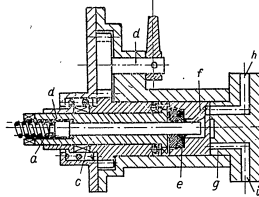
Oszczędność paliwa wyraża się mniej więcej zmniejszeniem o 15% jednostkowego zużycia paliwa, zaś zwiększenie mocy wynosi około 20%.

Pierwsze zastosowania wtrysku benzyny miało miejsce w silnikach wysięgowych. Do takich należał silnik samochodu wysięgowego Mercedes 300 SL54; wykazał on zmniejszenie zużycia paliwa o około 10-15%.

W wyścigu Grand Prix de France odniosły bezapelacyjne zwycięstwo samochody Daimler-Benz wyposażone w silniki z wtryskiem benzyny. Uwagę w tych silnikach zwraca również układ zapłonowy składający się z bliźniaczego magneta, zaś wpływ konstrukcji silników lotniczych wyraża się umieszczeniem w każdym cylindrze dwóch świec zapłonowych.



Rys. 12. Pompa wtryskowa z uszczelnieniami poliamidowymi: a — przewód ssący; b — regulator ilościowy; c — tłoczek; d — uszczelnienie niskociśnieniowe; e — uszczelnienie wysokociśnieniowe; f — zawór tłoczący; h — przewód wysokiego ciśnienia.



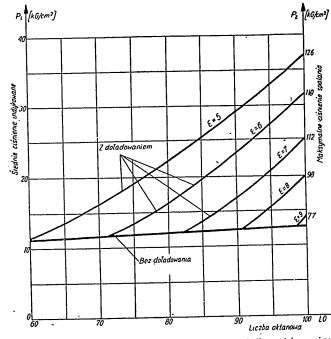
Rys. 13. Pompa wtryskowa niskiego ciśnienia: a — obracający się cylinder; b — obracający się tłok; c — sprzągło tłoków; d — regulator ilościowy; e — uszczelnienie; f — obracający się kanał sterujący; g — nieruchoma tarcza sterująca; h — przewód ssący; i — przewód wysokiego ciśnienia.

Zastosowanie wtrysku zmniejszyło zużycie paliwa o 25%. Dalszymi zaletami eksploatacyjnymi były większa reakcja na „dodanie gazu”, czyli lepsza zrywność, łatwiejsze uruchomienie silnika zwłaszcza przy niskich temperaturach otoczenia oraz możliwość natychmiastowego obciążenia silnika po rozruchu z uwagi na niezależne smarowanie świeżym olejem.

Silnik Gubrod „Superior” posiada objętość suwową 593 [cm³] i rozwija moc 20 (KM) przy 3 200 (obr./min) i $\epsilon = 8$. Próbną eksploatacją na trasie o długości 1 500 (KM) wykazała, że przeciętne zużycie paliwa wynosiło od 5-6 [l/100 km]; odpowiada to zmniejszeniu o 25% zużycia paliwa w stosunku do silnika gaźnikowego o tej samej mocy.

B. Doladowanie silników niskoprężnych

Doladowanie silników niskoprężnych, powszechnie stosowane w silnikach lotniczych, podyktowane było specjalnymi warunkami pracy tych silników. Podobnymi w pewnym sensie są wymagania stawiane silnikom samochodów wyścigowych i zrozumiałe jest zupełnie, że zwiększenie mocy chodów wyścigowych i zrozumiałe jest zupełnie, że zwiększenie mocy chodów lotniczych zwraca również uwagę na zwiększenie średniego ciśnienia indykowanego przez doladowanie. Sprawa wpływu doladowania na przebieg spalania została dosyć dokładnie przeanalizowana w związku z powszechnym zastosowaniem doladowania w silnikach lotniczych.



Rys. 14. Granice spalania detonacyjnego w silniku niskoprężnym

Wysokość ciśnienia powietrza dostarczonego przez sprężarkę decyduje o średnim ciśnieniu indykowanym, a więc o wszystkich związanych z nim parametrach, następnie o maksymalnym ciśnieniu w czasie spalania, wreszcie o możliwości wystąpienia spalania detonacyjnego, warunkuje więc rodzaj stosowanego paliwa.

Związek jaki istnieje między tymi wielkościami ilustruje dosyć przejrzyście wykres przedstawiony na rys. 14. Linie odpowiadające doladowaniu są wyznaczone przy założeniu, że detonacja nie występuje. Przy zastosowaniu tego samego paliwa, można zwiększyć średnie ciśnienie indykowane przez zastosowanie doladowania w wypadku niskiego stopnia sprężania ϵ .

Zachowanie niskiego stopnia sprężania jest wtedy słuszne, gdy duże zwiększenie średniego ciśnienia indykowanego chcemy uzyskać przez do-

ładowanie i równoczesne zastosowanie paliwa o wyższej LO. W wypadku gdy chcemy osiągnąć zwiększenie mocy silnika przy mało zmiennym zużyciu paliwa, to oplaca się zwiększyć stopień sprężania, przy równoczesnym ograniczeniu dolałowania. Pierwszy rodzaj powiększenia mocy silnika jest przeznaczony specjalnie dla silników lotniczych, gdyż zachowanie niskiego stopnia sprężania łączy się z obniżeniem ciężaru jednostkowego silnika, co w tym wypadku kompensuje straty spowodowane zwiększonym zużyciem paliwa. Drugi sposób powiększenia mocy silnika kwalifikuje się specjalnie dla silników pojazdów mechanicznych, gdyż zachowuje on niskie zużycie paliwa, ciężar jednostkowy zaś nie odgrywa takiej roli w tym wypadku, jak w lotnictwie.

Ostatnio w prasie technicznej pojawia się coraz więcej rozważań nad celowością zastosowania dolałowania w silnikach trakcyjnych tak niskich i wysokoprężnych. Stopień dolałowania powinien być niewysoki z wyżej przytoczonych przyczyn, gdyż zwiększenie mocy kosztem zwiększenia jednostkowego zużycia paliwa jest nie do przyjęcia.

Paliwo przy większej liczbie obrotów silnika wykazuje większą odporność na spalanie detonacyjne; łączy się to, zdaniem autora, z występowaniem w mieszance palnej fazy ciekłej.

Celowym wydaje się więc z tego powodu takie rozwiązanie dolałowania, by sprężarka była wyłączona przy małych ilościach obrotów, natomiast przy obrotach bliższych obrotom odpowiadającym mocy maksymalnej była włączona — wówczas zwiększona odporność paliwa na detonację pozwoli na dolałowanie i zwiększenie mocy silnika.

Dolałowanie silników trakcyjnych może okazać się niekorzystne z uwagi na trwałość silnika. W silnikach lotniczych zagadnienie trwałości z uwagi na krótki okres eksploatacji praktycznie nie było badane; podobnie przedstawia się sprawa i z silnikami wycieczkowymi trakcyjnymi. Odpowiedź na to pytanie może dać tylko długotrwała eksploatacja i odpowiednie badanie wpływu dolałowania na zużycie części silnika.

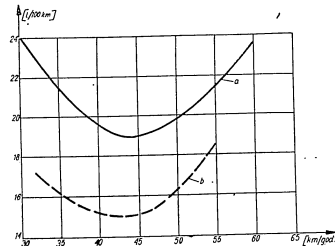
Reasumując należy stwierdzić, że dolałowanie silników niskoprężnych może dać pewne korzyści w wypadku stosowania niskich ciśnień oraz doładowanie przy odpowiedniej sprężarce. Celowe będzie połączenie go z wtryskiem paliwa, co wyżej było już podkreślone. Duże znaczenie może mieć w tym wypadku chłodzenie cylindra na skutek przedmuchania go świeżym powietrzem dostarczanym przez sprężarkę, to zaś może skutecznie przeciwdziałać spalaniu detonacyjnemu paliw o stosunkowo niskiej LO.

Zwiększenie stopnia rozprężania

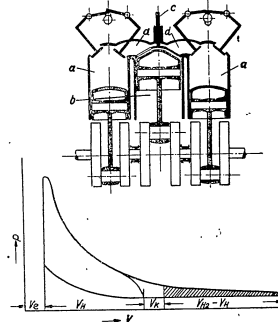
Dalszym sposobem zwiększenia sprawności silnika niskoprężnego może być zwiększenie rozprężania. Ta metoda słusza jest dla wszystkich silników tłokowych. Zwiększenie stopnia rozprężania realizowane jest w silniku tłokowym, jako pewna analogia do silnika parowego tłokowego. Łączymy wysokiego ciśnienia, z cylindrem dwusuwowym, w którym gazy wypływające z cylindra wysokoprężnego w dalszym ciągu rozprężają się.

Rys. 16 przedstawia schemat takiego silnika wraz z wykresem indykatorowym.

Teoretycznie w takim układzie należałoby się spodziewać wzrostu mocy o 20% i odpowiedniego spadku zużycia paliwa. Trudności związane z wysoką temperaturą, w jakiej musi pracować zawór wydechowy cylindra



Rys. 15. Zależność zużycia paliwa na tej samej szosie przez normalny samochód (a) i samochód z częściowo napelnionym cylindrem (skrócony suw ssania) Stroy-Daimler-Fuchs Typ 1500.



Rys. 16. Silnik z rozprężaniem dodatkowym: a — cylindry silnika spalowego; b — cylinder dalszego rozprężania; c — suwak sterujący dopływem gazów do cylindra; d — kanały przepływowe gazów; V_0 — objętość komory sprężania cylindrów — a; V_H — objętość skokowa cylindra — b; V_k — objętość kanałów przepływowych

wysokoprężnego oraz konieczność dodatkowego układu korbowego dla cylindra niskoprężnego powiększają o tyle straty tarcia, że w rezultacie całkowita sprawność takiego urządzenia wzrasta około 10%.

Możliwe jest również i inne rozwiązanie polegające na tym, że zamiast rozpręcać spaliny w cylindrze niskoprężnym, do cylindra wysokoprężnego odpowiednio powiększonego odprowadzać będziemy tylko część ładunku tak dobraną, by musiała ona rozprężyć się w nim podobnie jak to odbywało się poprzednio w dwu cylindrach.

Prace badawcze tego typu silnika prowadzone były i są w szeregu ośrodkach doświadczalnych i wyniki pozwalają przypuszczać, że oszczędność paliwa może być dość znaczna bo dochodząca do 20%. Zasadniczą trudnością jest krótki czas otwarcia zaworu wlotowego, gdyż łączy się to z dużymi przyspieszeniami i siłami sprężyn zaworowych.

Próbny samochód z silnikiem o częściowym napileniu wykazał w stosunku do normalnego silnika na tej samej szosie zmniejszenie zużycia paliwa w stopniu przedstawionym na wykresie rys. 15.

W chwili obecnej prowadzone są badania całego szeregu urządzeń kombinowanych, które w niedalekiej przyszłości mogą okazać się wysoce ekonomicznymi silnikami. Trudności w tym typie silników związane są z zaworami i mogą doprowadzić do zastąpienia rozrządu zaworowego innym systemem sterowania gazów.

Silniki bezzaworowe (suwakowe)

Od chwili powstania pierwszych konstrukcji silników spalinywoch tłokowych rozpatrywano możliwości zastosowania rozrządu gazów przy użyciu suwaków lub kurków. Przewaga rozrządu zaworowego jednak spowodowała zarzucenie myśli innego rozwiązania tego problemu.

Główną trudnością, która hamowała zastosowanie rozrządu suwakowego jest mała jego szczelność. Kwestia szczelności jest podstawową sprawą i pomyślnie jej rozwiązanie może doprowadzić do szybkiego zarzucenia rozrządu zaworowego. W latach poprzedzających bezpośrednio ostatnią wojnę, jak i w czasie jej trwania, w szeregu krajów prowadzone były bardzo intensywne prace badawcze nad rozrządem suwakowym, przy czym przede wszystkim przewidziany był on dla silników lotniczych.

Opracowano cały szereg systemów uszczelniania przy użyciu drożych materiałów i dużej precyzji wykonania.

Zasadnicze konstrukcje silników bezzaworowych można podzielić na trzy grupy:

- silniki z płaskimi suwakami,
- silniki z okrągłymi suwakami (walcowymi),
- silniki z wirującymi głowicami.

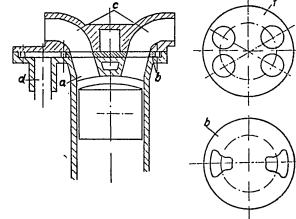
Przedstawicielem pierwszej grupy może być typ silnika DVL, schemat którego przedstawiony jest na rys. 17. Możliwe są i inne rozwiązania np. obracająca się tarcza z krzywymi kanałami wewnątrz łączącymi cylinder z odpowiednim przewodem.

Drugą grupę mogą reprezentować silniki firm Baer-Heylandt o jednym kanale w walcowym suwaku (rys. 19) i silnik Cross o dwu kanałach w suwaku (rys. 20).

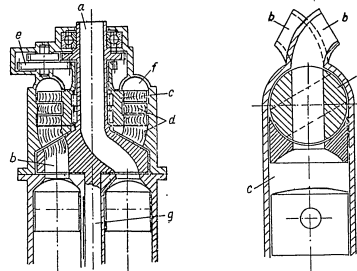
Typowymi przedstawicielami trzeciej grupy są silniki ze stożkowymi suwakami nazywanymi również wirującymi głowicami lub określonymi mianem Aspin.

62

Silniki z płaskim suwakiem nadają się specjalnie dla wielocylindrowych konstrukcji rzędowych; napęd jest wówczas bardzo prosty, gdyż jeden suwak napędza drugi. Pomimo zbudowania szeregu prototypów nie roz-



Rys. 17. Silnik suwakowy DVL:
a — komora spalania silnika; b — tarcza suwakowa; c — kanały doprowadzające i odprowadzające gazy; d — wał napędzający suwak; f — cylinder z otworami sterującymi (widok z góry).



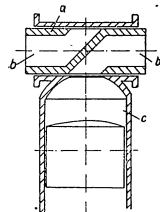
Rys. 18. Przyrząd suwakowy połączony z turbiną gazową:
a — kanał doprowadzający; b — kanał odprowadzający; c — wirnik turbiny; d — kierownice turbiny; e — przekładnia zębata; f — odprowadzenie gazów; g — wał napędzający suwak i wał turbiny

Rys. 19. Schemat silnika o jednym suwaku walcowym wg. Baer-Heylandt:
a — suwak walcowy; b — kanał gazowy; c — komora spalania.

63

pow szechniły się silniki suwakowe, niemniej zdaje się, że nie powiedzieli oni swego ostatniego słowa.

Połączenie silnika suwakowego z częściowym napełnieniem cylindra zwiększającym stopień rozprężenia, może dać dla silników trakcyjnych bardzo ekonomiczną konstrukcję.

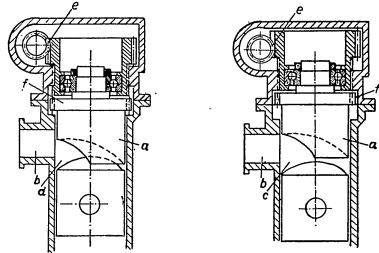


Rys. 20. Schemat silnika z dwoma kanałami w suwaku walcowym wg. Cross. a - suwak walcowy; b - kanały gazowe; c - komora spalania

Na przykład silnik motocyklowy o objętości skokowej 500 (cm³) w czasie suwu ssania napełniony jest 250 (cm³) mieszanki. Rozprężenie idzie poniżej ciśnienia otoczenia. Stopień rozprężenia wyniesie 1 : 15.

Dalsze możliwości wykorzystania silników suwakowych mogą polegać na wprowadzeniu zmiany stopnia rozprężenia przy częściowym obciążeniu silnika. Wiadomo, że silniki nawet najlepsze przy niepełnym obciążeniu mają bardzo niekorzystne jednostkowe zużycie paliwa. Rys. 21 przedstawia schemat silnika z suwakiem, który w zależności od obciążenia zmienia stopień sprężania, poprawiając tym samym zużycie paliwa przy niepełnym obciążeniu silnika.

Można również połączyć silnik suwakowy z turbiną gazową, jak to ilustruje rys. 19. Turbina oddaje moc częściowo na napęd suwaka a resztę przekazuje na wał silnika.



Rys. 21. Schemat wirującej głowicy zmieniającej stopień sprężania w zależności od obciążenia silnika. a - korpus cylindryczny suwaka; b - kanał gazowy; c - komora spalania przy pełnym obciążeniu; d - komora spalania przy częściowym obciążeniu; e - urządzenie do przesuwania osłowego; f - napęd suwaka.

64

Silniki suwakowe nie znalazły do chwili obecnej powszechniejszego zastosowania, istnieje jednak możliwość zastosowania ich z powodzeniem w połączeniu z częściowym napełnieniem, jako silników pojazdów mechanicznych.

Maszyny z obracającym się tłokiem

Dzisiaj maszyny z obracającymi się tłokami budowane są w nielicznych rozwiązaniach konstrukcyjnych i są to wyłącznie maszyny robocze.

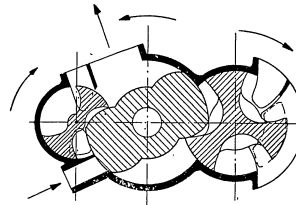
Możliwości, jakie posiadają maszyny z obracającymi się tłokami, są bardzo duże, a ilość możliwych rozwiązań konstrukcyjnych jest szczególnie zróżnicowana tak, że klasyfikacja jest prawie niemożliwa.

Ze znanych konstrukcji pomp i sprężarek należy wymienić takie rozwiązania jak: pompa trybikowa, sprężarka pojemnościowa Root'a, sprężarki Zentrix, Zoller, Powerplus itd.

Maszyny z obracającymi się tłokami posiadają obecnie następujące własności i zalety:

- wytwarzają wysokie ciśnienia w czynniku roboczym pod warunkiem, że jest on ze wszystkich stron zamknięty,
- wykorzystują duże szybkości strumienia,
- mogą osiągać wysokie obroty do 40.000 [obr./min.], a ograniczenie ich spowodowane jest tylko wytrzymałością łożysk i siłami odśrodkowymi rotorów,
- wykorzystanie w jednym rotorze wielu komór roboczych,
- dobre zrównoważenie sił masowych i spokojna praca rotorów,
- korzystny stosunek objętości roboczej do objętości całego urządzenia.

Istnieje możliwość takiego ukształtowania rotorów, by stwarzały warunki wykorzystania ich jako silnika spalinowego. Utworzenie odpowiedniej komory spalania przy dogodnym przebiegu sprężania i zaletach poprzednio wymienionych jak wyrównoważenie, małe wymiary itd., stwarza pewne perspektywy rozwojowe.



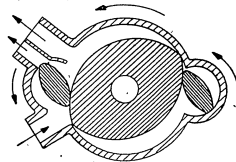
Rys. 22. Trzyosłowa maszyna z obracającymi się tłokami o stosunku obrotów 3:2:2

Opracowanie odpowiedniej formy takiego silnika jest jeszcze kwestią przyszłości. Na rys. 22 i 23 przedstawione są maszyny opracowane w latach 1935-1945.

1 - Biuletyn WAT nr 6

65

Maszyna z rys. 22 posiada trzy rotory o stosunku obrotów 3:2:2.
 W środku znajduje się napędowy rotor współpracujący z prawym trzyskrzydłowym rotorem sprzężającym. Trzeci lewy rotor dwuskrzydłowy usuwa resztki gazów. Podobnie zbudowane jest urządzenie na rys. 23; obroty są w tym wypadku jednakowe dla wszystkich rotorów.
 Rozwój maszyn z obracającymi się tłokami silników spalinyowych posiada na swej drodze kilka poważnych trudności, z których największymi są szczelnosc i chłodzenie. Rozwiązanie tych problemów może pozwolić na osiągnięcie z 1 [dm³] objętości urządzenia około 50 (KM) przy 20.000 do 40.000 (obr./min.).



Rys. 23. Trzysłowa maszyna z obracającymi się tłokami o stosunku obrotów 1:1:1

Perspektywy rozwoju tego typu silników istnieją, ale małe doświadczenie w budowie takich urządzeń nie pozwala na dokładniejszą ocenę ich możliwości. Należy podkreślić, że istnieją duże możliwości pracy badawczej w tym kierunku.

Silniki wysokoprężne

Rozpatrując perspektywy rozwoju silnika wysokoprężnego pod kątem korzyści, jakie może to mieć dla szerszego zastosowania go do napędu pojazdów mechanicznych, na pierwsze miejsce wysuwa się zagadnienie dolażenia. Dalszymi problemami konstrukcyjnymi rökującymi istotny postęp są dalsze ulepszenie komory spalania oraz ulepszenie całego układu zasilania.

Zagadnienie paliw dla silników wysokoprężnych ostatnio również jest przedmiotem obszernych badań i możliwe są dosyć istotne zmiany w jego rozwoju. Rozpatrzmy osobno zagadnienie dolażenia silnika wysokoprężnego i wspólnie pozostałe zagadnienia poświęcając im mniej uwagi, gdyż nie mają one specjalnie dużego znaczenia dla silników pojazdów mechanicznych.

Dolażenie silników wysokoprężnych

Właściwości silnika wysokoprężnego kwalifikują go w chwili obecnej jako najekonomiczniejszy silnik trakcyjny i pozwalają na stosowanie go we wszystkich cięższych pojazdach mechanicznych. Trudności w zastosowaniu tego silnika w samochodach osobowych polegają przede wszystkim na małej elastyczności i twardej pracy. Dolażenie zmniejsza te zasadnicze wady silnika wysokoprężnego i otwiera przed tym silnikiem nowe

możliwości. Dolażenie w tym wypadku nie posiada ograniczenia, jakim jest spalanie detonacyjne w silniku niskoprężnym. Zwiększenie mocy na skutek dolażenia stwarza konieczność zmian w układzie chłodzenia, ilość odprowadzanej ciepła bowiem wzrasta. Intensywność chłodzenia w silniku wysokoprężnym dolażanym układa się na ogół korzystniej aniżeli w silniku niskoprężnym i większej trudności z tej strony nie należy się spodziewać.

Konieczne zmiany w konstrukcji układu korbowego spowodowane zwiększonym obciążeniem nie sprawiają również większych trudności. Według badań R. Ricarda, okres zwłoki zapłonu w silniku z dolażeniem jest skrócony w zależności od wzrostu ciśnienia w cylindrze; stanowi to oczywiście poważną zaletę, gdyż okres zwłoki decyduje o przebiegu procesu spalania, a przede wszystkim o charakterze przyrostu ciśnienia w cylindrze. Silniki z dolażeniem posiadają łagodny przebieg spalania w przeciwieństwie do silników bez dolażenia i dlatego znacznie mniej twarde bieg.

Łagodny przebieg spalania w silniku z dolażeniem, spowodowany krótkim okresem zwłoki zapłonu i mniejszym wzrostem ciśnienia w drugim okresie spalania, powoduje również korzystniejszą sprawność mechaniczną silnika.

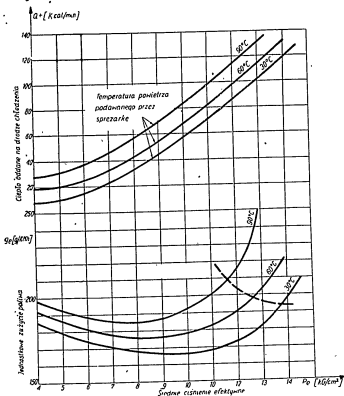
Ricardo określa η_m jako stosunek maksymalnego ciśnienia w cylindrze p_{max} do średniego ciśnienia indykowanego p_i . Podwójne zwiększenie ciśnienia na początku suwu sprężania powoduje wzrost średniego ciśnienia indykowanego także mniej więcej dwukrotnie, natomiast maksymalne ciśnienie w tym wypadku, wzrośnie tylko o 40 do 50%. Sprawność mechaniczna wzrośnie więc na skutek dolażenia.

Zwiększenie ciśnienia na początku sprężania dwukrotnie, podobnie jak to poprzednio przyjęliśmy, przy tej samej ilości obrotów silnika spowoduje wzrost ilości oddawanego ciepła przez ścianki komory spalania o około 60%. W ten sposób zmniejszone są straty ciepła, przy czym należy podkreślić, że silnik wysokoprężny jest szczególnie czuły na straty ciepła przy małych ilościach obrotów, gdyż przy zbyt intensywnym chłodzeniu mogą powstać trudności z samozapłonem. Wzrost wszystkich temperatur w silniku wysokoprężnym z dolażeniem jest spowodowany również tym, że powietrze nie tylko sprężane jest do wyższej temperatury, ale również nie jest chłodzone parującym w nim w tym samym czasie paliwem, jak to ma miejsce w silniku gaźnikowym. Dlatego zwiększenie intensywności chłodzenia jest konieczne, przy czym również poważną rolę może tu odegrać chłodzenie powietrza dostarczanego przez sprężarkę. Odnależy się dzięki temu temperaturę spalania i ilość odprowadzonego ciepła przez układ chłodzenia. Jak duży wpływ ma chłodzenie powietrza na jednostkowe zużycie paliwa i ilość odprowadzanej ciepła ilustruje wykres podany na rys. 24.

Wydaje się być rzeczą korzystną zastosowanie przedmuchiwania cylindra przez powietrze podawane ze sprężarki, gdyż przykrycie faz zaworów, podobnie jak w silniku z wtryskiem benzyny, nie przedstawia trudności. Jako rezultaty tego można wymienić:

- opóźnienie komory spalania z resztek gazów,
- chłodzenie ścianek a przede wszystkim zaworów i denka tłoka,
- obniżenie temperatury gazów spalinyowych do takiej wysokości, że turbina połączona z silnikiem może pracować bez specjalnego chłodzenia spalin.

Przeciwny takiemu rozwiązaniu jest Ricardo, który uważa, że przykrycie faz zaworów więcej przynosi szkody niż korzyści. Straty spowodowane zwiększeniem zapotrzebowania mocy przez sprężarkę nie są pokryte chłodzeniem cylindra, które jest słabe, gdyż według jego obserwacji powietrze przedmuchujące natychmiast przepływa od zaworu ssącego do zaworu wydechowego, nie oczyszczając cylindra z resztek spalin. Ochłodzenie spalin przed doprowadzeniem ich do turbiny spalinowej można łatwiej osiągnąć dzięki bezpośredniemu doprowadzeniu do spalin poza silnikiem odpowiedniej ilości powietrza ze sprężarki.



Rys. 24. Wpływ temperatury powietrza na ilość oddawanego ciepła na drodze chłodzenia i na jednostkowe zużycie paliwa w silniku wysokoprężnym z doladowaniem

Zastosowanie turbosprężarki przy doladowaniu silnika wysokoprężnego jest jeszcze bardziej wskazane, aniżeli w silniku niskoprężnym, gdyż temperatura spalin jest niższa na skutek większego nadmiaru powietrza. Doladowanie przy użyciu turbosprężarki jest celowe dla większych silników, których moc będzie przekraczała około 150 (KM). Natomiast dla mniejszych wskazany jest mechaniczny napęd sprężarki od wału silnika. Szybkoobrotowe trykcyjne silniki wysokoprężne wymagają zwiększenia momentu obrotowego zwłaszcza przy małych ilościach obrotów i dlatego sprężarka powinna wówczas dostarczać powietrze o podwyższonym ciśnieniu oraz wykazywać dobrą sprawność. Takiemu wymaganiu nie mogą

68

sprostać ani sprężarki odśrodkowe czy osiowe, ani pojemnościowe (z obracającym się tłokiem), gdyż przy mniejszych obrotach wykazują znaczne pogorszenie sprawności.

Najodpowiedniejszym rozwiązaniem wydaje się być sprężarka tłokowa o odpowiedniej konstrukcji, zaopatrzona w szereg przekładni.

Doladowanie silników wysokoprężnych dwusuwowych stanowi osobne zagadnienie. Ogólnie można powiedzieć, że zapotrzebowanie mocy na napęd sprężarki jest w tym wypadku większe.

Oceniając korzyści, jakie może dać doladowanie silników wysokoprężnych, należy stwierdzić, że odpowiednio skonstruowany silnik z doladowaniem może przy dzisiaj dostępnych materiałach pozwolić na dwukrotne powiększenie mocy bez specjalnych trudności.

Koniecznym w tym wypadku będzie tylko chłodzenie toka olejem, zawory drażone i regulacja temperatury powietrza podawanego przez sprężarkę. Doladowanie specjalne silników o mniejszej mocy może znacznie polepszyć ich własności jako silników pojazdów mechanicznych.

Przykładem takiego rozwiązania, umożliwiającego dobrą pracę silnika na całym zakresie obrotów, może być patent firmy „Leylands Motor”.

Pewną wagą w tym przypadku jest skomplikowana regulacja, wykonana przy pomocy urządzeń elektrycznych i pneumatycznych przekładni między silnikiem a sprężarką.

Inne zmiany w konstrukcji silnika wysokoprężnego

Ostatnio często powtarzaną konstrukcją komory spalania przy wtrysku bezpośrednim jest umieszczenie w toku komory kuliastej. Są to silniki typu MAK lub tak zwany system M. Polepsza on własności eksploatacyjne silnika stwarzając korzystniejsze warunki dla procesu spalania.

Silniki pojazdów mechanicznych to przede wszystkim silniki o wtrysku bezpośrednim. Postępy w konstrukcji pomp wtryskowych są dla nich szczególnie ważne. Do ciekawszych osiągnięć należy pod tym względem zaliczyć patenty zapewniające łatwiejszą i dokładniejszą regulację wtrysku, jak również ulepszenia wtryskiwaczy.

Intensywnie bada się obecnie możliwości zastosowania ciężkich paliw o małej liczbie cetanowej. Doladowanie jest jedną z metod pozwalającą na zwiększenie asortymentu paliw. Inne badania wykazują możliwość dodania do olejów pewnej ilości alkoholu. Pożądanym jest w tym wypadku mały dodatek benzyny do powietrza. Dodatek alkoholu pozwala na wykorzystanie ciężkich olejów bez szkodliwych następstw, tzn. tworzenia się nagarów i osadów.

Wyniki prób przeprowadzonych na silnikach wzorcowych pozwalają przypuszczać, że będzie można stosować jako paliwo samochodowe olej opalowy z dodatkiem nieodwodnionego alkoholu. Dodatek alkoholu do normalnego paliwa powoduje pewien wzrost mocy silnika.

Rozwarstwienie się mieszaniny oleju i alkoholu nasuwa możliwość stosowania tego ostatniego jako dodatku do zasysanego powietrza.

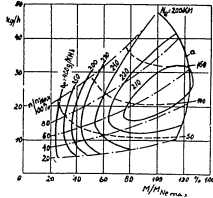
Ogólnie oceniając możliwości poprawy mocy, a przede wszystkim sprawności silników wysokoprężnych, wydaje się być prawdopodobnym, że stosunkowo łatwo będzie można osiągnąć w nich istotne rezultaty.

69

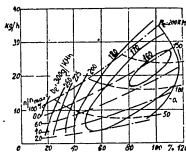
Porównanie niektórych własności silnika niskoprężnego i wysokoprężnego jako silnika pojazdów mechanicznych

Podstawą porównania jest wykres podający zależność odbieranego momentu w procentach momentu, jaki posiada dany silnik przy rozwijaniu maksymalnej mocy oraz godzinowego zużycia paliwa. Naniesione są również linie stałego jednostkowego zużycia paliwa, mocy i obrotów w procentach obrotów odpowiadających maksymalnej mocy.

Porównywane silniki mają jednakową moc $N_e = 200$ (KM) i nadają się do napędu ciężkiego pojazdu mechanicznego. Wykresy na rys. 25 i rys. 26 podają powyższe zależności i pozostałe dane dotyczące tych silników.



Rys. 25. Zależność godzinowego zużycia paliwa od stosunku M/M_{N_e} dla silnika niskoprężnego.



Rys. 26. Zależność godzinowego zużycia paliwa od stosunku M/M_{N_e} dla silnika wysokoprężnego z turbosprężarką.

Przewaga silnika wysokoprężnego jest wyraźna i dlatego powszechnie jest on stosowany do ciężkich pojazdów mechanicznych.

Turbiny gazowe jako silniki trakcyjne

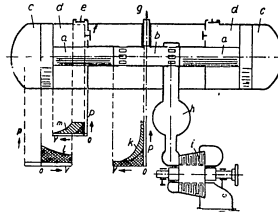
Od kilku co najmniej lat trwają badania nad zastosowaniem turbiny gazowej jako silnika pojazdu mechanicznego. W chwili obecnej co najmniej kilkanaście różnych typów samochodów z turbinami gazowymi znajduje się w próbnej eksploatacji. Dostępnym jest jednak duże zużycie paliwa nie pozwala na powszechniejsze zastosowanie tego silnika. Oprócz klasycznego rozwiązania, jakim jest już obecnie turbina dwustopniowa, poczyniono na turbinie napędzającej sprężarkę i turbinie napędowej pojazdu, ostatnio zyskała zastosowanie turbina z wolnym tłokiem jako silnik napędowy ciepłowozów i statków.

W dalszym ciągu rozpatrzmy podstawowe cechy takiej konstrukcji, gdyż może ona znaleźć zastosowanie jako silnik napędowy pojazdów mechanicznych, zwłaszcza ciężkich, oraz pomijając właściwości konstrukcyjne turbin klasycznych zajmijmy się tylko rozpatrzeniem możliwości zwiększenia ich sprawności i porównamy ich osiągi z obecnie powszechnie stosowanymi silnikami pojazdów mechanicznych nisko- i wysokoprężnymi.

Turbiny gazowe z wolnym tłokiem

Turbina gazowa z wolnym tłokiem, której schemat przedstawiony jest na rys. 27, pracuje w następujący sposób. Sama turbina odpowiada dokładnie rozwiązaniom stosowanym w normalnych konstrukcjach, może ona być jedno- lub wielostopniowa, przy czym napędza ona pojazd.

Inaczej natomiast rozwiązane jest źródło gonących gazów i sprężonego powietrza. Jest to urządzenie o dwu wolnych tłokach pracujących przeciwnie w sposób podobny jak w silniku wysokoprężnym dwusuwowym. Energia uzyskana służy do sprężenia powietrza a gazy spalinowe przepływają do odpowiedniego zbiornika, z którego następnie idą do turbiny.



Rys. 27. Schemat turbiny gazowej z wolnym tłokiem: a — tłok; b — objętość cylindra; c — poduszka powietrzna; d — objętość sprężania powietrza; e — zawór wlotowy; f — zawór ciśnieniowy; g — wyrzkiwacz; h — zbiornik gazów; i — turbina gazowa; kl i m w układzie pV podają zmiany wywołane pracą silnika wysokoprężnego jako sprężarki i źródła gazów dla turbiny gazowej.

Tłoki silnika wysokoprężnego połączone są z tłokami sprężarki tłokowej. Zaznaczone na rys. 27 wykresy w układzie pV podają zasady pracy poszczególnych części tego urządzenia. Turbiny z wolnym tłokiem znalazły zastosowanie jako silniki okrętowe i ciepłowozów.

Porównanie sprawności turbin gazowych różnych typów i silników tłokowych

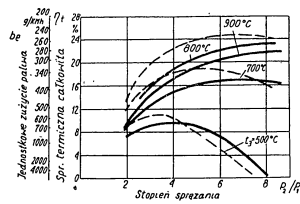
Jako pierwszą zależność rozpatrzmy związek między całkowitą sprawnością termiczną turbiny gazowej i jednostkowym zużyciem paliwa, a temperaturą gazów wpływających na łopatki i stopniem sprężenia. Wykres przedstawiony na rys. 28 podaje te zależności dla turbin bez wymienników ciepła — linia ciągła — i z wymiennikami — linia przerywana. Decydującym czynnikiem jest temperatura gazów i w zależności od niej dla pewnego stopnia sprężenia osiągana jest maksymalna sprawność.

Wykres sporządzony jest dla mocy turbiny wynoszącej około 200 (KM). Temperatura 800° C odpowiada osiągom turbin lotniczych. Wymiennik ciepła posiada sprawność $\eta_w = 50\%$ i wpływ jego wyraża się przede wszystkim w obniżeniu stopnia sprężenia, przy którym osiągana sprawność całkowita jest największa.

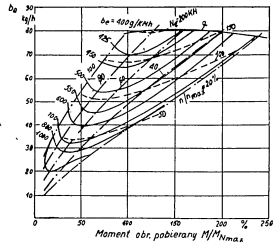
Następne trzy wykresy (rys. 29, 30, 31) podają dla trzech rodzajów turbin o tej samej mocy zależność pomiędzy momentem oddawanym w procentach odpowiadających największej mocy na jednostkowym zużyciu godzinowym paliwa, temperaturą gazów na łopatkach turbiny oraz mocą turbiny.

Z przytoczonych wykresów wywnioskować można o korzyści, jaką daje turbina w stosunku do silnika tłokowego, jeżeli chodzi o skrzynki biegów. Porównanie pomiędzy silnikiem spalinowym tłokowym nisko- i wysokopiętnym z doladowaniem i turbiną gazową z wymiennikiem i bez, podaje wykres rys. 32.

Oznaczenia, jak na poprzednich wykresach. Porównanie silnika niskopiętnego i wysokopiętnego potwierdza przewagę tego ostatniego.



Rys. 29. Zależność całkowitej sprawności termicznej i jednostkowego zużycia paliwa od stopnia sprężania dla turbiny gazowej. Linie ciągłe odpowiadają turbinom bez wymienników ciepła. Linia przerywana turbinom z wymiennikami ciepła o sprawności = 50%



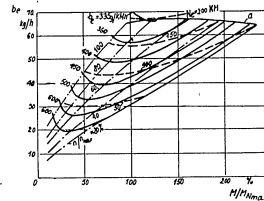
Rys. 30. Zależność godzinowego zużycia paliwa od pobieranego momentu obrotowego turbiny gazowej bez wymiennika o stopniu sprężania $P_2/P_1 = 3,8$

Zmiana wielkości pobieranego momentu bardzo nieznacznie powiększa jednostkowe zużycie paliwa, natomiast w silniku niskopiętnym pobieranie niepełnego momentu obrotowego związane jest ze znacznym podwyższeniem zużycia paliwa. Właściwość ta jest specjalnie ważna dla silnika pojazdu mechanicznego, gdyż pracuje on najczęściej na niepełnym obciążeniu.

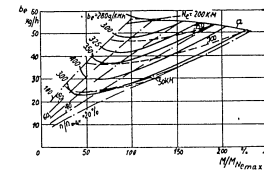
Przewaga silników tłokowych nad turbinami jest w chwili obecnej dosyć jeszcze znaczna.

Ostatnie cztery wykresy, przedstawione na rys. 33, 34, 35, 36 podają dla czterech poprzednio porównywanych silników zużycie paliwa na tonę ładunku i 100 (KM) jazdy w zależności od szybkości jazdy samochodu i jego ciężaru.

Na przykład dla silnika wysokopiętnego z doladowaniem punkt A na wykresie rys. 33 podaje, że przy szybkości jazdy 60 (KM/godz.) i ciężarze samochodu $G = 16$ (t), zużywane będzie $b_e = 1,8$ (l/t 100 km), natomiast przy ciężarze powiększonym do $G = 32$ (t) zużycie paliwa wyniesie $b_e = 0,91$ (l/t 100 km). Dla tych samych założeń silnik niskopiętny będzie

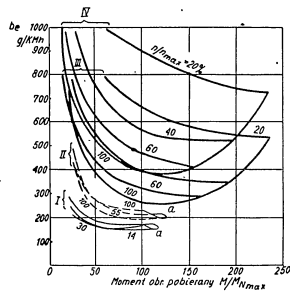


Rys. 30. Zależność godzinowego zużycia paliwa od pobieranego momentu obrotowego turbiny gazowej z wymiennikiem ciepła o stopniu sprężania $P_2/P_1 = 5,5$

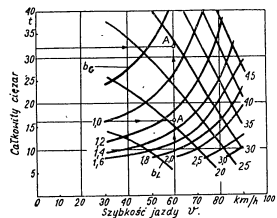


Rys. 31. Zależność godzinowego zużycia paliwa od pobieranego momentu obrotowego turbiny gazowej bez wymiennika ciepła o stopniu sprężania $P_2/P_1 = 5,5$

miał $b_e = 2,2$ (l/t 100 km) i $b_e = 1,4$ (l/t 100 km). Wynosi to w procentach w porównaniu do silnika wysokoprężnego 70% i 54%. Turbina gazowa w najprostszej konstrukcji — wykres rys. 34 — dla podobnych warunków będzie posiadała $b_e = 4,6$ (l/t 100 km) i $b_e = 3$ (l/t 100 km), co w procentach zużycia silnika wysokoprężnego wyniesie 253% i 230%. Zastosowanie wymiennika i zwiększenie stopnia sprężania zmniejszy prawie o połowę zużycie paliwa na tonę i sto kilometrów i dla takiej turbiny otrzymamy zgodnie z wykresem rys. 36 $b_e = 3,2$ (l/t 100 km) i $b_e = 2,1$ (l/t 100 km), a w procentach zużycia silnika wysokoprężnego 146% i 130%.



Rys. 32. Porównanie własności trakcyjnych silnika niskoprężnego i wysokoprężnego pracującego z doładowaniem i turbiny gazowej

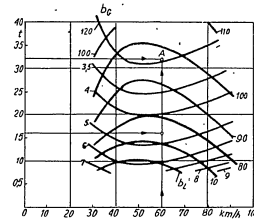


Rys. 33. Zużycie paliwa w silniku wysokoprężnym pracującym z doładowaniem

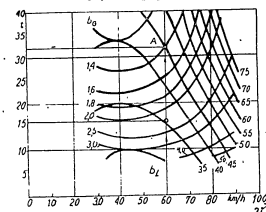
Zwiększenie sprawności turbin gazowych jest możliwe przez zastosowanie obiegu zamkniętego, chłodzenia międzystopniowego przy wyższych stopniach sprężania i inne udoskonalenia. Konstrukcje takie jednak narazie nie nadają się do zastosowania jako silniki pojazdów mechanicznych z uwagi na duże zapotrzebowanie miejsca.

Reasumując należy stwierdzić, że postęp w rozwoju silników pojazdów mechanicznych możliwy jest w trzech kierunkach.

Pierwszym z nich jest udoskonalenie stosowanych silników spalinowych tłokowych, tak nisko- jak i wysokoprężnych. Zagadnienie to łączy się z zastosowaniem ulepszonych paliw lub nowych ich rodzajów. Postęp może się również wyrazić zastosowaniem wtrysku paliw lekkich, jak to było powyżej omówione i daje to już w chwili obecnej poważne korzyści. Dalsze pozytywne rezultaty mogą być uzyskane przez zastosowanie doładowania silników. Ostatnio budowane silniki wysokoprężne o większej mocy przeznaczone dla pojazdów mechanicznych z reguły są zaopatrzone w sprężarkę. Silniki niskoprężne mogą również uzyskać przez doładowa-



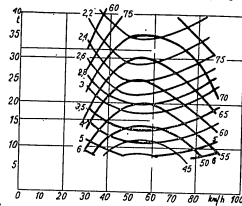
Rys. 34. Zużycie paliwa turbiny gazowej bez wymiennika ciepła o stopniu sprężania $P_2/P_1 = 3,8$



Rys. 35. Zużycie paliwa silnika niskoprężnego

nie przy użyciu odpowiednio skonstruowanej sprężarki pewne polepszenie osiągnąć. Obydwa przytoczone sposoby ulepszenia silnika pojazdu mechanicznego są już w chwili obecnej realizowane na szerszą skalę i stwarzają dalsze możliwości postępu.

Zwiększenie stopnia rozprężenia również częściowo już obecnie realizowane wydaje się być słusznym kierunkiem rozwojowym.



Rys. 30. Zużycie paliwa turbiny gazowej z wymiennikiem ciepła o stopniu sprężania $P_2/P_1 = 5,5$

Usunięcie natomiast rozrządu zaworowego, jakkolwiek od dawna proponowane i jak ilustrują to przykłady w wielu wariantach opracowywane, stwarza szereg coraz to innych trudności i nie zostało powszechniej zastosowane pomimo, że poświęcono temu zagadnieniu bardzo dużo uwagi. Postęp w tym kierunku wydaje się być dość problematyczny, gdyż istnieją inne możliwości znacznie łatwiejsze do zrealizowania, a dające podobny efekt.

Drugim wyraźnym kierunkiem rozwojowym silników pojazdów mechanicznych jest zastosowanie silnika wirnikowego, którego przedstawicielem są w tym wypadku turbiny gazowe różnego typu. Brak doświadczenia w budowie silników wirnikowych małej mocy hamuje jeszcze w chwili obecnej ich powszechniejsze zastosowanie. Jednak systematyczne usiłowania w tym kierunku doprowadzą prawdopodobnie do wyrugowania silnika spalinalowego tłokowego jako silnika pojazdów mechanicznych.

Wszystko wskazuje na to, że postęp w tym kierunku musi nastąpić i że przewaga silników wirnikowych będzie widoczna nie tylko w dziedzinie silników dużej mocy.

Przytoczone powyższej możliwości zmian konstrukcyjnych i ulepszeń silnika pojazdów mechanicznych prowadzi do wniosku, że w chwili obecnej jest on jeszcze daleki od doskonałości. Istnienie możliwości zmian w tym wypadku nie jest równoznaczne z koniecznością ich wprowadzania. Postęp w budowie silników pojazdów mechanicznych będzie niewątpliwie się odbywał, jednak tempo jego realizacji będzie znacznie wolniejsze, aniżeli na przykład w budowie silników lotniczych, gdzie każda możliwość zmian konstrukcyjnych przede wszystkim zwiększających szybkość lotu jest równocześnie koniecznością.

76

Trzecim i ostatnim kierunkiem, w którym możliwy jest postęp w budowie silników pojazdów mechanicznych, będzie niewątpliwie w dalszej nieco przyszłości budowa lekkiego silnika wykorzystującego energię termojądrową.

Jeżeli postęp w budowie silników pojazdów mechanicznych odbywał się nieco wolniej niż w innych dziedzinach techniki, to jedną z przyczyn było to, że silnik spalinalowy tłokowy spełniał w zasadzie zadanie, jakie przed nim stawiano w pojazdach mechanicznych. Zamówienie społeczne było w tym wypadku spełnione i istniejące możliwości zmian nie były realizowane w tym stopniu, jak to miało miejsce dla szeregu innych silników.

Planowa gospodarka i długotrwałe plany badawcze doprowadzą niewątpliwie do zmiany w traktowaniu tego zagadnienia i należy się spodziewać istotnego postępu w rozwoju silników pojazdów mechanicznych nawet w bliskiej przyszłości.

LITERATURA:

1. Bolesława Mielnikowa — „Paliwa płynne i oleje silnikowe” PWT — 1951 r.
2. H. M. Glagolew — „Rabocze procesy dwigatelnej wnutrenego szgorania” Maszgit — 1950 r.
3. W. K. Kozłkin, R. Lewin — „Dwigateli so swobodno dwiuzaszczymisla porazniami” — Maszgit — 1954 r.
4. N. Diazenko — „Awiotraktorijne dwigateli z nadduwom” Maszgit — 1953 r.

CZASOPISMA:

1. Technika Motoryzacyjna — Nr 2 — 1955 r.
2. Automobilnaja i traktornaja promyszlelnost — Nr 5 i 8 — 1951/52.
3. VDI — Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure Nr 10, Nr 26 — 1941 r. Nr 8 — 1955 r.
4. ATZ — Automobiltechnische Zeitschrift Nr 6 — 1954 r.
5. MTZ — Motortekhnische Zeitschrift Nr 2 — 1955 r.
6. Automobile Engineer Nr 6 — 1954 r.

Kpt. mgr. inż. T. KASPRZYK

WYZNACZENIE REAKCJI DROGI NA KOŁA SAMOCHODU TERENOWEGO 4x4

Niniejszy artykuł stanowi wprowadzenie do dynamiki samochodu terenowego. Zajmuje się on w szczególności wyznaczeniem reakcji drogi na koła dwuosowego samochodu terenowego posiadającego napęd na cztery koła.

Dokładne wyznaczenie reakcji drogi na koła samochodu jest niezbędne dla rozwiązywania szeregu zadań z mechaniki samochodu. Między innymi znajomość tej reakcji pozwala badać własności dynamiczne, które są zależne od przyczepności kół do drogi. Również zbadanie stateczności ruchu samochodu jest możliwe dopiero wtedy, gdy znane są reakcje drogi na jego koła.

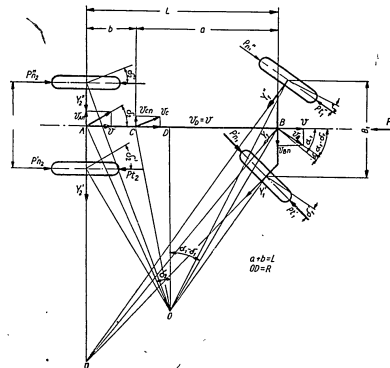
Autor ogranicza się chwilowo do przedstawienia sposobu wyznaczenia reakcji drogi na koła samochodu 4x4 dla szczególnego przypadku jego ruchu, a mianowicie ruchu, na płaszczyźnie poziomej, traktując ten przypadek ruchu jako przykład. Następnie przejście do przypadku ruchu po drodze nachylonej do poziomu pod kątem nie będzie zresztą wymagać niczego więcej, jak tylko wprowadzenia do odpowiednich równań składowych ciężaru samochodu. Zakładamy następnie, że samochód rozpatrywany znajduje się na zakręcie, porusza się ruchem niejednostajnym oraz że koła jego posiadają ogumienie elastyczne we wszystkich kierunkach, to znaczy w kierunku promieniowym, stycznym i bocznym, jak to ma miejsce w przypadku rzeczywistych opon samochodowych. W takim przypadku reakcje drogi posiadające składowe normalne, styczne i boczne.

Składową normalną reakcji drogi na koło nazywamy tu składową leżącą w płaszczyźnie koła i prostopadłą do płaszczyzny drogi; składową styczną — leżącą w tejże płaszczyźnie i w płaszczyźnie drogi (styczna do koła); składową boczną — leżącą w płaszczyźnie drogi i prostopadłą do dwóch pozostałych składowych.

Poza tym rozważamy ruch określonego wyżej samochodu po twardej, nieodkształcalnej nawierzchni, to znaczy takżej nawierzchni, której odkształcenia w miejscu zetknięcia się z kołami samochodu są znacznie mniejsze od odkształceń kół, wobec czego można je pominąć.

Biorąc pod uwagę, że na przednich kołach (kierowanych) występują w rozważanym przypadku ruchu dość duże momentami obrotowymi, nie będziemy przywołujemy do tych kół momentami obrotowymi, które stosuje się zazwyczaj przy rozpatrywaniu samochodu posiadającego tylko osi napędową — tylną, kiedy to pomija się np. wpływ wartości kąta skrętu kół przednich na wielkość przyspieszenia środka ciężkości samochodu oraz wpływ reakcji stycznych na kołach kierowanych na to przyspieszenie. Wprowadzenie takich uproszczeń dla samochodu 4x4 pociągałoby za sobą zbyt duże odchylenie otrzymanych wyników od rzeczywistych wartości.

Do wyznaczenia reakcji na kołach podejmiemy w następujący sposób: — traktując samochód jako ciało sztywne będziemy stosowali równania jego ruchu, — wywołany sprężystością zawieszenia wpływ momentu obrotowego, doprowadzonego od wałów pędnych do osi napędowych, na wielkość reakcji normalnych uwzględnimy osobno już po wyznaczeniu ich z równań ruchu samochodu. Na rys. 1. pokazany jest schemat dwuosowego samochodu, którego wszystkie koła są napędowe w rozważanym przypadku jego ruchu.



Rys. 1.

Środek ciężkości samochodu położony jest w punkcie C. Środek skrętu samochodu znajduje się w punkcie O. W przypadku ruchu samochodu posiadającego koła sztywne w kierunku bocznym środek skrętu samochodu położony jest, jak wiadomo, na przedłużeniu jego osi tylnej. Jeżeli jednak ogumienie jest elastyczne również w kierunku bocznym, to w czasie ruchu samochodu po torze krzywoliniowym wystąpi zjawisko tak zwanego bocznego znośnienia kół. Kąty znośnienia poszczególnych kół są oznaczone na rysunkach literą δ z odpowiednim znacznikiem i indeksem: dla kół przednich indeksem 1, dla tylnych 2; dla kół wewnętrznych znacznikiem „prim”, dla zewnętrznych — „bis”.

Ponieważ zagadnienie obliczenia wszystkich reakcji na kołach samochodu jest, jak łatwo można wykazać, przypadkiem statycznie niewyznaczalnym, zrezygnujemy z wyznaczenia składowych bocznych reakcji drogi

na poszczególne koła. Będziemy brali pod uwagę sumę reakcji bocznych, występujących na tylnych kołach samochodu, działającą w kierunku równoległym do osi tylnej i oznaczamy ją przez $V_2 = Y_2 + Y_2'$. Za punkt przyłożenia wypadkowej składowych bocznych reakcji drogi na koła przednie będziemy uważali rzut środkowego punktu osi przedniej na płaszczyznę drogi (rys. 1 pkt B). Jednocześnie przyjmujemy, że koła przednie są skrecone o jednakowy kąt α_1 od położenia środkowego. Podobnie uważamy za równe kąty znośzenia bocznych lewych i prawych kół (zewnątrznych i wewnętrznych) odpowiednich osi, to znaczy:

$$\delta_1 \approx \delta_1' \approx \delta_1; \quad \delta_2 \approx \delta_2' \approx \delta_2$$

Można łatwo udowodnić, że jeśli rozstawy kół przednich B_1 i tylnych B_2 są znacznie mniejsze od promienia skrętu $R = OD$, to przyjęta równość kątów bocznych znośzenia nie pociąga za sobą istotnych błędów, jeśli tylko nie występuje poslizg wewnętrznych kół napędowych (w naszym przypadku prawych). Pozostałe wielkości oznaczone na rys. 1 to:

- $P_{n1}; P_{n1}'$ — siły napędowe na wewnętrznym i zewnętrznym kole napędowym osi przedniej;
- $P_{n2}; P_{n2}'$ — siły napędowe na wewnętrznym i zewnętrznym kole napędowym osi tylnej;
- $P_{t1}; P_{t1}'$ — siły oporu toczenia, występujące na przednich kołach samochodu;
- $P_{t2}; P_{t2}'$ — siły oporu toczenia, występujące na tylnych kołach samochodu;
- $M_1; M_1'$ — momenty oporu toczenia, występujące na przednich kołach samochodu;
- $M_2; M_2'$ — momenty oporu toczenia, występujące na kołach tylnych samochodu;
- $Z_1; Z_1'$ — składowe normalne reakcje drogi na przednie koła samochodu; wewnętrzne i zewnętrzne;
- $Z_2; Z_2'$ — składowe normalne reakcje drogi na tylne koła samochodu;
- P_p — siła oporu powietrza działająca na samochód;
- W — współczynnik oporu powietrza;
- ω — prędkość kątowa samochodu w jego ruchu obrotowym wokół środka skrętu;
- v — prędkość samochodu;
- $v_A; v_B; v_C$ — prędkości punktów A, B, C oznaczonych na rys. 1;
- r_k — promień toczny koła (założony jednakowy dla wszystkich kół samochodu);
- L, a, b — rozstaw osi samochodu oraz odległości od nich prostej pionowej przechodzącej przez środek ciężkości samochodu;
- h_p — odległość linii działania siły oporu powietrza od powierzchni drogi;
- h_c — odległość środka ciężkości samochodu od powierzchni drogi;

- $B_1; B_2$ — rozstawy kół samochodu: przednich i tylnych;
- f — współczynnik oporu toczenia kół;
- α_1 — kąt skrętu przednich kół samochodu, przyjęty jednakowy dla obydwóch kół;
- m — masa samochodu;
- ρ — promień bezwładności samochodu względem prostej pionowej przechodzącej przez środek ciężkości samochodu;
- g — przyspieszenie ziemskie.

Należy zaznaczyć, że siły napędowe na kole samochodu nazywamy tu stosunek momentu obrotowego, przyłożonego do koła, do promienia tocznego tego koła.

Przyjmujemy następnie układ współrzędnych, którego środek leży w środku ciężkości samochodu C; jedna oś (z) tego układu jest skierowana równoległe do AB i ma zwrot taki jak szybkość v samochodu; druga oś (y) jest prostopadła do płaszczyzny drogi i zwrócona do góry; trzecia oś (g) jest prostopadła do dwóch pierwszych, to znaczy do z i z, oraz zwrócona jest w stronę, po której leży środek skrętu samochodu. Poza tym przyjmujemy oznaczenia:

- a_c — składowa przyspieszenia środka ciężkości samochodu, leżąca w podłużnej płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez środek ciężkości i równoległa do płaszczyzny drogi (rys. 2 i rys. 3);
- a_g — składowa przyspieszenia środka ciężkości samochodu prostopadła do składowej a_c i równoległa do płaszczyzny drogi (rys. 3).

Korzystając z tak obranego układu współrzędnych napiszemy równania ruchu środka masy samochodu i równania ruchu samochodu wokół jego środka masy, przy czym nie uwzględniamy tu ruchu względnego nadwozia względem kół i mostów wynikającego ze sprężystości resorów oraz z tego, że koła przednie mogą zmienić kąt skrętu wywołany działaniem kierowcy na kierownicę. Po wprowadzeniu tych upraszczających założeń, które nie wpłyną w istotnym stopniu na dokładność otrzymanych z ustalonych równań ruchu wyników, będziemy mogli uważać, że napisane niżej równania określają ruch samochodu.

1. $\sum P_x = (P_{n1} + P_{n1}') \cos \alpha_1 + (P_{n2} + P_{n2}') - P_p - Y_1 \sin \alpha_1 +$
 $- P_{t1} \cos \alpha_1 - P_{t2} \cos \alpha_1 - P_{t1}' - P_{t2}' = m \cdot a_c$
2. $\sum P_y = Y_1 \cos \alpha_1 + Y_2 + (P_{n1} + P_{n1}') \sin \alpha_1 - P_{t1} \sin \alpha_1 +$
 $- P_{t2} \sin \alpha_1 = m \cdot a_g$
3. $\sum P_z = Z_1 + Z_1' + Z_2 + Z_2' = m \cdot g$
4. $\sum M_x = -(P_{n1} + P_{n1}') h_c \sin \alpha_1 - Y_1 h_c \cos \alpha_1 - Y_2 h_c - Z_1' \cdot \frac{B_1}{2} +$
 $+ Z_1' \cdot \frac{B_1}{2} - Z_2' \cdot \frac{B_2}{2} + Z_2' \cdot \frac{B_2}{2} + P_{t1}' h_c \sin \alpha_1 + P_{t2}' h_c \sin \alpha_1 +$
 $- M_x' \sin \alpha_1 - M_x'' \sin \alpha_1 = 0$

$$5. \sum M_0 = -Y_1 h_c \sin \alpha_1 + Z_1' a + Z_1' a - Z_2' b - Z_2' b - P_n' h_c \cos \alpha_1 +$$

$$- P_n' h_c \cos \alpha_1 - P_n' h_c - P_n' h_c + M_n' \cos \alpha_1 + M_n' \cos \alpha_1 +$$

$$+ M_n' + M_n' + (P_n' + P_n') h_c \cos \alpha_1 + (P_n' + P_n') h_c + P_n' (h_p - h_c) = 0$$

$$6. \sum M_x = -Y_1 a \cos \alpha_1 + Y_2 b - (P_n' - P_n') \frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 +$$

$$- (P_n' + P_n') a \sin \alpha_1 - (P_n' - P_n') \frac{B_2}{2} - P_n' \frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 + P_n' \frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 +$$

$$+ P_n' a \sin \alpha_1 + P_n' a \sin \alpha_1 - P_n' \frac{B_2}{2} + P_n' \frac{B_2}{2} = m \cdot r^2 \frac{d\omega}{dt}$$

Sily oporu toczenia oraz momenty oporu toczenia możemy wyrazić przez współczynnik oporu toczenia, składowe normalne reakcji drogi na kola oraz promień toczny kola; będziemy wtedy mieli dodatkowe równania:

$$7. P_n' = f \cdot Z_1' \quad 11. M_n' = f \cdot Z_1' \cdot r_k$$

$$8. P_n' = f \cdot Z_1' \quad 12. M_n' = f \cdot Z_1' \cdot r_k$$

$$9. P_n' = f \cdot Z_2' \quad 13. M_n' = f \cdot Z_2' \cdot r_k$$

$$10. P_n' = f \cdot Z_2' \quad 14. M_n' = f \cdot Z_2' \cdot r_k$$

Należy dla jasności przypomnieć, że wektor momentu oporu toczenia kola jest prostopadły do płaszczyzny kola, a wchodzące do równań 1-6 wielkości M_n' , $\sin \alpha_1$, M_n' , $\cos \alpha_1$; M_n' , $\sin \alpha_1$, M_n' , $\cos \alpha_1$ są składowymi momentu toczenia równoległymi do osi x lub y.

Po podstawieniu do równań 1-6 wielkości sił i momentów wyrażonych przez równania 7-14 oraz po uporządkowaniu wyrazów w tych równaniach według niewiadomych reakcji na kola otrzymamy:

$$15. Y_1 \sin \alpha_1 + Z_1' f \cos \alpha_1 + Z_1' f \cos \alpha_1 + f Z_1' + f Z_1' = (P_n' + P_n') \cos \alpha_1 +$$

$$+ (P_n' + P_n') - P_n' - m a c_c$$

$$16. Y_1 \cos \alpha_1 + Y_2 - Z_1' f \sin \alpha_1 - Z_1' f \sin \alpha_1 = m a c_c - (P_n' + P_n') \sin \alpha_1$$

$$17. Z_1' + Z_1' + Z_2' + Z_2' = mg$$

$$18. Y_1 h_c \cos \alpha_1 + Y_2 h_c + Z_1' \left(\frac{B_2}{2} f h_c \sin \alpha_1 + f r_k \sin \alpha_1 \right) +$$

$$- Z_1' \left(\frac{B_2}{2} f h_c \sin \alpha_1 - f r_k \sin \alpha_1 \right) + Z_2' \frac{B_2}{2} - Z_2' \frac{B_2}{2} = - (P_n' + P_n') h_c \sin \alpha_1$$

$$19. Y_1 h_c \sin \alpha_1 + Z_1' (f h_c \cos \alpha_1 - f r_k \cos \alpha_1 - a) + Z_1' (f h_c \cos \alpha_1 +$$

$$- f r_k \cos \alpha_1) + Z_2' (f h_c + b - f r_k) + Z_2' (f h_c + b - f r_k) = (P_n' + P_n') h_c \cos \alpha_1 +$$

$$+ (P_n' + P_n') h_c + P_n' (h_p - h_c)$$

$$20. Y_1 a \cos \alpha_1 - Y_2 b + Z_1' \left(\frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 - a f \sin \alpha_1 \right) +$$

$$- Z_1' \left(\frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 + a f \sin \alpha_1 \right) + Z_2' f \frac{B_2}{2} - Z_2' f \frac{B_2}{2} = m r^2 \frac{d\omega}{dt} - (P_n' - P_n') \frac{B_2}{2} +$$

$$- (P_n' - P_n') \frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 - (P_n' + P_n') a \sin \alpha_1$$

Otrzymaliśmy 6 równań, w których występuje 6 niewiadomych Y_1 , Y_2 , Z_1' , Z_2' , Z_1' , Z_2' będących składowymi reakcji drogi na kola oraz niewiadome składowe $a c_c$ i $a c_p$ przyspieszenia środka ciężkości samochodu.

Przystąpimy do rozwiązania układu równań 15-20 traktując składowe przyspieszenia $a c_c$ i $a c_p$ jako wiadome. Otrzymane w ten sposób wyrażenia na składowe reakcje będą funkcjami tych składowych przyspieszeń $a c_c$ i $a c_p$, których sposób wyznaczenia podamy w następującej kolejności korzystając z zależności kinematycznych oraz wiążąc je z parametrami charakteryzującymi elastyczność ogumienia kół samochodu. Z równania 16 wyznaczamy Y_2 :

$$Y_2 = m a c_p - (P_n' + P_n') \sin \alpha_1 - Y_1 \cos \alpha_1 + Z_1' f \sin \alpha_1 + Z_1' f \sin \alpha_1$$

i podstawimy do równań 18 i 20, które wtedy przyjmują postać:

$$18'. Z_1' \left(\frac{B_2}{2} + f r_k \sin \alpha_1 \right) - Z_1' \left(\frac{B_2}{2} - f r_k \sin \alpha_1 \right) + Z_2' \frac{B_2}{2} - Z_2' \frac{B_2}{2} = - m h_c a c_c$$

$$20'. Y_1 L \cos \alpha_1 + Z_1' \left(\frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 - a f \sin \alpha_1 - b f \sin \alpha_1 \right) +$$

$$- Z_1' \left(\frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 + a f \sin \alpha_1 + b f \sin \alpha_1 \right) + Z_2' f \frac{B_2}{2} +$$

$$- Z_2' f \frac{B_2}{2} = m r^2 \frac{d\omega}{dt} - (P_n' - P_n') \frac{B_2}{2} - (P_n' - P_n') \frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 +$$

$$- (P_n' + P_n') L \sin \alpha_1 + m b a c_p$$

Z równania 15 wyznaczamy Y_1 i podstawimy do równań 18 i 20'; otrzymamy:

$$Y_1 = \frac{1}{\sin \alpha_1} \left[(P_n' + P_n') \cos \alpha_1 + (P_n' + P_n') - P_n' - m a c_c + \right.$$

$$\left. - Z_1' f \cos \alpha_1 - Z_1' f \cos \alpha_1 - f Z_1' - f Z_1' \right]$$

$$19'. - Z_1' (a + f r_k \cos \alpha_1) - Z_1' (a + f r_k \cos \alpha_1) + Z_2' (b - f r_k) +$$

$$+ Z_2' (b - f r_k) = m h_c a c_c + P_n' h_c$$

$$20''. Z_1 \left(f \frac{B_1}{2} \cos \alpha_1 - f L \sin \alpha_1 - f L \frac{\cos^2 \alpha_1}{\sin \alpha_1} \right) - Z_1'' \left(f \frac{B_1}{2} \cos \alpha_1 + \right. \\ \left. + f L \sin \alpha_1 + f L \frac{\cos^2 \alpha_1}{\sin \alpha_1} \right) + Z_2 \left(f \frac{B_2}{2} - f L \operatorname{ctg} \alpha_1 \right) - Z_2'' \left(f \frac{B_2}{2} + \right. \\ \left. + f L \operatorname{ctg} \alpha_1 \right) = m p^2 \frac{d\omega}{dt} - (P_n'' - P_n') \frac{B_1}{2} \cos \alpha_1 - (P_n'' + P_n') L \sin \alpha_1 + \\ - (P_n'' - P_n') \frac{B_2}{2} - (P_n'' + P_n') L \frac{\cos^2 \alpha_1}{\sin \alpha_1} - (P_n'' + P_n') L \operatorname{ctg} \alpha_1 + \\ + P_p L \operatorname{ctg} \alpha_1 + m L \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot a_c + m b a_{c_0}$$

Otrzymane w ten sposób cztery równania zestawiamy teraz dla przejrzystości razem w postaci uproszczonej przez zastosowanie podstawienia w miejscu na ogół długich współczynników przy niewiadomych następujących prostych współczynników w postaci liter.

$$e_1 = mg; \quad a_1 = \frac{B_1}{2} + f r_k \sin \alpha_1; \quad b_1 = -\frac{B_1}{2} + f r_k \sin \alpha_1; \\ c_2 = \frac{B_2}{2}; \quad d_2 = -\frac{B_2}{2}; \quad e_2 = -m h_c a_{c_0}; \\ a_3 = a + f r_k \cos \alpha_1; \quad b_3 = a + f r_k \cos \alpha_1; \quad c_3 = -b + f r_k; \\ d_3 = -b + f r_k; \quad e_3 = -m h_c a_{c_0} - P_p h_p; \\ a_4 = f \frac{B_1}{2} \cos \alpha_1 - \frac{f L}{\sin \alpha_1}; \quad b_4 = -f \frac{B_1}{2} \cos \alpha_1 - \frac{f L}{\sin \alpha_1} \\ c_4 = f \frac{B_2}{2} - f L \operatorname{ctg} \alpha_1; \quad d_4 = -f \frac{B_2}{2} - f L \operatorname{ctg} \alpha_1; \\ e_4 = m p^2 \frac{d\omega}{dt} + P_n' \left(\frac{B_1}{2} \cos \alpha_1 - \frac{L}{\sin \alpha_1} \right) - P_n'' \left(\frac{B_1}{2} \cos \alpha_1 + \frac{L}{\sin \alpha_1} \right) + \\ + P_n' \left(\frac{B_2}{2} - L \operatorname{ctg} \alpha_1 \right) - P_n'' \left(\frac{B_2}{2} + L \operatorname{ctg} \alpha_1 \right) + P_p L \operatorname{ctg} \alpha_1 + m (L \operatorname{ctg} \alpha_1 a_c + b a_{c_0})$$

Otrzymany układ równań będzie miał postać:

$$17''. Z_1 + Z_1' + Z_2 + Z_2' = e_1 \\ 18''. a_2 Z_1 + b_2 Z_1' + c_2 Z_2 + d_2 Z_2' = e_2 \\ 19''. a_3 Z_1 + b_3 Z_1' + c_3 Z_2 + d_3 Z_2' = e_3 \\ 20'''. a_4 Z_1 + b_4 Z_1' + c_4 Z_2 + d_4 Z_2' = e_4$$

Rozwiązując ostatni układ czterech równań z czterema niewiadomymi otrzymamy:

$$Z_1 = \begin{vmatrix} e_1 & 1 & 1 & 1 \\ e_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\ e_3 & b_3 & c_3 & d_3 \\ e_4 & b_4 & c_4 & d_4 \end{vmatrix}; Z_1' = \begin{vmatrix} 1 & e_1 & 1 & 1 \\ a_2 & e_2 & c_2 & d_2 \\ a_3 & e_3 & c_3 & d_3 \\ a_4 & e_4 & c_4 & d_4 \end{vmatrix}; Z_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & e_1 & 1 \\ a_2 & b_2 & e_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & e_3 & d_3 \\ a_4 & b_4 & e_4 & d_4 \end{vmatrix}; Z_2' = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & e_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & d_3 \\ a_4 & b_4 & c_4 & d_4 \end{vmatrix}$$

Po rozwinięciu wyznaczników, podstawieniu w miejsce współczynników ich wartości, uproszczeniu i redukcji otrzymamy:

$$21. Z_1 = \frac{(e_4 - a_4 e_1) - (b_4 - a_4)(e_2 - a_2 e_1) - e_3 - a_3 e_1 \left[(c_3 - a_3) \frac{(b_1 - a_1)(c_2 - a_2)}{b_2 - a_2} \right]}{d_4 - a_4 - \frac{(b_1 - a_1)(d_2 - a_2)}{b_2 - a_2} - \frac{d_3 - a_3}{c_3 - a_3} \left[(c_1 - a_1) - \frac{(b_1 - a_1)(c_2 - a_2)}{b_2 - a_2} \right]} = \\ = \frac{1}{f B_2 (\cos \alpha_1 - 1)} \left[L \operatorname{ctg} \alpha_1 + \right. \\ \left. - f h_c \frac{\frac{B_2}{2} - L \operatorname{ctg} \alpha_1 + \frac{L}{\sin \alpha_1} - \frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 + f r_k \sin \alpha_1 \cos \alpha_1}{L - f r_k + f r_k \cos \alpha_1} \right] m a_{c_0} + \\ + (b + f h_c \cos \alpha_1) m a_{c_0} + m p^2 \frac{d\omega}{dt} + P_n' \left(\frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 - \frac{L}{\sin \alpha_1} \right) - P_n'' \left(\frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 + \right. \\ \left. + \frac{L}{\sin \alpha_1} \right) + P_n' \left(\frac{B_2}{2} - L \operatorname{ctg} \alpha_1 \right) - P_n'' \left(\frac{B_2}{2} + L \operatorname{ctg} \alpha_1 \right) - P_p \left[L \operatorname{ctg} \alpha_1 + f h_p \times \right. \\ \left. \times \frac{\frac{B_2}{2} - L \operatorname{ctg} \alpha_1 + \frac{L}{\sin \alpha_1} - \frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 + f r_k \sin \alpha_1 \cos \alpha_1}{L - f r_k + f r_k \cos \alpha_1} \right] - m g f \left[\frac{L}{\sin \alpha_1} + \right. \\ \left. + f r_k \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 + (a + f r_k \cos \alpha_1) \times \right. \\ \left. \times \frac{\frac{B_2}{2} - L \operatorname{ctg} \alpha_1 + \frac{L}{\sin \alpha_1} - \frac{B_2}{2} \cos \alpha_1 + f r_k \sin \alpha_1 \cos \alpha_1}{L - f r_k + f r_k \cos \alpha_1} \right]$$

Ze względu na oszczędność miejsca pozostałe składowe reakcje normalnych wyznaczamy w funkcji składowej Z_2' , która została już obliczona (wzór 21).

$$22. Z_2 = \frac{a_2 e_1 - a_2}{L - f r_k + f r_k \cos \alpha_1} - Z_2' = \frac{mg(a + f r_k \cos \alpha_1) + m h_c a_{c_2} + P_p h_p}{L - f r_k + f r_k \cos \alpha_1} - Z_2'$$

$$23. Z_1' = \frac{1}{B_1} \left\{ mg \left(\frac{B_1}{2} + f r_k \sin \alpha_1 \right) + m h_c a_{c_1} + \right.$$

$$\left. + \frac{B_2}{2} - \frac{B_1}{2} - f r_k \sin \alpha_1 \right\} - \frac{B_2}{B_1} Z_2'$$

$$24. Z_1 = \frac{1}{B_1} \left\{ mg \left(\frac{B_1}{2} - f r_k \sin \alpha_1 \right) - m h_c a_{c_1} + \right.$$

$$\left. - \frac{B_1}{2} + \frac{B_2}{2} - f r_k \sin \alpha_1 \right\} + \frac{B_2}{B_1} Z_2'$$

Ze wzorów 22 wynika, że:

$$Z_1 + Z_2 = \frac{mg(a + f r_k \cos \alpha_1) + m h_c a_{c_2} + P_p h_p}{L - f r_k + f r_k \cos \alpha_1}$$

lub

$$(Z_1 + Z_2)(L - f r_k + f r_k \cos \alpha_1) = mg a + mg f r_k \cos \alpha_1 + m h_c a_{c_2} + P_p h_p$$

Po wymnożeniu wyrażeń w nawiasach i odpowiednim ich posegregowaniu otrzymamy:

$$(Z_1 + Z_2)' L - m g a - m h_c a_{c_2} - P_p h_p - f r_k \cos \alpha_1 (m g - (Z_1 + Z_2)') +$$

$$- (Z_1 + Z_2)' f r_k = 0$$

lub stosując uprzednio przyjęte oznaczenia:

$$(Z_1 + Z_2)' L - m g a - m h_c a_{c_2} - P_p h_p - (M'_1 + M'_2) \cos \alpha_1 - (M'_1 + M'_2) = 0$$

Równanie to wyraża zasadę momentów pędu względem osi równoległej do osi y a przechodzącej przez punkt B (rys. 1). W przypadku kół sztywnych ($f = 0$) równanie to będzie miało postać:

$$(Z_1 + Z_2)' L - m g a - m h_c a_{c_2} - P_p h_p = 0$$

Podobnie sumując składowe Z_1' i Z_2' ze wzorów 23 i 24 otrzymamy:

$$Z_1' + Z_2' = mg \frac{mg(a + f r_k \cos \alpha_1) + m h_c a_{c_2} + P_p h_p}{L - f r_k + f r_k \cos \alpha_1}$$

Po przekształceniu ostatniego równania mamy:

$$(Z_1' + Z_2') L - m g b + P_p h_p + m h_c a_{c_1} + f r_k (Z_1' + Z_2') +$$

$$+ (Z_1' + Z_2') f r_k \cos \alpha_1 = 0$$

czyli po zastosowaniu przyjętych oznaczeń dostajemy:

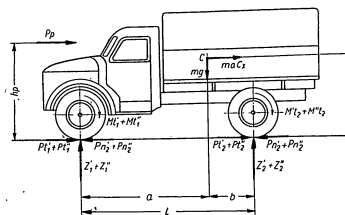
$$(Z_1' + Z_2') L - m g b + P_p h_p + m h_c a_{c_1} + (M'_1 + M'_2) + (M'_1 + M'_2) \cos \alpha_1 = 0$$

Dla samochodu posiadającego koła sztywne ($f = 0$) będzie:

$$(Z_1' + Z_2') \cdot L - m g b + P_p h_p + m h_c a_{c_1} = 0$$

Jest to równanie wyrażające zasadę momentów pędu względem osi równoległej do osi y a przechodzącej przez punkt A (rys. 1).

Na rys. 2 pokazany jest uproszczony schemat samochodu z zaznaczeniem sił na niego działających, ilustrujący równania momentów.



Rys. 2.

Podany na rysunku schemat nie uwidacznia skreślenia kół kierowanych. Na rys. 3 widoczne są wektory momentów oporu toczenia oraz ich składowe.

Równania momentów otrzymane na podstawie wyrażeń na składowe reakcji stanowią sprawdzenie prawidłowości rozwiązania zwykłego wprowadzenia, ale skomplikowanego z powodu dość długich niektórych wyrażeń na współczynniki przy niewiadomych, układu równań.

Otrzymane na składowe reakcji drogi na koła wzory nie dają jeszcze możliwości ich przeanalizowania ponieważ występują w nich niewiadome składowe przyspieszenia a_{c_1} i a_{c_2} .

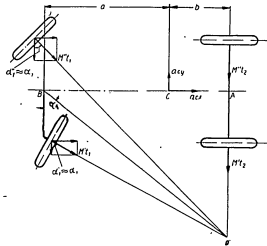
Obliczmy obecnie składowe boczne reakcje.

Z równania 15 oraz na podstawie wzorów 21-24 otrzymujemy:

$$25. Y_1 = \frac{1}{\sin \alpha_1} \left[(P'_n + P''_n) \cos \alpha_1 + (P'_n + P''_n) - P_p - mac_x \right] - f \operatorname{ctg} \alpha_1 (Z_1 + Z_2) +$$

$$- \frac{f}{\sin \alpha_1} (Z_2 + Z_1) = \frac{1}{\sin \alpha_1} \left[(P'_n + P''_n) \cos \alpha_1 + (P'_n + P''_n) - P_p - mac_x \right] +$$

$$- \frac{f}{\sin \alpha_1} (1 - \cos \alpha_1) \frac{mg(a + fr_k \cos \alpha_1) + mh_c ac_x + P_p h_p}{L - fr_k + fr_k \cos \alpha_1}$$



Rys. 3.

Z równania 16 i ze wzorów 21—25 otrzymamy wyrażenia na składową bocznią Y_2 :

$$26. Y_2 = mac_p + \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot mac_x - f \frac{1 - \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} \cdot \frac{1}{L - fr_k + fr_k \cos \alpha_1} \cdot mh_c ac_x +$$

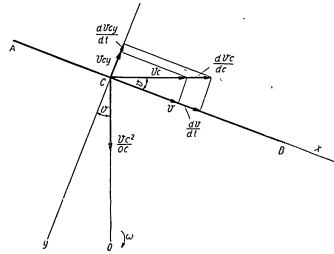
$$- \frac{1}{\sin \alpha_1} (P'_n + P''_n) - (P'_n + P''_n) \operatorname{ctg} \alpha_1 + P_p \operatorname{ctg} \alpha_1 +$$

$$- f \frac{1 - \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} \left(\frac{h_p \cdot P_p}{L - fr_k + fr_k \cos \alpha_1} + \frac{a + fr_k \cos \alpha_1}{L - fr_k + fr_k \cos \alpha_1} mg \right)$$

Wyznaczenie składowych ac_x i ac_y przyspieszenia środka ciężkości samochodu.

W celu wyznaczenia omawianych składowych przyspieszenia wystarczy rozpatrzeć ruch odcinka AB (rys. 1), leżącego na osi „x” uprzednio przyjętego układu współrzędnych będącego rzutem odcinka AB, określonego przy omawianiu rysunku A, na tę oś x.

Na rys. 4 zastosowane są następujące oznaczenia;
 v_c — prędkość środka ciężkości samochodu;
 v_x — składowa prędkości v_c leżąca na osi x;
 v_y — składowa prędkości v_c leżąca na osi y;
 $\frac{dv_c}{dt}$ — przyspieszenie styczne środka ciężkości;



Rys. 4.

$\frac{v_c^2}{OC}$ — przyspieszenie normalne środka ciężkości;

$\frac{dv_x}{dt}$ i $\frac{dv_y}{dt}$ — składowe przyspieszenia styczne leżące na osiach x i y;

ω — prędkość kątowna samochodu wokół środka skrętu

Posługując się rys. 4 napiszemy:

$$ac_x = \frac{dv_x}{dt} \cos \vartheta + \frac{v_c^2}{OC} \sin \vartheta$$

$$ac_y = \frac{dv_y}{dt} \cos \vartheta - \frac{dv_c}{dt} \sin \vartheta.$$

Uwzględniając, że:

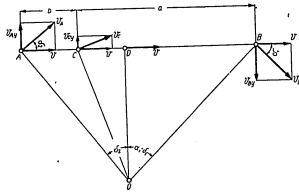
$$v_c \sin \vartheta = v_y; v_c \cos \vartheta = v_x; \frac{dv_c}{dt} \cos \vartheta = \frac{dv_x}{dt}; \frac{dv_c}{dt} \sin \vartheta = \frac{dv_y}{dt};$$

otrzymamy po podstawieniu do wyrażenia na rzuty ac_x i ac_y przyspieszenia środka ciężkości:

$$27. a_c = \frac{dv}{dt} + \omega v_c$$

$$28. a_{c_y} = \omega v - \frac{dv_{c_y}}{dt}$$

Obecnie rozpatrzmy związek między prędkością i przyspieszeniem środka ciężkości z jednej strony a elastycznością boczną ogumienia z drugiej strony. Do tego potrzebny nam będzie rys. 5.



Rys. 5.

Na rys. 5 oznaczone są:
 δ_1, δ_2 — kąty bocznego znoszenia;

$v_A, v_B, v_C, v_{Ay}, v_{By}, v_{Cy}, v$ — szybkość punktów A, B, C i ich składowe.

OD \perp AB.

Wiadomo, że jeżeli ζ_1 i ζ_2 oznaczają współczynniki elastyczności bocznej ogumienia przednich i tylnych kół samochodu, to można napisać zależności:

$$29. \delta_1 = \zeta_1 Y_1; \delta_2 = \zeta_2 Y_2.$$

przy czym napisane tu zależności zawierają uproszczenie uprzednio już wprowadzone (wartości średniej kątów znoszenia dla zewnętrznych i wewnętrznych kół samochodu).

Posługując się rys. 5 napiszemy:

$$30. v_{Ay} = vtg \delta_2; v_{By} = \omega \cdot AD = \omega b + \omega \cdot CD = \omega b + v_{Cy};$$

$$31. v_{By} = vtg(\alpha_1 - \delta_1); v_{By} = \omega \cdot BD = \omega a - \omega \cdot CD = \omega a - v_{Cy}.$$

Jeśli będziemy uważać kąt α_1 skretu kół za niewielki, to ponieważ kąty znoszenia są również niewielkie, będziemy mogli napisać:

$$tg \delta_1 \approx \delta_1; tg(\alpha_1 - \delta_1) \approx \alpha_1 - \delta_1.$$

90

Uwzględniając to oraz przyrównując do siebie odpowiednio v_{Ay} i v_{By} występujące w równaniach 29 i 30, otrzymamy wyrażenia:

$$\delta_1 = \alpha_1 - \frac{a\omega - v_{Cy}}{v}; \delta_2 = \frac{b\omega + v_{Cy}}{v}$$

Po podstawieniu tych wyrażeń do wzoru 28 otrzymamy:

$$32. Y_1 = \frac{\delta_1}{\zeta_1} = \frac{1}{\zeta_1} \left[\alpha_1 - \frac{a\omega - v_{Cy}}{v} \right]; Y_2 = \frac{\delta_2}{\zeta_2} = \frac{1}{\zeta_2} \cdot \frac{b\omega + v_{Cy}}{v}$$

W celu wyznaczenia wielkości v_{Cy} i $\frac{dv_{c_y}}{dt}$ korzystamy ze wzorów 25, 26, 27, 28 i 32.

Do wzorów 25 i 26 podstawimy w miejsce a_c i a_{c_y} ich wielkości ze wzorów 27 i 28, a otrzymane w ten sposób wyrażenia na Y_1 i Y_2 w funkcji v_{c_y} i $\frac{dv_{c_y}}{dt}$ porównamy z wyrażeniami tych wielkości ze wzorów 32. Otrzymamy w ten sposób układ dwóch równań zawierających niewiadome: v_{c_y} i $\frac{dv_{c_y}}{dt}$.

$$33. \left[\omega m \left(ctg \alpha_1 - f \frac{1 - \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} \cdot \frac{h_c}{L - fr_1 + fr_2 \cos \alpha_1} \right) - \frac{1}{\zeta_1 v} \right] v_{c_y} - m \frac{dv_{c_y}}{dt} = \frac{1}{\zeta_1} \frac{b\omega}{v} - m\omega v + m \left(ctg \alpha_1 - f \frac{1 - \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} \cdot \frac{h_c}{L - fr_1 + fr_2 \cos \alpha_1} \right) \frac{dv}{dt};$$

$$34. \left[-\omega m \left(f \frac{1 - \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} \cdot \frac{h_c}{L - fr_1 + fr_2 \cos \alpha_1} + \frac{1}{\sin \alpha_1} \right) - \frac{1}{\zeta_2 v} \right] v_{c_y} = \frac{1}{\zeta_2} \left(\alpha_1 - \frac{a\omega}{v} \right) + m \left(f \frac{1 - \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} \cdot \frac{h_c}{L - fr_1 + fr_2 \cos \alpha_1} + \frac{1}{\sin \alpha_1} \right) \frac{dv}{dt} +$$

$$+ f \frac{1 - \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} \cdot \frac{h_p}{L - fr_1 + fr_2 \cos \alpha_1} Wv^2 + f \frac{1 - \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} \cdot \frac{a + fr_2 \cos \alpha_1}{L - fr_1 + fr_2 \cos \alpha_1} - mg +$$

$$+ \frac{1}{\sin \alpha_1} Wv^2 - (P'_n + P''_n) ctg \alpha_1 - \frac{1}{\sin \alpha_1} (P'_n + P''_n).$$

Po rozwiązaniu układu równań 31 i 34 ze względu na v_{c_y} i $\frac{dv_{c_y}}{dt}$ i wstawieniu tych wielkości do wzorów 27 i 28, a następnie wstawieniu otrzymanych w ten sposób składowych a_c i a_{c_y} przyspieszenia środka ciężkości do wzorów 21—24, otrzymamy nareszcie wzory na składowe Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 reakcji normalnych drogi na kola.

91

Gdybyśmy chcieli zająć się dokładniejszym rozpatrzeniem wpływu elastyczności bocznej opon samochodowych na ruch rozpatrywanego samochodu, należałoby posłużyć się równaniami 33 i 34 w następujący sposób: wyznaczyć z równania 34 wielkość v_{c0} , zróżniczkować ją względem czasu, otrzymując pochodną $\frac{dv_{c0}}{dt}$, a następnie uzyskane w ten sposób v_{c0} i dv_{c0} wstawić do równania 33.

W wyniku tych przekształceń uzyskamy równanie różniczkowe ze względu na ω , które będzie wiązać ze sobą kilka zmiennych $(\omega, v, \frac{dv}{dt}, \frac{d^2v}{dt^2}, \frac{d^3v}{dt^3})$.

Rozwiązanie tego równania różniczkowego w najogólniejszym przypadku ruchu samochodu stwarza podstawę do przeprowadzenia analizy ruchu samochodu.

Należy zaznaczyć, że zagadnienie to, w ogóle bardzo skomplikowane i trudne do rozwiązania nie może zostać całkowicie naświetlone w niniejszym artykule, a w związku z tym nie jest celowe przeprowadzenie analizy otrzymanych na reakcje drogi na koła wzorów, ponieważ analiza ta nie mogłaby być dostatecznie głęboka.

Wyznaczeniem składowych stykowych reakcji drogi na koła samochodu nie zajmujemy się w tym artykule, ponieważ składowe te oblicza się dla samochodu 4x4 w zasadzie tak samo jak dla samochodu 4x2, dla którego są one wyznaczone w książce E. A. Czudakowa „Teoria samochodu”. Uwzględnieniem wpływu momentu obrotowego doprowadzonego przez wały przegubowe od skrzyni rozdzielczej do osi napędowych samochodu nie będziemy się również zajmować, ponieważ zagadnienie to jest naświetlone w odniesieniu do samochodu dwuosobowego posiadającego wszystkie koła napędowe w książce Zimielewa — „Teoria Awtomobila” — wyd. 1951 r.

Reasumując rozważania nad wyznaczeniem reakcji drogi na koła samochodu terenowego 4x4, należy stwierdzić, że istnieje potrzeba przeprowadzenia pracy badawczej, w wyniku której zostałyby pomierzone przyspieszenia środka ciężkości i innych punktów samochodu w czasie jego ruchu po krzywoliniowym torze. Daloby to nie tylko możliwość sprawdzenia wyników otrzymanych na drodze rozważań czysto teoretycznych, lecz prawdopodobnie umożliwiłoby podjęcie badań w kierunku znalezienia rzeczywistych składowych bocznych reakcji drogi na poszczególne koła.

Kpt. mgr inż. M. BERNHARDT

ZAGADNIENIA DOLADOWANIA CZTEROSUWOWYCH SILNIKÓW GAŹNIKOWYCH

1. Wstęp

Doladowanie stosowane jest w przeważającej części tłokowych silników lotniczych oraz silnikach samochodów wyścigowych i wyczynowych.

Rozpowszechnienie doladowania w lotnictwie uzasadnione jest koniecznością kompensacji wpływu rozrzedzenia powietrza w zależności od wysokości lotu, uzyskania maksymalnej mocy startowej i maksymalnej mocy z jednostki ciężaru i pojemności skokowej silnika.

W pojazdach naziemnych sprężarka zdobyła sobie prawo obywatelstwa w silnikach samochodów wyścigowych dla uzyskania maksymalnych mocy w określonej pojemności skokowej silnika, zazwyczaj ograniczonej regulaminem zawodów. Szerzej konstrukcji w tej dziedzinie wyróżnia się swymi osiągamymi wyrażającymi się np. mocą jednostkową powyżej 150 KM/l przy dwustopniowej sprężarce. W dziedzinie samochodów użytkowych żywsze zainteresowanie doladowaniem datuje się od kilku zaledwie lat, choć pierwsze seryjne samochody ciężarowe z silnikami gaźnikowymi z doladowaniem były produkowane przez firmę GMC w latach trzydziestych dla eksportu do Chile. Do zastosowania doladowania zmusiły producenta warunki geograficzne. Okazało się bowiem przy eksploatacji samochodów ciężarowych w wyższych partiach Andów, że nie są one w stanie nie tylko przewozić nominalne ładunki na wzniesieniach gwarantowanych przez wytwórcę, ale nie są w stanie pokonać tych wzniesień nawet bez ładunku.

Zastosowanie w tym wypadku doladowania było logicznym zapożyczeniem rozwiązania stosowanego w lotnictwie w analogicznych warunkach i w podobnym celu.

Według niepełnie pewnych danych (choć bardzo prawdopodobnych) doladowanie stosowano w analogicznym celu w samochodach różnych marek eksportowanych już po ostatniej wojnie do Tybetu. Wszystkie wyżej wspomniane zastosowania doladowania silników samochodowych są jednak nietypowe i nie będą się nimi dalej zajmować.

Celem autora jest podanie pewnych rozważań teoretycznych i doświadczeń odnośnie zastosowania doladowania w silnikach gaźnikowych samochodów użytkowych.

2. Cel i perspektywy zastosowania doladowania w silnikach samochodowych

Ogólnie przyjęło się uważać doladowanie za jeden ze sposobów zwiększenia mocy silnika. Jednak takie ogólnikowe traktowanie zagadnienia stanowi, jak zobaczymy dalej, jego spłylenie. Ze względu na to, że zagadnienie doladowania ma inne aspekty w odniesieniu do silników wtryskowych z zapłonem samoczynnym i gaźnikowych, omówię je oddzielnie,

przy czym pierwsze tylko w najogólniejszych zarysach dla uwydatnienia specyfiki problemu, a drugie nieco szerszej.

2. 1. Dolađowanie silników wysokoprężnych

Rozwój technologii materiałów i metod produkcyjnych stosowanych przy produkcji współczesnych silników wysokoprężnych spowodowały, przy równoczesnym działaniu czynników niżej opisanych, że współczesne silniki tego typu są niepełnie obciążone cieplnie. Mówiąc dobitniej: można w tych silnikach w jednostce czasu zamieniać większą ilość energii cieplnej na mechaniczną, bez równoczesnego istotnego zmniejszenia trwałości silnika.

Przyczyny są tu następujące:

1 — silniki wtryskowe z zapłonem samoczynnym pracują przy obecnym stanie ich rozwoju ze znacznym nadmiarem powietrza, w stosunku do silników gaźnikowych, dla zapewnienia prawidłowego i bezdymnego spalania. Oznacza to, że na jednostkę objętości skokowej cylindra doprowadzona energia, ciepła jest odpowiednio mniejsza.

2 — silniki wtryskowe z zapłonem samoczynnym są mniej szybkoobrotowe niż analogiczne silniki z zapłonem iskrowym. Tym samym ilość energii cieplnej przypadającej na jednostkę czasu tym bardziej ulega zmniejszeniu.

Przyczyny mniejszej szybkoobrotowości są zasadniczo dwie:

a) pojemność skokowa cylindra jest na ogół stosunkowo duża, gdyż wykonanie układu zasilania podającego bardzo małe ilości paliwa stwarza duże kłopoty produkcyjne. Skutkiem tego elementy układu korbowego posiadają dość duże wymiary (tym bardziej, że ciśnienia są tu wyższe niż w silnikach gaźnikowych) a tym samym siły masowe ograniczają w znacznym stopniu możliwość wzrostu obrotów;

b) konstrukcja układu zasilania silnika szybkoobrotowego jest poważnie utrudniona, gdyż znaczny wzrost oporów hydraulicznych przy wzroście prędkości przepływu paliwa stawia bardzo ciężkie wymagania odnośnie materiałów, a ponadto jest przyczyną szybkiego zużywania się precyzyjnych elementów układu zasilania. Trudność uzyskania właściwej regulacji pompy w dużym zakresie obrotów może spowodować znaczne obniżenie ekonomiczności szybkoobrotowego silnika wysokoprężnego.

Z wymienionych przyczyn, dla zwiększenia obciążenia cieplnego silnika, a tym samym zwiększenia mocy jednostkowej i dalszego podniesienia ekonomiczności, zwiększa się ostatnio zakres stosowania dolađowania z coraz częstszym wykorzystaniem turbosprężarki.

Wskaźniki pracy tych silników niejednokrotnie dorównują, a nawet przewyższają wskaźniki odpowiednich silników gaźnikowych. Oczywiście, mówię tu nie o jednostkowym zużyciu paliwa, gdyż na tym polu silniki wysokoprężne zawsze znacznie górowały nad gaźnikowymi, lecz o wielkościach takich jak ciężar przypadający na jednostkę mocy, moc z jednostki pojemności itp.

Należy zaznaczyć, że w niektórych konstrukcjach silników wtryskowych dwusuwowych są stosowane pompy ładujące, które z racji konstrukcyjnego podobieństwa niesłusznie niekiedy nazywa się sprężarkami. Zadaniem pomp ładujących jest napełnienie cylindra powietrzem, gdyż przy obiegu dwusuwowym nie może on być napełniony wskutek ruchu tłoka (w silnikach większej mocy i wielocylindrowych nie stosuje się na ogół przegrzadka komory korbowej i wykorzystywania jej jako pompy ładującej).

94

I tak na przykład w silniku JaAZ-204 wydajność pompy ładującej jest większa od zapotrzebowania powietrza przez silniki. A więc mogłaby ona teoretycznie pracować jako sprężarka. Jednakże w silniku tym okna dołotowe do cylindra ulegają zamknięciu o 6° obrotu wału korbowego wcześniej niż następuje zamknięcie zaworów wydechowych. W wyniku tego mamy korzystne przepłukanie cylindra, dolađowania zaś, przynajmniej w zakresie niższych obrotów, w zasadzie nie ma.

2. 2. Dolađowanie silników gaźnikowych

W odniesieniu do silników gaźnikowych zagadnienie dolađowania jest znacznie bardziej złożone. Można by, z grubsza biorąc, podzielić je na dwa zasadnicze problemy:

— zastosowanie dolađowania do silników istniejących,
— zastosowanie dolađowania do silników nowokonstruowanych.

Zdarza się w praktyce, że zachodzi potrzeba nieznačajnego zwiększenia mocy produkowanego silnika dla nowopowstałego celu. Produkcja nowego silnika o zwiększonej mocy, zwłaszcza jeżeli zapotrzebowanie nie jest duże, może być nieopłacalna. Tymczasem jak wykazują próby przeprowadzone na wielu silnikach (Diaczenko, Roensch i przez autora artykułu dla silnika S-42) w większości współczesnych silników istnieje możliwość zwiększenia ich mocy przez zastosowanie dolađowania — w granicach 10—40 % kosztem niewielkiego skrócenia żywotności silnika i bez większych zmian konstrukcyjnych. Przy większych zmianach, omówionych dalej, możliwe jest powiększenie mocy do 100%, zależnie od właściwości konstrukcyjnych silnika i celowego stopnia zmniejszenia jego żywotności.

Jako przykłady można podać następujące zagadnienia:

— zwiększenie mocy silnika samochodu M-20 bez wprowadzania zasadniczych zmian konstrukcyjnych;
— możliwość zwiększenia mocy silnika pewnego samochodu terenowego. Stosowany początkowo na tym samochodzie silnik dawał wystarczające osiągi na dobrej drodze i w lekkim terenie. Jednakże w ciężkim terenie moc jego okazała się nieco za mała, a ponadto praca na najniższych przekładniach powodowała szybkie zużycie silnika;
— ponadto dla celów wojskowych istnieje szereg zastosowań silnika spalinowego, w których jego żywotność jest stosunkowo mało istotna, a zależy nam na osiągnięciu jak największej mocy przy jak najmniejszym ciężarze. Przykładem takiego zastosowania może być silnik łodzi desantowej dla przepraw przez rzeki. Z wielu względów korzystnym byłoby oparcie się w tym przypadku na produkowanym seryjnie silniku samochodowym, którego moc zostałaby odpowiednio zwiększona.

W przypadku silnika nowokonstruowanego zastosowanie dolađowania ma następujące możliwości:

— dla potrzeb gospodarki narodowej potrzeba często silników różniących się mocą w nieznačajnym stopniu. Przy niezbyt dużej produkcji motoryzacyjnej celowym wydaje się oparcie na nielicznych rozwiązaniach — bazach, z których poprzez drobne modyfikacje można by uzyskać silniki o żądanych mocach.

Jako przykład można podać samochód Star — 20 i bazowany na nim ciągnik siodłowy i autobus. Dla tych dwóch ostatnich pożądaną byłoby zastosowanie silnika o mocy 95—100 KM zamiast 85 KM.

95

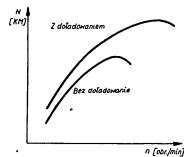
Pomijając fakt, że we wszystkich trzech przypadkach może okazać się celowym zastosowanie silnika wysokoprężnego, można oprzeć się tu na silniku S-42 i zastosować niewielkie i łatwo osiągalne, bez większego zmniejszenia żywotności silnika, dolażowanie.

Można zaznaczyć, że w niektórych przypadkach daje się podnieść moc silnika na przykład przez bardziej racjonalne rozwiązywanie napelniania bez stosowania dolażowania. I tak na przykład możliwe jest podniesienie mocy silnika S-42 do około 90 — 93 KM przez zastosowanie rury ssacej o mniejszych oporach przepływu i zmianie faz rozrządu. Oczywiście stosowanie dolażowania tam, gdzie można osiągnąć wzrost mocy prostszymi środkami jest niecelowe. Natomiast zastosowanie dolażowania dla uzyskania mocy silnika S-42 powyżej 100 KM wydaje się być uzasadnione w niektórych przypadkach zastosowania.

3. Współpraca silnika ze sprężarką

Rozpowszechnione jest mniemanie, że zastosowanie sprężarki do silnika powoduje znaczny wzrost zużycia paliwa i jednocześnie skrócenie jego żywotności wskutek pracy na zbyt wysokich obrotach. W opinii tej widac wyraźnie wpływ danych o sprężarkach zastosowanych do samochodów wyczynowych.

Sprężarka pozwala na znaczny wzrost obrotów silnika, powodując zmianę jego charakterystyki zewnętrznej, przesuwając przy tym maksimum mocy w kierunku wyższych obrotów.



Rys. 1. Charakter przebiegu charakterystyki zewnętrznej silnika

Ponieważ w samochodach ciężarowych zazwyczaj nie wykorzystuje się maksymalnej mocy silnika, ograniczając sztucznie jego obroty, można postawić tu tezę, że w takich przypadkach zamiast zwiększać moc przez dolażowanie, prościej byłoby pozwolić silnikowi na osiągnięcie jego najwyższej mocy przy wyższych obrotach, które silnik ten może osiągać (choć normalnie nie pozwala mu na to ogranicznik obrotów).

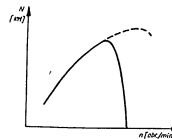
Takie jednak postępowanie nie byłoby właściwe, gdyż:

- zwiększyłby się strata wentylacyjne silnika (opory ssania, wydechu, opór powietrza w komorze korbowej stawiany tłokom, korbowodom, wałowi itp),
- wzrosłoby znacznie jednostkowe zużycie paliwa,
- uległoby znacznemu zmniejszeniu żywotność silnika.

Pozornie mogłoby się wydawać, że jeśli silnik ma nominalną moc (przy nominalnych obrotach) np. 85 KM, to zużycie jego będzie identyczne jeżeli osiągnie on np. 100 KM kosztem zwiększenia obrotów do obrotów

mocy maksymalnej, lub osiągnie te same 100 KM przy nominalnych obrotach dzięki zastosowaniu dolażowania.

Praktyka jednak wykazuje w ogromnej większości konstrukcji, że w przypadku dolażowania zużycie silnika przy tej samej mocy efektywnej będzie mniejsze niż w przypadku zwiększenia obrotów. Przyczyny należy tu szukać w znacznym wpływie mas pozostających w ruchu posuwisto-zwrotnym, które powodują powstanie znacznych obciążeń czołów, łożysk itp., a ponadto mniejszej sprawności ogólnej silnika na wyższych obrotach, co równoważne jest (przynajmniej częściowo) większemu obciążeniu cieplnemu poszczególnych elementów silnika.



Rys. 2. Charakterystyka zewnętrzna silnika z ogranicznikiem obrotów

Zagadnienie zużycia jest skomplikowane; zużycie zależy tu będzie m. in. od chwilowych wartości stosunku sił bezwładności do sił pochodzących od ciśnienia gazów, prawidłowości rozwiązania smarowania, wielkości obciążeń jednostkowych łożysk itp. i przy bardzo niskich obrotach może przedstawiać się odrotnie [2] i w związku z tym wymaga każdorazowej analizy.

Wzrost mocy silnika bez równoczesnego wzrostu obrotów, równoważny jest proporcjonalnemu podwyższeniu momentu obrotowego. Ze względu na konstrukcję mechanizmów przeniesienia napędu może być niekiedy korzystniejszym podwyższenie momentu obrotowego zamiast zwiększenia obrotów, gdyż w niektórych zastosowaniach może ułatwiać to rozwiązanie konstrukcyjne.

Jak wynika z danych, które podaje Diaczenko [1], zużycie jednostkowe paliwa przy zastosowaniu sprężarki bez zmiany maksymalnych obrotów zmienia się w sposób następujący (przyjmując zużycie jednostkowe w silniku bez dolażowania za 100):

	Sprężarka z napędem mechanicznym	Turbosprężarka
Bez chłodzenia powietrza	98 — 100	90 — 92
Z chłodzeniem powietrza	92 — 95	85 — 88

Z podanego zestawienia widac wyraźnie ogromną przewagę turbosprężarki nad sprężarką napędzaną mechanicznie. Jednakże w praktyce przewaga ta jest dość względna. Turbosprężarka daje ciśnienie dolażowania zależne w znacznym stopniu od ilości obrotów silnika. Podane powyżej

korbowej będą odpowiednio silniejsze i urządzenie odpowietrzające powinno posiadać zwiększoną wydajność.

Z racji większego obciążenia cieplnego silnika z dolaowaniem niezbędnym jest zwiększenie uwagi na prawidłowe rozwiązanie układu chłodzenia, zastosowanie chłodnicy olejowej dla zapewnienia właściwego smarowania silnej obciążonych w tym wypadku elementów silnika, jak również dla dodatkowego wewnętrznego jego chłodzenia. Dla uniknięcia wpływu wyższych temperatur na olej pożądane jest stosowanie misek olejowych ze stopu lekkiego i silnie użebrowanych, a w przypadku pojazdów poruszających się z niewielkimi prędkościami (samochody terenowe, ciągniki) stosowanie systemu olejenia z suchą miską olejową.

Przy zastosowaniu dolaowania zachodzi zazwyczaj również konieczność zmiany charakterystyki regulatorów odśrodkowego i ciśnieniowego momentu zapłonu.

Według danych Roensch'a [10] przy zastosowaniu materiałów konstrukcyjnych wysokiej jakości, pierwszego pierścienia uszczelniającego chromowanego, prawidłowe rozwiązanie układu chłodzenia zapewniającego szczególnie intensywne chłodzenie gniazd i prowadnic zaworowych, stosowania cylindrów utwardzonych powierzchniowo, gniazd zaworowych szlifierowanych i zaworów wypełnionych metalicznym sechem, trwałość silnika z dolaowaniem przy średnich ciśnieniach indykowanych rzędu 13 kg/cm² jest niemal identyczna jak silników bez dolaowania o średnim ciśnieniu indykowanym 8—9 kg/cm² przy przeciętnych materiałach i metodach produkcyjnych.

Dane te podkreślają konieczność bardzo sztywnego rozwiązania kadłuba silnika i wału korbowego.

5. Zagadnienie detonacji w silniku — z dolaowaniem

Wszystkie dotychczasowe rozważania były przeprowadzane w odwołaniu od paliwa, jakim napędzany jest silnik i możliwości powstania detonacji.

Skoro zastosowanie sprężarki dolaującej powoduje wzrost ciśnienia i temperatury mieszanki dostarczanej do cylindra, nie ulega więc wątpliwości, że będzie miało to wpływ na możliwość powstania detonacji. Działanie dolaowania będzie więc w pewnym sensie analogiczne jak działanie podwyższenia stopnia sprężania, które jak wiadomo również prowadzi do wzrostu mocy silnika i powiększenia jego ekonomiczności.

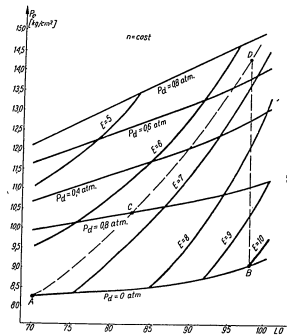
Pobieżnie rozpatrując zagadnienie możnaby uważać, że w przypadku dolaowania mamy do czynienia z dwustopniowym sprężaniem mieszanki i że efekt ostateczny będzie odpowiadał poposestu wyższemu stopniowi sprężania. Jednakże, jak wykazuje szereg doświadczeń (Lebediew, Diazenko, Ricardo, Roensch), zagadnienie jest znacznie bardziej skomplikowane i podana wyżej analogia służyć nie jest. Należy tu podkreślić, że w przypadku dolaowania ulega zwiększeniu nie tylko ciśnienie i temperatura końca suwu sprężania, podobnie jak ma to miejsce przy zwiększeniu stopnia sprężania, ale równocześnie mamy zwiększenie ilości czynnika w cylindrze w porównaniu z silnikiem bez dolaowania.

Rysunek 4 przedstawia nam zależność średniego ciśnienia efektywnego przy stałych obrotach od minimalnej liczby oktarowej paliwa dla różnych stopni sprężania i ciśnien dolaowania. Zależność tę podaje Roensch [10] dla jednocylindrowego silnika doświadczalnego. Autor nie podaje jednak bliższych danych dotyczących metodyki badań, jak również

kryterium ceny minimalnej liczby oktarowej. Dlatego też wykres ten przytaczam jedynie dla przedstawienia charakteru zależności.

Jak wynika z wykresu, zmiana stopnia sprężania z 6,7 do 10 powoduje wzrost średniego ciśnienia efektywnego z 8,2 do 9,1 kg/cm² tj. o około 11% (punkty A i B). Równocześnie minimalna liczba oktarowa paliwa zwiększa się z 70 do 98.

Jeżeli natomiast przy tym samym stopniu sprężania 6,7 zastosujemy niewielkie dolaowanie o nadeisnieniu 0,2 atm, to uzyskamy wzrost średniego ciśnienia efektywnego do 10,3 kg/cm² (punkt C), a więc o 25,5%, a równocześnie niezbędna liczba oktarowa paliwa wzrasta tylko do 82.

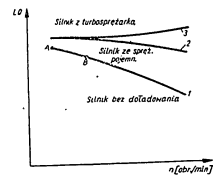


Rys. 4. Zależność minimalnej ze względu na detonację liczby oktarowej paliwa od stopnia sprężania i ciśnienia dolaowania

W przypadku natomiast użycia paliwa o liczbie oktarowej 98 możliwe jest podniesienie ciśnienia dolaowania do około 1,75 kg/cm² i uzyskanie średniego ciśnienia efektywnego około 14,6 kg/cm² (punkt D), a więc o 78% większego niż w punkcie A i 46% większego w punkcie B.

Przytoczony zmniejszenia skłoności detonacyjnych silników z dolaowaniem w porównaniu z silnikiem o podwyższonym stopniu sprężania o podobnej mocy nie są dotychczas w pełni wyjaśnione. Niewątpliwie pewien wpływ odgrywa tu ochłodzenie wstępnie sprężonego czynnika pomiędzy sprężarką i silnikiem, słabsza wymiana ciepła pomiędzy ściankami cylindrów i czynnikami wskutek zwiększenia jego ilości oraz niższe temperatury i ciśnienia końca suwu sprężania w przypadku dolaowania niż w przypadku zwiększenia stopnia sprężania.

Trzeba tu dodać dla pełności obrazu, że wartości jednostkowego zużycia paliwa w punkcie B są niższe niż w punkcie D.
 Zagadnienie odporności paliwa na detonację w silniku z doładowaniem posiada jeszcze jeden aspekt. Jak wiadomo [2], [10], [11] minimalna wartość liczby oktanowej zmienia się wraz z obrotami silnika (dla charakterystyki zewnętrznej). W przybliżeniu charakter zmienności krzywej $LO = f(n)$ jest podobny do charakteru zmienności krzywej $P_e = f(n)$. Zależność tę ilustruje rys. 5.



Rys. 5. Zależność minimalnej liczby oktanowej od ilości obrotów silnika.

W przypadku silnika bez doładowania wartość najmniejszej dopuszczalnej liczby oktanowej maleje dość szybko ze wzrostem obrotów. Stwarza to możliwość stosowania w praktyce paliwa o liczbie oktanowej, lub silnika o stopniu sprężenia, odpowiadających nie punktowi A lecz punktowi B (rys. 5), zgadzając się równocześnie na istnienie niewielkiej detonacji w zakresie niskich obrotów przy pełnym obciążeniu, a więc w warunkach pracy jakie stosunkowo rzadko występują.

Przez dobór odpowiedniej regulacji gaźnika (np. oszczędzacz) i próżniowego regulatora zapłonu, można w znacznym stopniu osłabić detonację przez doprowadzanie w omawianych warunkach pracy bogatej mieszanki i przez opóźnienie zapłonu. Spowodowany tym spadek mocy silnika i wzrost zużycia paliwa nie ma w tym przypadku większego praktycznego znaczenia.

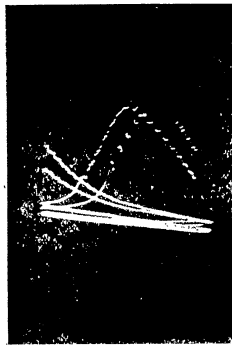
Jak widać z rysunku 5, charakter zmienności krzywej $LO = f(n)$ w przypadku doładowania jest zupełnie inny niż w przypadku silnika bez doładowania i nie może być tu mowy o dopuszczeniu niewielkiej detonacji w zakresie części charakterystyki zewnętrznej. W praktyce bowiem detonacja występowałaby zawsze przy pracy na zewnętrznej charakterystyce w przypadku sprężarki z napędem mechanicznym, lub w pobliżu mocy maksymalnej w przypadku turbosprężarki, a więc w warunkach gdy detonacja jest najbardziej niebezpieczna.

Reasumując powyższe uwagi na temat detonacji, należy stwierdzić:

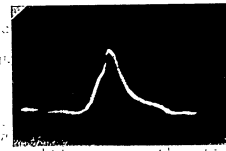
1. Przez zastosowanie doładowania uzyskuje się nawet przy niskich jego ciśnieniach poważny wzrost mocy silnika. Zwiększenie mocy możliwe do uzyskania tą drogą jest znacznie większe niż w przypadku podnoszenia stopnia sprężania. Jednocześnie wzrost wymagań odnośnie odporności paliwa na detonację w silniku z doładowaniem jest znacznie mniejszy niż w silniku o wysokim stopniu sprężania.
2. Zastosowanie ciśnień doładowania rzędu 0,6 — 0,8 atm przy równoczesnym obniżeniu stopnia sprężania silnika do 4—5 powoduje

wzrost mocy silnika rzędu 50% bez zmiany wymagań odnośnie odporności paliwa na detonację.

3. Wzrost mocy silnika spowodowany przez doładowanie połączony jest z równoczesnym niewielkim spadkiem jednostkowego zużycia paliwa. Jednakże przy analogicznym wzroście mocy spowodowanym wzrostem stopnia sprężania (jeżeli jest to możliwe do osiągnięcia) spadek zużycia jest znacznie większy.
 4. Przy zastosowaniu doładowania należy stosować paliwa zapewniające pracę bez detonacji w całym zakresie obciążeń i obrotów silnika. W silnikach bez doładowania istnieje możliwość stosowania paliwa o nieco obniżonej liczbie oktanowej (lub podwyższonym stopniu sprężania) kosztem nieznacznej detonacji przy pełnym obciążeniu silnika przy niskich obrotach.
- Możliwość zmniejszenia intensywności detonacji przedstawiają wykresy indykatorowe Nr 6 i 7 otrzymane przez autora.



Rys. 6.



Rys. 7.

Na rysunku 6 widzimy charakterystyczny wykres indykatorowy (rozwinęty) spalania z detonacją. Rys. 7 przedstawia pracę silnika przy analogicznym otwarciu przepustnicy i tych samych obrotach przy równoczesnym wzbogaceniu mieszanki z $\alpha = 1,02$ do 0,95 i opóźnieniu zapłonu o 4° obrotu wału korbowego. Mocy silnika uległa tu zmniejszeniu o 4% przy równoczesnym wzroście jednostkowego zużycia paliwa o 11,5%.

Skala ciśnień na rys. 6 jest 1,57 razy większa niż na rys. 7. Dane dotyczące mocy i zużycia paliwa przy pracy silnika z detonacją uzyskano w sztucznie stworzonych warunkach nie dopuszczając do przegrzania silnika, dla uzyskania optymalnych parametrów. Jednakże już po kilku minutach pracy z detonacją w normalnych warunkach moc silnika spada, a zużycie paliwa wzrasta bardziej niż w przypadku pracy przedstawionej na rysunku 7.

Oddzielnego omówienia wymaga zagadnienie możliwości powstawania samozapłonu w silnikach doładowywanych. Najogólniej można tu jedynie stwierdzić, że wobec znacznie zwiększonego obciążenia cieplego tego rodzaju silników, konieczne jest bardzo staranne rozwiązanie chłodzenia silnika.

6. Metodyka przeprowadzania badań nad dolożowaniem silnika gaźnikowego

Badania nad dolożowaniem silnika gaźnikowego można w zasadzie podzielić na:

- badanie silnika z konkretną sprężarką dla określenia jego osiągniętych parametrów,
- badanie wpływu dolożowania na konkretny silnik celem ustalenia optymalnych parametrów dolożowania i uzyskania wytycznych dla konstrukcji sprężarki.

W dalszym ciągu będą się zajmował jedynie zagadnieniem drugim jako bardziej ogólnym.

Przy rozwiązywaniu tego rodzaju problemów najkorzystniej jest zasilać silnik przy pomocy sprężarki z obcym napędem (np. napędzanej silnikiem elektrycznym); uzyskuje się wówczas możliwość łatwej regulacji parametrów dolożowania w bardzo szerokich granicach. Korzystne jest stosowanie przekładni ciągłej pomiędzy silnikiem napędzającym a sprężarką, układu przewodów i przepustnic przedstawionych na rysunku 3 oraz w niektórych przypadkach grzejnika dla podgrzewania powietrza. Uzyskuje się wówczas wartości parametrów takich, jak średnie ciśnienie efektywne, moc efektywna, jednostkowe efektywne zużycie paliwa „brutto”, to znaczy bez uwzględnienia strat mocy, na napęd sprężarki. Straty te można uwzględnić z dość dużą dokładnością przez obliczenie mocy pobieranej przez sprężarkę na podstawie zależności uproszczonej podanej przez Diaczenko [1]

$$N_e = \frac{V_1 (P_d - P_o) \cdot 10^3}{75 \cdot \eta_n \cdot \eta_m} \quad (\text{KM}) \quad (1)$$

gdzie:

- N_e — moc pobierana przez sprężarkę,
 - V_1 — rzeczywisty wydatek sprężarki w m³/sek.,
 - P_d — ciśnienie dolożowania w ata,
 - P_o — ciśnienie otoczenia w ata,
 - η_n — współczynnik sprawności sprężarki,
 - η_m — współczynnik sprawności mechanicznej,
- dobierając dla przewidzianej konstrukcji wartości współczynników sprawności według danych doświadczalnych istniejących w literaturze.

Postępowanie takie pozwala na porównanie poprzednio wymienionych parametrów według wartości „netto”, tzn. najbardziej nas interesujących. Popelniony w ten sposób błąd w praktyce nie przewyższa wielkości błędu pomiaru mocy przy pomocy hamulca wodnego lub elektrycznego i dlatego też nie ma większego praktycznego znaczenia. Uzyskane w ten sposób wyniki pozwalają na wyciągnięcie wniosków, choć nie zwalniają od konieczności sprawdzenia uzyskanych tą drogą parametrów na silniku z dobraną do niego i pobierającą od niego napęd sprężarką.

Przy badaniu silnika z dolożowaniem interesują nas następujące wielkości i ich zależność od parametrów dolożowania:

- moment obrotowy,
- jednostkowe zużycie paliwa,
- obciążenie cieplne silnika i temperatura najważniejszych jego elementów,

- ciśnienie szczytowe w czasie spalania,
- nierównomierność pracy silnika,
- nierównomierność pracy poszczególnych cylindrów,
- optymalna charakterystyka zapłonu dla danego paliwa,
- warunki pracy łożysk i wymagania odnośnie smarowania.

Ponadto bardzo interesującym i celowym byłoby ustalenie wpływu dolożowania na żywotność silnika. Jednakże w literaturze szczegółowych danych na ten temat nie ma zupełnie (dane ogólne pkt. 2.2 i 4.3), a autor nie miał możliwości prowadzić badań w tym zakresie, tak że problemem tym choć bardzo istotnym nie będę się tu zajmował. Szczegółowego opisu stanowiska badawczego stosowanego przez autora, jak i pełnego przebiegu badań, nie będę tu przytaczał, ponieważ artykuł ten stanowiąc jedynie mały fragment zagadnienia nie pretenduje do sprawozdania z pracy badawczej.

W przypadku dolożowania silnika należy się liczyć z poważnym jego wpływem na pracę gaźnika, gdyż współczynnik składu mieszanki można wyrazić jako:

$$\alpha = \frac{P_{\text{pow}} \cdot F \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta p \cdot \gamma_{\text{pow}}}}{P_{\text{pal}} \cdot L_o \cdot f \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta p \cdot \gamma_{\text{pal}}}} \quad (2)$$

gdzie:

- P_{pow} — współczynnik wypływu powietrza,
- P_{pal} — współczynnik wypływu paliwa,
- L_o — teoretyczna ilość powietrza dla spalania 1 kg paliwa (kg),
- F — przekrój gardzieli powietrznej,
- f — przekrój dyszy paliwowej,
- Δp — różnica ciśnień,
- γ_{pow} — ciężar właściwy powietrza,
- γ_{pal} — ciężar właściwy paliwa;

uwzględniając wielkości stałe w powyższej zależności możemy napisać:

$$L = C \cdot \sqrt{\gamma_{\text{pow}}} \quad (2')$$

porównując wartości współczynnika nadmiaru powietrza bez dolożowania L_o i z dolożowaniem L_d otrzymamy:

$$\frac{L_d}{L_o} = \sqrt{\frac{\gamma_{\text{pal}}}{\gamma_{\text{pow}}}} = \sqrt{\frac{P_d}{P_o} \cdot \frac{T_o}{T_d}} \quad (3)$$

Ponieważ dla $P_d > P_o$ wyrażenie podpierwiastkowe jest zawsze większe od jedności, stąd wynika, że gaźnik bez specjalnego urządzenia kompensującego będzie dawał w przypadku dolożowania mieszankę coraz uboższą w miarę wzrostu ciśnienia dolożowania.

Najelementarniejsze nawet próby wykazują konieczność zmiany regulacji gaźnika już przy niewielkich zmianach parametrów dolożowania. W związku z tym, zdaniem autora, przy rozwiązywaniu zagadnienia najważniejszym jest zdjęcie szeregu charakterystyk regulacyjnych przy różnych parametrach dolożowania. Uzyskuje się wówczas między innymi zależność mocy silnika (w tym wypadku „brutto”) od godzinowego zużycia paliwa i parametrów dolożowania. Jako parametry dolożowania przyjmowane są zwykle:

- ciśnienia doładowania,
- temperatura powietrza przed gaźnikiem (lub mieszanki za sprężarką
- zależnie od przyjętego rozwiązania vide p. 4. 1).

Ponieważ jednak w istniejących dotychczas konstrukcjach nie jest stosowane chłodzenie powietrza (lub mieszanki) za sprężarką oraz zależność wzrostu temperatury od wzrostu ciśnienia jest mniej więcej jednakowa dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych sprężarek pojemnościowych (prócz tłokowych), więc w dalszych rozważaniach przyjmować będę jako jedyny zmienny parametr — ciśnienia doładowania.

Należy tu podkreślić, że metoda przeliczenia pełnych parametrów czynnika na ciśnienie umowne (sprawdzone) przy sprężaniu izotermicznym daje zupełnie analogiczne wyniki.

Metoda ta jest bardziej ogólna i pozwala na porównywanie między sobą różnych sprężarek.

W dalszym jednak ciągu ze względu na wyżej wymienione przyczyny, jak i dla uproszczenia rozważań, przyjmuję jako jedyny zmienny parametr ciśnienia doładowania *.

Uwzględniając powyższe możemy napisać, że dla stałych wszystkich innych czynników wpływających na moc silnika, moc jego lub średnie ciśnienie efektywne są funkcją dwu zmiennych: godzinowego rozchodu paliwa i stopnia podwyższenia ciśnienia w sprężarce.

$$N_e = f(G, \varphi) \quad (4)$$

$$p_e = f_1(G, \varphi) \quad (4')$$

gdzie:

G — godzinowe zużycie paliwa przez silnik kg/godz.,

φ — stopień podwyższenia ciśnienia; $\varphi = P_d/P_s$.

Jeżeli zależność tę przedstawimy w układzie współrzędnych N_e - G lub p_e - G , to funkcje 4 lub 4' będą określane dla danego silnika na pewnej powierzchni, której charakter wyznaczono doświadczalnie przez autora dla silnika S-42 przedstawia rys. 8.

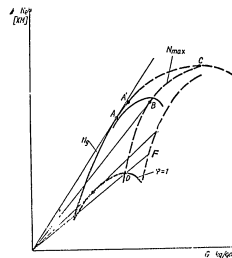
Przyjęcie tego rodzaju układu odniesienia jest dla analizy zagadnienia wygodne, gdyż w układzie tym linie proste przechodzące przez jego początek są liniami stałej sprawności ogólnej i równocześnie stałego jednostkowego zużycia paliwa, co ułatwia analizę funkcji i wyciągnięcie dalej opisanych wniosków z badań doświadczalnych.

Dolną linię graniczną powierzchni $N_e = f(G, \varphi)$ (na rys. 8) naniesiono linią przerywaną dla zadokumentowania, że ustalenie jej drogą doświadczalną jest mało dokładne.

Również linią przerywaną zaznaczano skrajny odcinek górnej linii granicznej w otoczeniu punktu C, gdyż przedstawia ona przewidywany przebieg przez autora, lecz nie stwierdzony doświadczalnie. Hipoteza autora ma następujące uzasadnienie: we wszystkich doświadczeniach stwierdzono bez wątpliwości, że obłe krzywe graniczne wykazują silne zakrzywienie w kierunku osi G . Ograniczenie mocy silnika przy zwiększeniu φ i równocześnie G wywołane winno być zwiększaniem się strat mechanicznych

* Parametry czynnika — ciśnienie i temperatura — zastępuje się niekiedy jednym celem z nich wynikającym — objętością właściwą lub ciężarem właściwym. Jest to równoważne z propozycją autora, choć nie we wszystkich wypadkach równie wygodne.

wakutek zwiększenia obciążeń mechanicznych i koniecznością stałego opóźniania zapłonu dla uniknięcia detonacji. Nie slega również wątpliwości, że w wielu silnikach niemożliwe jest osiągnięcie punktu szczytowego C z powodu zbyt małej wytrzymałości



Rys. 8. Charakterystyka silnika z doładowaniem $N_e = f(G, \varphi)$.

mechanicznej silnika, względnie zbyt mało odpornego na detonację paliwa, w przypadku którego praca silnika staje się niemożliwa przy wartościach φ dalekich od punktu C.

7. Analiza wykresu funkcji $N_e = f(G, \varphi)$

Na wykresie funkcji $N = f(G, \varphi)$ i przedstawionym poglądowo na rys. 8 interesujące są szczególnie następujące punkty:

pkt. A określony przez parametry G_a i φ_a , odpowiadający maksymalnej sprawności rozważanego silnika i tym samym minimalnemu jednostkowemu zużyciu paliwa możliwemu do uzyskania w danym silniku, przy określonych obrotach i rodzaju paliwa.

pkt. B określony jest analogicznie, jednak nie dla linii granicznej, lecz dla linii stanowiącej miejsce geometryczne punktów odpowiadających maksimum mocy przy różnych $\varphi = \text{const}$. Pozornie wydaje się, że pkt. B jest mało istotny, gdyż analogiczną moc można uzyskać przy wyższym ciśnieniu sprężania i przy niższym zużyciu paliwa np. w pkt. A'. Zainteresowanie punktem B moim zdaniem winno wynikać stąd, że leży on na linii $\varphi_a = \text{const}$, przemieszczając się wzdłuż tej linii do osiągnięcia bez zwiększenia ciśnienia doładowania w stosunku do punktu A, a więc i bez znaczącego wzrostu maksymalnego ciśnienia w cylindrze, kosztem jedynie zwiększenia zużycia paliwa (regulacja gaźnika), a więc łatwie do uzyskania w praktyce.

pkt. C przedstawia dla silników użytkowych jedynie wartość teoretyczną, gdyż jak to przedstawiłem w punkcie poprzednim, osiągnięcie tego w takim silniku jest raczej problematyczne.

Natomiast dla silników wyczynowych określenie parametrów tego punktu może mieć duże znaczenie praktyczne.

pkt. „D” — odpowiada mocy maksymalnej bez določowania. Linia DF jest miejscem geometrycznym punktów, dla których jednostkowe zużycie paliwa jest identyczne jak dla punktu D.

pkt. „H” — odpowiada minimum jednostkowego zużycia paliwa bez določowania. Linia HK jest miejscem geometrycznym punktów, dla których jednostkowe zużycie jest identyczne jak w punkcie H.

Wydaje się, że w przypadku silników użytkowych praktyczne znaczenie posiada jedynie część powierzchni ograniczona krzywą N_{e} , krzywą η_{e} , dolną krzywą graniczną, prostą DF i krzywą $\varphi=1$. Dla wszystkich punktów omówionej powierzchni jednostkowe zużycie paliwa jest niższe od zużycia odpowiadającego mocy maksymalnej bez določowania. Poza tym dla celów praktycznych duże znaczenie może posiadać znajomość parametrów punktów A i B.

Celem ustalenia parametrów punktów A i B ustalimy najpierw warunki matematyczne, jakim odpowiadają górna krzywa graniczna i linia łącząca punkty mocy maksymalnej dla poszczególnych ciśnień določowania. Dla skręcenia oznaczą linię górną znacznikiem „g”, a drugą znacznikiem „m”.

Funkcja $f(G, \varphi)$ ma jedno maksimum. Wartość $G = G_{\text{max}}$ wyznacza się z równania:

$$\frac{dN}{dG} = \frac{d}{dG} [f(G, \varphi)] = 0 \text{ stąd } (F_1, G, \varphi) = 0$$

Rugując z równań: $N = f(G, \varphi)$ i $F_1(G, \varphi) = 0$ parametr G otrzymamy równanie linii N_m w postaci uwikłanej:

$$F(N, G) = 0 \quad (5)$$

Dowolny punkt $P(N, \varphi)$ krzywej N_g spełnia równania:

$$\frac{d}{dG} [f(G, \varphi)] = \frac{N}{G} \text{ i } N = f(G, \varphi)$$

Rugując z nich parametr G lub φ otrzymamy równanie linii N_g

$$\Phi(N, \varphi) = 0 \quad (6)$$

lub

$$\Phi_1(N, G) = 0 \quad (7)$$

Warunek matematyczny dla punktu A można znaleźć: ze związku $\Phi(N, G) = 0$ wyznacza się $N = \Phi_2(G)$, a następnie:

$$g_e = \frac{N}{G} = \frac{\Phi_2(G)}{G} = M(G) \quad (8)$$

dla punktu A:

$$\frac{dg_e}{dG} = \frac{d}{dG} [M(G)] = 0 \quad (9)$$

wstawiając znaną wartość z równania (9) G_2 do równania $N = \Phi_2(G)$ otrzymujemy drugą współrzędną punktu A jako $N = \Phi_2(G_2)$.

W analogiczny sposób można określić punkt B.

Ze względów czysto rachunkowych wygodnie jest traktować moc silnika jako funkcję stopnia podwyższenia ciśnienia i współczynnika nadmiaru powietrza, a ten ostatni wyrazić jako funkcję φ i G .

Charakter zmienności funkcji $N = f(\alpha, \varphi)$ przedstawia rys. 9.

Zależność pomiędzy współczynnikiem nadmiaru powietrza α , stopniem podwyższenia ciśnienia φ i godzinowym zużyciem paliwa G dla omawianych warunków daje się ustalić w sposób następujący:

$$\alpha = \frac{G_d}{G_o} \quad (10)$$

gdzie:

G_d — ilość powietrza rzeczywiście doprowadzonego do cylindra w jednostce czasu,

G_o — ilość stechiometryczna powietrza w jednostce czasu.

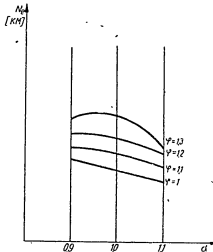
$$G_o = G \cdot L_o \quad (11)$$

gdzie:

G — ilość doprowadzonego paliwa w jednostce czasu,

L_o — stechiometryczna ilość powietrza przypadająca na jednostkę doprowadzanego paliwa.

$$G_d = A \eta_v \cdot \gamma_d \quad (12)$$



Rys. 9. Zależność mocy silnika od składu mieszanki dla różnych współczynników podwyższenia ciśnienia določowania

A — współczynnik ujmujący wszystkie wielkości stałe,
 η_v — sprawność objętościowa silnika,
 γ_d — ciężar właściwy powietrza.

Ponieważ przyjęliśmy jako jedyny parametr doładowania stopień podwyższenia ciśnienia, można napisać opierając się na równaniu stanu gazu doskonałego:

$$C_d = B \cdot \eta_v \cdot \varphi \quad (12)$$

gdzie:

B — współczynnik ujmujący wszystkie wielkości stałe.

Ponieważ z doświadczeń zarówno Diaczek [1] jak i autora wynika, że η_v dla niezbyt wysokich ciśnień doładowania jest funkcją (przy $n = \text{const}$) jedynie ciśnienia doładowania i że można ją traktować z dużą dokładnością jako funkcję liniową, można więc napisać:

$$\eta_v = a \cdot \varphi + b \quad (13)$$

Po uwzględnieniu poprzednich zależności otrzymamy ostatecznie:

$$\alpha = \frac{A_1 \cdot \varphi^2 + A_2 \cdot \varphi}{C} \quad (14)$$

gdzie:

A_1 i A_2 — nowe współczynniki grupujące odpowiednie wielkości stałe.

Wyniki otrzymane przy pomocy zależności (14) są w znacznym stopniu zgodne z wynikami doświadczalnymi uzyskanymi przez autora. Rozbieżności jakie pomiędzy nimi występują są tego samego rzędu co błąd pomiaru.

Wyprowadzenie ogólnego równania $N = f(\alpha, \varphi)$ może przedstawiać istotne korzyści przy analizie zagadnienia doładowania silników i ustalania kryteriów doboru parametrów doładowania. Jednakże problem ten jest bardzo skomplikowany i wymaga oddzielnego omówienia.

Najogólniej można tu podać, że moc silnika o danych parametrach konstrukcyjnych pracującego na określonym paliwie przy stałych obrotach można określić zależnością:

$$N = K \cdot \eta_v \cdot \varphi \quad (15)$$

gdzie:

K — współczynnik grupujący wszystkie wielkości stałe,

η_v — sprawność objętościowa silnika,

η — sprawność łączna obejmująca sprawność wywiązywania ciepła,

sprawność zmiany ciepła na pracę i sprawność mechaniczną.

Jedynymi zmiennymi występującymi w równaniu są η_v i η . Ponieważ zależność pomiędzy η_v i przyjętymi zmiennymi α i φ jest znana, zagadnienie sprowadza się do określenia funkcji

$$\eta = f(\alpha, \varphi) \quad (16)$$

Określenie funkcji (16) pozwoliłoby na określenie na drodze teoretycznej parametrów poszczególnych punktów wykresu funkcji $N_e = f(G, \varphi)$.

Według dotychczasowych wyników doświadczalnych oraz analizy teoretycznej przeprowadzonych przez autora wydaje się, że zagadnienie to może być rozwiązane w sposób pozwalający na dość szerokie uogólnienie wyników.

110

8. Wpływ doładowania na niektóre parametry pracy silnika

W rozdziale 6 artykułu podałem parametry, których zależność od ciśnienia doładowania byłaby szczególnie interesująca.

W krótkim artykule trudno omówić wszystkie wymienione zagadnienia. Jednakże dla uzupełnienia najważniejszych danych o wpływie doładowania na pracę silnika podam tu w znacznym skrócie zasadnicze wyniki przeprowadzonych przez autora doświadczeń.

8.1. Obciążenie cieplne silnika.

Przy doładowywaniu silnika S-42 w zakresie ciśnień doładowania do 0,25 atn (co odpowiada mocy 112,5 KM przy obrotach nominalnych) nie stwierdzono objawów przegrzania żądnych części silnika poza świecami zapłonowymi. Świece zapłonowe o wartości cieplnej 175 według skali Bosch'a (zalecane przez wytwórcię) wykazywały po długotrwałej pracy przy ciśnieniu doładowania 0,25 atn i nominalnych obrotach lekkie ślady przegrzania, jednakże nadawały się do dalszej pracy.

Temperatura gazów wydechowych mierzona na końcu rury wydechowej silnika wzrosła przeciętnie o około 80°C.

Przy zwiększeniu intensywności chłodzenia silnika i zastosowaniu chłodzenia oleju nie stwierdzono skłonności do samozapłonów nawet po długotrwałej pracy.*

Przy ciśnieniach doładowania 0,5 atn i więcej, jak również i przy ciśnieniach nieco niższych i przy znaczącym przekroczeniu nominalnych obrotów silnika występowały samozapłony, których nie można było usunąć mimo stosowania świec o wartości cieplnej 275 wg skali Bosch'a i obniżeniu temperatury wody chłodzącej wychodzącej z silnika do 40°C. Sądząc po temperaturze spalin, która wzrosła wówczas o około 200°C, przyczyną samozapłonów były prawdopodobnie zawory wydechowe.

Krótkotrwała maksymalna moc uzyskana przy nominalnych obrotach wyniosła 131 KM, przy czym silnik pracował do wystąpienia pierwszych samozapłonów i gwałtownego spadku mocy około 5 min.

8.2 Ciśnienie szczytowe w czasie spalania

Rysunek 10 przedstawia wykres indykatorowy silnika pozwalający na znalezienie średniej wartości maksymalnego ciśnienia spalania, jak również określenie nierównomierności pracy cylindra, w którym zainstalowany jest czujnik indykatora.

Dane uzyskane przez autora dla silnika S-42 podaje poniższa tabela (dla obrotów $n = 1300$).

Dane te są obliczone na podstawie dwu zdjęć wykonanych natychmiast jedno po drugim i obejmujących razem nie mniej niż 35 obrotów pracy silnika. Średnie ciśnienie spalania bez doładowania przyjęto w tabeli za 100.

Charakterystycznym jest, że wzrost ciśnienia spalania jest ograniczony i po przekroczeniu pewnego ciśnienia doładowania, ciśnienie spalania zmniejsza się. Wywołane jest to niewątpliwie opóźnieniem zapłonu dla

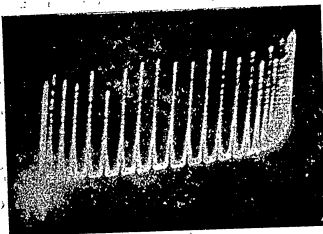
* Dla uniknięcia samozapłonów konieczne było ponadto intensywne chłodzenie przyspawanej do głowicy specjalnej końcówki dła czujnika indykatora. Kołowidka ta, mimo że czujnik był chłodzony wodą, nawet gdy silnik pracował bez doładowania rozgrzewała się do czerwoności i była przyczyną samozapłonów w odpowiednim cylindrze.

111

uniknięcia detonacji, a równocześnie tłumaczy występowanie maksimum sprawności przy podnoszeniu ciśnienia doładowania.

Współczynnik wzrostu ciśnienia doład.	1	1,1	1,2	1,25
Średnie ciśnienie spalania	100	112	121	118
Stosunek ciśnienia minimalnego ¹⁾ do średniego ²⁾	0,85	0,87	0,88	0,9

- 1) Chodzi tu o minimalną wartość ciśnienia spalania w obserwowanym okresie pracy.
- 2) Chodzi o średnią wartość ciśnienia spalania w obserwowanym punkcie.



Rys. 10.

Podany w tabeli stosunek minimalnego ciśnienia spalania w obserwowanym okresie pracy do średniego ciśnienia spalania w tym okresie wykazuje, że równomierność pracy indykowanego cylindra nieznacznie rośnie ze wzrostem ciśnienia doładowania.

9. Zakończenie

Reasumując przedstawione wywody można stwierdzić:

1. Zastosowanie doładowania w gaźnikowych silnikach czterocylindrowych samochodów użytkowych wydaje się być celowym w szeregu przypadków, przy czym parametry doładowania winny być dobrane odpowiednio do wymogów eksploatacji.
2. Zastosowanie silników z właściwie dobranym doładowaniem pozwala na zmniejszenie ilości różnych typów silników niezbędnych dla pokrycia zapotrzebowania na źródła napędu różnego rodzaju pojazdów mechanicznych.
3. Dla umożliwienia optymalnego doboru parametrów doładowania dla silnika, celowym jest ustalenie ogólnej zależności mocy efektywnej

silnika od współczynnika składu mieszanki i współczynnika podwyższenia ciśnienia.

4. Wobec braku danych o wpływie doładowania na zużycie silnika wydaje się celowym przeprowadzenie odpowiednich badań w tym kierunku.

LITERATURA.

1. N. H. Diazenko — „Awtotraktornye dwigateli s nadduwom. Masziz 1953.
2. A. S. Orlin i in. — „Dwigateli wnutriennogo sgorania”. Masziz 1951.
3. Akademik E. A. Czudakow i K. I. Genkiy — „Traktornoj gazowij dwigatel s wnutriennym smiesobrazowanijem”. Izdatelstwo Akademii Nauk SSSR. 1954.
4. W. N. Bolyński — „Awtomobilnye i traktornye dwigateli”. Masziz 1955.
5. W. Hintze — „Zur Aufladung von Verbrennungsmotoren” — Verbrennungsmotoren — praca zbiorowa VEB Verlag. Berlin 1953.
6. F.A.F. Schmidt — „Flugzeugtriebwerke” VEB Verlag. Berlin 1953.

Artykuły w czasopiśmie:

7. Auto Markt Nr 31/1954. W. Buck — „Warum Aufladung”.
8. Diesel Power Nr 10/1952. C. F. Harms — „Turbocharger maintenance”.
9. Diesel Power Nr 8/1952. „Turbocharger for automotive engines”.
10. SAE Journal, October 1949. Max M. Roensch (Ethyl-Corporation) „Which way to more engine power”.
11. Awtomobilnaja i traktoraja promyszennost' Nr 3/55 D. M. Aronow i G. Pankratow (NAMI) „Wlijanie stepeni sztaia na moszcznost' i ekonomicznost' awtomobilnogo benzynowego dwigatela.”

Mjr mgr inż. J. MICHALAK

PODSTAWY TEORETYCZNEGO OKREŚLANIA ŻUŻYCIA PALIWA PRZEZ SILNIK SAMOCHODOWY

Podczas ruchu samochodu energia paliwa zużywa się na:

1. straty cieplne i mechaniczne w silniku,
2. straty mechaniczne w układzie napędowym samochodu,
3. pokonywanie oporów (tłoczenia, wzniesienia, powietrza).

Zużycie paliwa dla silnika samochodowego na postoju oceniamy zwykle jednostkowym zużyciem paliwa w kg/godz., a dla całego samochodu w ruchu w kg lub litrach na 1 km lub 100 km przebiegu (kg/100 km, l/100 km). Do celów eksploatacyjnych oraz szybkiego obliczenia zużycia paliwa przyjęto tzw. eksploatacyjne normy zużycia paliwa. Norma eksploatacyjna jest to wielkość zużycia paliwa wykazywana średnio przez samochód pracujący w przeciętnych warunkach drogowych, atmosferycznych, trakcyjnych i przy średnim obciążeniu. Za średnie warunki drogowe przyjęto drogę o nawierzchni ulepszonej w średnim stanie.

Średnie warunki atmosferyczne uwzględniają wszystkie możliwości atmosferyczne: wiatry, opady i zmiany temperatur, jakie występują w czasie wiosny, lata i jesieni, z wyjątkiem zmian temperatur -0° lub dużych opadów śnieżnych.

Zasadnicze normy eksploatacyjne oparte są na wynikach specjalnie w tym celu przeprowadzonych badań oraz na materiałach sprawozdawczych. Dolną granicę zużycia paliwa, a więc normę minimalną, stanowi tzw. norma wzorcowa. Jest to norma opracowana dla wybitnie korzystnych warunków eksploatacyjnych (na autostradzie, bez wzniesień, przy bezwzględnie suchej pogodzie, dla nowego, lecz dotartego samochodu i jazdy na bezpośredniej przekładni przy szybkości ekonomicznej). Norma taka może służyć jedynie do porównania zużycia paliwa przez poszczególne typy samochodów. Jest to bowiem najniższa norma dla danego typu samochodu, jaką można osiągnąć na normalnie wyregulowanym samochodzie.

Norma eksploatacyjna jest większa niż wzorcowa, ponieważ uwzględnia zwiększone opory podczas jazdy. Na przykład dla samochodu M-20 „Warszawa” norma wzorcowa równa się 11 l/100 km, a norma eksploatacyjna 13,5 l/100 km.

Ustalone normy eksploatacyjne nie rozwiązują zagadnienia obliczania dokładnej ilości zużywanego paliwa. Zmienne warunki pracy samochodu w dużym stopniu wpływają na zużycie paliwa, którego nie można uwzględnić w normie eksploatacyjnej. Zachodzi więc potrzeba stworzenia teoretycznej podstawy do dokładniejszych obliczeń. Zagadnienie to jest przedmiotem tego artykułu. Wielkość zużycia paliwa obliczamy kilkoma sposobami:

1. według danych norm eksploatacyjnych,
2. według średniego obciążenia silnika w czasie ruchu pojazdu mechanicznego,

114

3. według wykresu zużycia paliwa na jednostkę czasu,
 4. według nomogramu połączonego z nomogramem siły napędowej.
- Pierwsze dwa sposoby służą do przybliżonych obliczeń analitycznych, a dwa ostatnie — do dokładniejszych obliczeń wykresowych.

1. Sposób obliczania zużycia paliwa wg danych norm eksploatacyjnych

Zwykle mamy daną normę eksploatacyjną zużycia paliwa w litrach lub kg na jeden lub 100 km przebiegu samochodu (Q_0 , kg/100 km), na podstawie której możemy łatwo wyliczyć zużycie paliwa dla dowolnej marszruty z następującej zależności:

$$Q = Q_0 (1 \pm n) \cdot L \cdot \alpha$$

n — współczynnik uwzględniający zmienne warunki użytkowania,
 L — ogólna długość marszruty,
 α — współczynnik długości marszruty, uwzględniający niedokładność obliczeń wg mapy ($\alpha = 1,05 - 1,2$).

Współczynnik „ n ” może być dodatnim i ujemnym. Na przykład: zimą normę eksploatacyjną zwiększa się o 10%, a przy holowaniu pustego samochodu zmniejsza się ją o 20% w porównaniu z ogólnym zużyciem paliwa dla dwóch samochodów.

Norma zużycia	Marka samochodu									
	M-20	GAZ-MM	GAZ-01	GAZ-03	ZIS-5	ZIS-150	ZIS-151	JAZ-200	STAR-20	Studebaker US
kg/100 km	10	15,5	20,0	22,5	25,7	28,5	39,6	28,0	21,2	29,0
l/100 km	13,5	20,5	28,5	30,0	34,0	38,0	52,0	35,0	27,5-23	38,5

Sposób ten jest mało dokładny, lecz najczęściej stosowany. Trudności polegają na określeniu wielkości współczynnika poprawkowego (n), szczególnie dla ciężkich warunków drogowych.

2. Obliczanie zużycia paliwa wg średniego obciążenia silnika w czasie ruchu samochodu

Do powyższego obliczenia przyjmujemy średnie obciążenie silnika równe około 50—80% jego pełnej mocy. Znając natomiast jednostkowe zużycie paliwa (G_c) w kg/KM godz. lub g/KM godz. i czas pracy silnika w godzinach, zużycie paliwa obliczyć można wg wzoru (2).

$$Q = G_c \cdot N_c \cdot \beta \cdot t \quad \text{kg} \quad (2)$$

lub:

$$Q = G_c \cdot N_c \cdot \beta \cdot \frac{L}{V} \quad \text{kg} \quad (3)$$

gdzie:

G_c — zużycie paliwa w kg/KM godz.
 N_c — 0,2 — 0,22 kg/KM godz. dla silników wysokoprężnych,

115

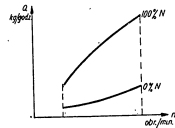
($C_e = 0,25 - 0,26$ kg/KM godz. dla silników gaźnikowych),
 N_e — efektywna moc silnika w KM,
 β — współczynnik obciążenia silnika równy $0,4 + 0,6$,
 L — marszruta w km,
 V — średnia szybkość ruchu samochodu w km/godz.,
 t — czas jazdy w godz.

Wg wzoru (2) przeprowadzamy najczęściej obliczenia zużycia paliwa dla traktorów i silników pracujących na postoju lub stanowiskach, natomiast wg wzoru (3) — dla samochodów.

Powyższą metodą obliczania nie daje dokładnych wyników. Najczęściej popełniamy tu błąd przy określeniu wielkości współczynnika obciążenia silnika (β). Dlatego też do dokładnych obliczeń zużycia paliwa należy zastosować inne metody obliczeń, które podano niżej.

3. Obliczanie zużycia paliwa według wykresu godzinowego zużycia paliwa

W wyniku badań całkowicie sprawnego silnika na hamowni można otrzymać zależność zużycia paliwa (Q kg/godz.) od obciążenia i obrotów wału korbowego. Powyższą zależność można przedstawić wykreślnie za pomocą krzywych, jak na rys. 1.



Rys. 1. Zależność zużycia paliwa od obciążenia silnika i obrotów wału korbowego

Górna krzywa przedstawia zużycie paliwa przy stu procentowym obciążeniu silnika, a dolna przy zerowym obciążeniu, tj. w wypadku, kiedy silnik pracuje luzem. Znając obroty wału korbowego lub szybkość pojazdu mechanicznego oraz obciążenie silnika możemy określić zużycie paliwa w kg/godz. Jednak z punktu widzenia eksploatacji interesuje nas zużycie paliwa nie na godzinie, a na jeden lub 100 km przebiegu. Zużycie to wylicza się z zależności (4)

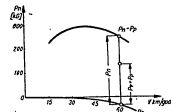
$$Q = Q_s \cdot \frac{100}{V} \text{ kg/100 km} \quad (4)$$

gdzie:
 Q_s — zużycie paliwa w kg/100 km,
 Q — zużycie paliwa w kg/godz.,
 V — szybkość ruchu w km/godz.

Jak zauważono, do określenia zużycia paliwa na podstawie wykresu potrzebna jest znajomość % obciążenia silnika, którego praktyczne określenie niezuważnie trudności. Obciążenie silnika można określić na podstawie wykresu trakcyjnego przedstawiającego zależność siły napędowej od szybkości ruchu samochodu $P = f(V)$.

Dla przykładu pokazano wykres trakcyjny dla biegu bezpośredniego (rys. 2).

Dla wygody za linię zerową przyjmuje się nie oś OV, lecz krzywą zmiany wielkości oporu powietrza (P_a) w zależności od szybkości ruchu samochodu, odłożoną w dół od osi OV. Wówczas górną krzywą przedstawia-



Rys. 2. Wykres trakcyjny biegu bezpośredniego

jąca różnicę siły napędowej i oporu powietrza ($P_n - P_a$) jest w rzeczywistości zależnością siły napędowej (P_e) od szybkości, po uwzględnieniu oporów powietrza. Linia zerowa przedstawia wówczas zerowe obciążenie silnika (praca silnika na biegu luzem), a linia krzywa ($P_n - P_a$) — 100% obciążenie silnika. Wielkość siły P_n możemy przyrównywać do obciążenia dlatego, że siła napędowa jest wprost proporcjonalna do mocy efektywnej silnika.

$$P_n = \frac{270 \cdot N_e \cdot \eta}{V} = K \cdot N_e \quad (5)$$

gdzie:

N_e — moc silnika w KM,
 η — współczynnik sprawności mechanicznej,
 V — szybkość samochodu w km/godz.,
 K — stała wielkość przy danej szybkości ruchu, obejmująca wszystkie niezmiennicze wielkości.

Z wykresu (2) można graficznie określić stopień % obciążenia silnika jako stosunek wielkości dwóch odcinków:

1. odcinka przedstawiającego niezbędną siłę napędową na pokonanie wszelkich oporów ruchu (oporu toczenia — P_t , oporu wzniesienia — P_w i oporu powietrza — P_a)

$$P_t + P_w + P_a = P_q + P_p$$

gdzie:

1. siła potrzebna na pokonanie oporu drogi, uwzględniająca siłę oporu toczenia i oporu wzniesienia,
 2. odcinka przedstawiającego całkowitą siłę napędową (P_n), która może być przekazana od silnika na koła napędowe, przy danej szybkości i danym biegu.
- Wówczas stopień obciążenia, to jest współczynnik obciążenia silnika (β), określa się wyrażeniem (6).

$$\beta = \frac{P_q + P_p}{P_n} \quad (6)$$

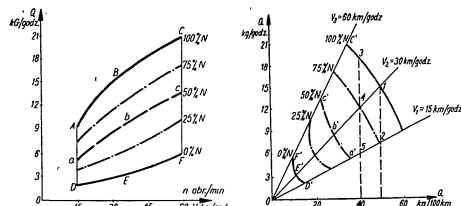
Współczynnik jest rzeczywistym współczynnikiem obciążenia i odpowiada % obciążenia silnika dlatego, że wielkość siły napędowej (P_n) przedstawiona jest na wykresie z uwzględnieniem współczynnika sprawności mechanicznej układu napędowego samochodu.

Określenie zużycia paliwa wg podanego sposobu jest dość kłopotliwe w praktyce, wymaga bowiem jednoczesnego posługiwania się dwoma oddzielnymi wykresami. Dla ułatwienia obliczeń dokonano połączenia tych dwóch wykresów w jeden nomogram. Obliczenie zużycia paliwa za pomocą wyżej wymienionego nomogramu stanowi czwarty sposób określenia zużycia paliwa.

4. Obliczenie zużycia paliwa wg nomogramu $Q = f(N_e \cdot \beta \cdot V)$

Sposób ten polega na naniesieniu na wykresy jednakowego zużycia paliwa (kg/100 km lub l/100 km) na nomogram siły napędowej. Dlatego też przebudowano wykres godzinowego zużycia paliwa na zużycie paliwa w kg/100 km, a następnie naniesiono krzywe jednakowego zużycia paliwa (kg/100 km) na nomogram zmiany siły napędowej w zależności od szybkości ruchu.

Przebudowę wykresu godzinowego zużycia paliwa na wykres zużycia paliwa w kg/100 km przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3a, b. Wykres zużycia paliwa w zależności od obciążenia silnika i szybkości ruchu

Lewa część rys. 3 przedstawia wykres godzinowego zużycia paliwa w zależności od obrotów wału korbowego „n” i ilość pobieranej mocy silnika (N_e ; β)

$$Q \text{ kg/100 km} = f(N_e, \beta, n)$$

Oś pozioma obrotów wału korbowego (n) możemy, wykorzystając i dla szybkości ruchu (V) odpowiednio przeliczając dla danej przekładni.

Wykres ten wykonujemy na podstawie badań na hamowni. Prawa część rys. 3 przedstawia zużycie paliwa w kg/100 km (Q kg/100 km) na podstawie danych z poprzedniego wykresu

$$Q \text{ kg/100 km} = f(Q \text{ kg/godz. } N_e; \beta; V)$$

Prawą część rys. 3 budujemy w następującej kolejności:

- przyjmujemy skalę dla osi rzędnych Q kg/godz. taką samą, jaką dla wykresu lewej części rys. 3;
- określamy skalę dla osi poziomej Q kg/100 km obliczając najpierw największą wartość zużycia paliwa (Q kg/100 km), jaka może zaistnieć dla danej przekładni, na podstawie wyrażenia (4);

$$Q = \frac{Q_0 \cdot 100}{V} \text{ kg/100 km}$$

Przy szybkości ruchu 15 km/godz. i 100% obciążeniu silnika zużycie paliwa wynosi 9 kg/godz., tj. 60 kg/100 km. Wystarczy więc nanieść skalę na osi poziomej od 0 do 60 km/godz.;

- obliczamy punkty charakterystyczne (A, B, C) dla krzywej zużycia paliwa w kg/100 km przy 100% obciążeniu silnika.

Punkt A' — jak obliczono poprzednio 60 kg/100 km.

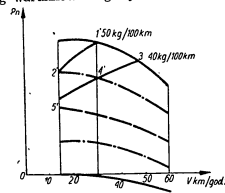
$$\text{punkt B}' - Q = \frac{15 \cdot 100}{30} = 50 \text{ kg/100 km,}$$

$$\text{punkt C}' - Q = \frac{21 \cdot 100}{60} = 35 \text{ kg/100 km.}$$

- Otrzymane punkty nanosimy na wykres;
- przeprowadzamy promienie szybkości ruchu $Q - V$ 15 km/godz., 30 km/godz. i 60 km/godz. odpowiednio przechodzące przez punkty C', B' i A'.

- łączymy linią krzywą punkty A', B', C', która odpowiada zużyciu paliwa w kg/100 km przy 100% obciążeniu silnika. Wszystkie pozostałe linie lewego wykresu, rys. 3, na przykład 50% obciążenia silnika — punkty a, b, c, przenosimy na prawy wykres oznaczając je punktami a', b', c', na promieniach odpowiednich szybkości. Łącząc naniesione punkty otrzymujemy krzywą zużycia paliwa przy 50% obciążeniu silnika. Analogicznie postępujemy i dla 0%, 25% i 75% obciążenia silnika.

Z kolei naniesimy otrzymane zależności z wykresu rys. 3 na wykres rys. 2, co pokazano na rys. 4. Tym sposobem przejdziemy do określenia zużycia paliwa wg warunków drogowych.



Rys. 4. Sposób wykonania nomogramu dla określenia zużycia paliwa w zależności od szybkości

Linie jednakowego zużycia paliwa nanosimy na wykres tracyjny w następującej kolejności:

- liniami przerywanymi zaznaczamy częściowe obciążenia silnika (0%, 25%, 50%, 75%) dzieląc wielkość odcinka siły napędowej (P_n) proporcjonalnie do obciążenia. Linie obciążenia są liniami pomocniczymi przy nanoszeniu krzywych zużycia paliwa;
- nanosimy siatkę zasadniczych szybkości, w naszym wypadku 15 km/godz., 30 km/godz., 60 km/godz.;
- nanosimy punkty 1, 2, 3, 4, 5 jednakowego zużycia z rys. 3, np. 50 kg/100 km, 40 kg/100 km, posługując się dla danego punktu daną szybkością i % obciążenia silnika. Otrzymane punkty 1', 2', 3', 4', 5' łączymy linią ciągłą.

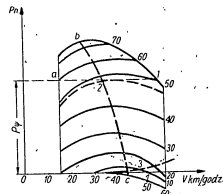
W ten sposób otrzymaliśmy połączony nomogram: zużycia paliwa i sił napędowych. Analogicznie sporządzamy krzywe zużycia paliwa dla pozostałych przekładni.

Przytoczone przykłady wskazują na możliwość obliczenia faktycznego zużycia paliwa. Największe zastosowanie w praktyce ma jednak pierwszy sposób. Obliczenia są w tym wypadku proste, lecz dane wyjściowe są mało dokładne i rezultat otrzymujemy z dużym błędem.

Do celów naukowych i doświadczalnych największe zastosowanie może mieć czwarty sposób określenia zużycia paliwa wg nomogramu $Q = f(N_{et}, \beta, V)$. Posługując się nomogramem (rys. 4) możemy rozwiązywać różne problemy zużycia paliwa dla ruchu jednostajnego, a także częściowo dla ruchu zmiennego.

Przykłady obliczeń zużycia paliwa wg nomogramu $Q = f(N_{et}, \beta, V)$.

Na rys. 5 pokazano rozwiązanie kilku typowych przykładów.



Rys. 5. Nomogram dla określenia zużycia paliwa w zależności od warunków ruchu

- Określić zużycie paliwa przy największej szybkości dla danego oporu drogi (P_0). Rozwiązanie określa punkt 1, który charakteryzuje największą szybkość dla danych warunków ruchu. Zużycie paliwa określamy interpolując wielkości poszczególnych krzywych jednakowego zużycia. W danym wypadku zużycie paliwa będzie 52 kg/100 km.

2. Określić szybkość, przy której nastąpi najmniejsze zużycie paliwa dla danych oporów drogi (P_0).

Szybkości, przy których uzyskujemy minimalne zużycie paliwa, będziemy nazywać szybkościami ekonomicznymi (V_{ek}), a zużycie paliwa — ekonomicznym (Q_{ek}).

Rozpatrując wykres (rys. 5) widzimy, że najmniejsze zużycie paliwa przy danym oporze ruchu P_0 określa punkt 2, który charakteryzuje nam Q_{ek} i V_{ek} . Punkt 2 otrzymamy przeprowadzając prostą a — i równoległą do osi O — V, odległą od niej o P_0 .

$$Q_{ek} = 48 \text{ kg/100 km}$$

$$V_{ek} = 45 \text{ km/godz.}$$

3. Określić, w jakich granicach szybkości ruchu zawiera się szybkość ekonomiczna (V_{ek}).

Chcąc rozwiązać to zadanie należy połączyć linią przerywaną b — c wierzchołki wypukłych linii jednakowego zużycia paliwa.

Linia b — c określa najmniejsze zużycie paliwa w zależności od warunków drogowych (obciążenia silnika). Widzimy, że szybkość ekonomiczna zwiększa się przy zmniejszeniu obciążenia silnika, tj. w miarę zmniejszenia oporów drogowych.

Dla samochodów ciężarowych produkcji radzieckiej i polskiej szybkości ekonomiczne wahają się od 20 — 40 km/godz. Granice szybkości ekonomicznej zależą przede wszystkim od konstrukcji samochodu, a wielkość całkowitego zużycia paliwa od obciążenia użytkowego i drogi.

4. Określić zużycie paliwa, jeśli opór drogowy $P_0 = 0$, a szybkość ruchu wynosi około 50 km/godz.

W danym przypadku samochód pokonuje tylko opór powietrza. Zużycie paliwa określamy punktem 3 na osi OV, $Q = 10 \text{ kg/100 km}$.

5. Określić zużycie paliwa, jeśli siła oporu drogi $P_0 < 0$, a szybkość ruchu $V = 50 \text{ km/godz.}$

Zużycie paliwa będzie różne w zależności od obciążenia silnika:

- jeśli silnik będzie odłączony od napędu, to przy wyłączonym zapłonie $Q = 0$;
- jeśli silnik będzie odłączony od napędu i pracuje na wolnych obrotach biegu luzem, to zużycie paliwa będzie zużyciem paliwa na biegu luzem przy minimalnych obrotach. Silnik zużywa średnio na biegu luzem 1,5 — 2 kg/godz. paliwa. Zużycie więc paliwa na 100 km wyniesie:

$$Q_{kg/100 km} = \frac{2 \cdot 100}{V} = \frac{2 \cdot 100}{50} = 4 \text{ kg/100 km};$$

c) jeśli silnik nie jest odłączony od napędu, to w tym wypadku wał korbowy będzie napędzany od kół, a zużycie paliwa będzie większe niż poprzednio i określa je punkt 4, $Q = 8 \text{ kg/100 km}$. Zużycie paliwa określamy na linii zerowej (linia oporu powietrza).

6. Jakie będzie zużycie paliwa przy hamowaniu lub przy wolnym toczeniu się samochodu?

Zadanie to rozwiązuje się analogicznie do poprzedniego.

7. Jakie będzie zużycie paliwa w wypadku holowania przyczepy?

Zagadnienie to rozwiązuje się podobnie jak w poprzednich przykładach, tylko dla innej wartości P_0 . Dla dokładniejszego jednak obliczenia należy wnieść poprawki na dodatkowy zwiększony opór powietrza przy holowaniu przyczepy. Opór powietrza zwiększa się o 15 + 30% w porównaniu z oporem powietrza dla samochodu bez przyczepy. Dodatkowy opór przedstawiono na rys. 5 linią przerywaną OK i od tej linii należy określać wielkość P_0 .

8. Jakie zużycie paliwa będzie przy rozbiegu samochodu w granicach szybkości od V_1 do V_2 ($V_1 = 30$ km/godz., $V_2 = 60$ km/godz.)?

Przyjmujemy, że przy rozbiegu samochodu silnik jest obciążony w 90 - 100%. W tym wypadku średnie zużycie paliwa będzie około 60 kg/100 km (rys. 5) przy szybkości średniej $V_{sr} = 45$ km/godz.

Faktyczne zużycie paliwa w kg na odcinku rozbiegu (S) określimy z wyrażenia:

$$Q_{sr} = \frac{Q \cdot S}{100 \cdot 1000} \text{ kg} \quad (7)$$

S — droga rozbiegu wyrażona w m.

Q — zużycie paliwa w kg/100 km.

9. Jak określić zużycie paliwa według nomogramu, jeśli moc silnika zmniejszyła się wskutek zużycia części lub jazdy samochodem na znacznych wysokościach nad poziomem morza?

W tym wypadku należy zwiększyć opór drogi proporcjonalnie do zmniejszenia się mocy silnika i określić wg nomogramu potrzebne wielkości, tak jak w poprzednich wypadkach.

10. Określenie zużycia paliwa przy ruchu niejednostajnym ($V \neq \text{const}$). Ruch niejednostajny składa się z rozbiegu oraz biegu luzem z wykorzystaniem nagromadzonej energii. Przy rozbiegu zużycie paliwa określamy podobnie jak w punkcie 8, tylko osobno dla rozbiegu i biegu luzem. Wielkości zużycia paliwa w kg/100 km przemnożymy odpowiednio przez drogę rozbiegu i biegu luzem. Otrzymamy wtedy całkowite zużycie w kg. Dla obliczenia długości drogi rozbiegu i biegu luzem posługujemy się wyrażeniami:

$$P \cdot S = \frac{m(V_1^2 - V_2^2)}{2} \quad (8)$$

Długość drogi rozbiegu (S_r) będzie więc:

$$S_r = \frac{G(V_1^2 - V_2^2)}{2g \cdot P_0} \text{ (m)} \quad (9)$$

gdzie:

G — całkowity ciężar samochodu w kg.

V_1 i V_2 — szybkości ruchu, początkowa i końcowa rozbiegu m/sek.,

P — siła potrzebna na rozbieg w kg,

g — przyspieszenie ziemskie m/sek².

Przy ruchu jednostajnym siła napędowa równa się sile oporu ruchu ($P_n = P_0 + P_p$).

122

Przy ruchu niejednostajnym siła napędowa powinna zabezpieczyć pokonanie oporu ruchu, a także oporu bezwładności:

$$P_n = P_0 + P_p + P_b$$

Stąd określamy siłę pozwalającą na rozbieg

$$P_b = P_n - (P_0 + P_p) \quad (10)$$

Otrzymaną siłę bezwładności podstawiamy do wzoru (9) określającego długości drogi rozbiegu oraz wprowadzamy współczynnik δ uwzględniający przyspieszenia mas obrotowych samochodu.

Wówczas otrzymamy wyrażenie:

$$S_r = \frac{\delta \cdot G(V_1^2 - V_2^2)}{2 \cdot g(P_n - (P_0 + P_p))} \quad (11)$$

gdzie:

P_n — siła napędowa samochodu,

P_0 — siła oporu drogi,

P_p — siła oporu powietrza.

Długość drogi jazdy luzem

Przy jeździe luzem siła napędowa nie jest przekazywana na koła napędowe ($P_n = 0$).

Długość drogi jazdy luzem określimy z wyrażenia

$$S_0 = \frac{\delta \cdot G(V_1^2 - V_2^2)}{2g(P_0 + P_p)} \cdot \eta \quad (12)$$

Do wzoru (12) wprowadzony został współczynnik sprawności mechanicznej (η), który uwzględnia siły tarcia mechanizmu napędowego. W poprzednim wyrażeniu współczynnik η był uwzględniony w sile napędowej (P_n), którą obliczamy wg wzoru (5):

$$P_n = \frac{270 \cdot N_s \cdot \eta}{V} \text{ kg}$$

Po obliczeniu długości drogi jazdy luzem oraz zużycia paliwa w kg/100 km dla średnich szybkości rozbiegu i biegu luzem wg nomogramu przeliczamy zużycie paliwa w kg z wyrażenia (7):

$$Q = \frac{Q_s \cdot S}{100 \cdot 1000} \text{ kg/godz.}$$

przy czym:

Q_s — zużycie paliwa w kg/100 km dla danej średniej szybkości ruchu

rozpedu lub biegu luzem,

S — długość drogi rozpedu lub biegu luzem w metrach.

123

Otrzymane wielkości zużycia paliwa dla rozbiegu i biegu luzem sumujemy, a następnie porównujemy ze zużyciem paliwa przy szybkości jednostajnej. Widzimy, że możemy teoretycznie uzasadnić z pomocą nieskomplikowanych obliczeń celowość stosowania ruchu jednostajnego do otrzymania oszczędności zużycia paliwa. Oprócz tego możemy określić stosowanie najbardziej celowych szybkości rozbiegu, początkową (V_1) i końcową (V_2) oraz końcową szybkość biegu luzem. Tym sposobem uzasadniamy celowość jazdy z wykorzystaniem nagromadzonej energii kinetycznej. Jak wykazały obliczenia i praktyczne zastosowanie ruchu jednostajnego z rozbiegiem, należy stosować dla samochodów ciężarowych następujące szybkości, rozbiegu:

V_1 — 20 ÷ 25 km/godz.,
 V_2 — 40 ÷ 50 km/godz.

Wówczas otrzymujemy oszczędności paliwa 10—20%.

Opisane wyżej sposoby pozwalają obliczać rzeczywiste zużycie paliwa przez samochód w zależności od warunków drogowych. Dwa pierwsze sposoby służą do obliczeń przybliżonych, pozostałe zaś do dokładniejszych. W eksploatacji do przybliżonych obliczeń zużycia paliwa przez samochód stosuje się pierwszy sposób (wg norm eksploatacyjnych), lecz w żadnym wypadku nie można posługiwać się nim w pracach naukowo-badawczych.

W tym ostatnim wypadku należy posługiwać się czwartym sposobem, tj. wg nomogramu $Q=f(N_e \cdot \beta \cdot V)$. Dokładność obliczeń zużycia paliwa jest wystarczająca (popelniany błąd jest rzędu 1 ÷ 2% i zależy od dokładności wykonania nomogramu).

Przytoczone przykłady obliczeń zużycia paliwa wg nomogramu charakteryzują przydatność tej metody do celów doświadczalnych i prac naukowo-badawczych. Nomogram można wykonać dla każdej marki samochodu w własnym zakresie, znając wykres trakcyjny danego samochodu i godzinowe zużycie paliwa przez silnik.

Mjr mgr inż. A. ZIMNIAK

BADANIE SILNIKÓW SPALINOWYCH ZA POMOCĄ PRZEMIENNIKÓW PIEZOELEKTRYCZNYCH

W s t ę p:

Wraz z rozwojem konstrukcji maszyn oraz ich ulepszeniem wyłoniła się konieczność przeprowadzenia pomiarów charakterystycznych i porównawczych.

Szczególnie przy budowie silników spalinowych wyłoniła się kwestia, w jaki sposób zachować dokładność pomiarów przy szybkim wzroście mocy silników i związanym z nim powiększeniem liczby obrotów.

Indykatory mechaniczne, używane przy pomiarach wolnobiernych silników spalinowych i tokowych maszyn parowych okazały się nieodpowiednie dla pomiarów ciśnień w silnikach szybkoobrotowych, gdyż na skutek bezwładności własnej nie są w stanie nadążyć za szybkim wahaniami ciśnienia.

Przez wykorzystanie efektu piezoelektrycznego zaistniała możliwość pomiaru szybko zmieniających się ciśnień. Niżej będą wyjaśnione zasady działania, sposób budowy komór piezoelektrycznych, jak i używanych przy pomiarach wzmacniaczy, przyrządów rejestrujących i dodatkowych. W dalszej części pracy będą rozpatrzone czynniki wpływające na dokładność pomiarów.

Przy wszystkich procesach o dużej częstotliwości zmian najodpowiedniejszym środkiem pracującym bez opóźnień okazały się zjawiska elektromagnetyczne, które w praktyce zdolne są rejestrować nagle zmiany wielkości nieelektrycznych. Można zbudować indykatory pracujące na zasadach indukcyjnych, pojemnościowych, magneto — lub termoelektrycznych. Mogą one być użyte prawie we wszystkich dziedzinach techniki.

Możliwość zastosowania zjawiska piezoelektrycznego do celów pomiarowych

Chociaż zjawisko piezoelektryczne w znaczeniu fizycznym było znane od dawna, możliwość jego zastosowania do pomiarów nie jest jeszcze dostatecznie wykorzystana. Przyczyną tego stanu jest, oprócz stosunkowo wysokich kosztów budowy aparatury i braku odpowiednich publikacji fachowych, przypisywanie temu sposobowi pomiarów różnych braków znacznie obniżających jego przydatność. Z natury rzeczy różne uboczne wpływy mogą tylko nieznacznie powiększyć błędy pomiarów. Dzięki dalszemu rozwojowi silników spalinowych (szczególnie lotniczych) w czasie ostatniej wojny udało się zbadać źródła błędów i doprowadzić pomiary przy pomocy zjawiska piezoelektrycznego do możliwie dużej dokładności.

Instytuty naukowe szeregu państw, dzięki paroletnim doświadczeniom zdobyły cenne wiadomości dla różnorodnego zastosowania zjawiska piezoelektrycznego.

W budowie silników spalinywych ten sposób pomiarów jest stosowany głównie przy następujących badaniach;

1. Określenie przebiegu ciśnienia w cylindrze (suw pracy i ssania),
2. Indykowanie rozdzielonych komór spalania (komora wstępna, wrotowa z zasobnikiem powietrza),
3. Indykowanie zjawisk w rurze ssącej dla zbadania doladowania,
4. Indykowanie zjawisk w rurze wydechowej (napęd turbin spalinywych, napęd odrzutowy (strumieniowy), zjawiska zwrotne i drgania w silnikach wielocylindrowych),
5. Przebieg ciśnień w przewodach paliwowych silników wysokoprężnych,
6. Indykowanie silników spalinywych, pomp, sprężarek i innych maszyn tłokowych,
7. Pomiaru inalnych ciśnień wody i powietrza o dużej częstotliwości, które występują np. przy badaniu modeli.

Można także mierzyć siły i naprężenia aż do najwyższych wartości, jak np. siły rozciągające i uderzeniowe (próby na rozzerwanie, naciski ścinające w obrabiankach, prasach i wykrojnikach), siły bezwładności na wyważarkach (wały korbowe), statyczne i dynamiczne naprężenia w konstrukcjach mostowych, karoseriach itp.

Komora kwarcowa aparatów pomiarowych jest obecnie jeszcze duża, więc ten sposób ma zastosowanie tylko tam, gdzie ze względu na konieczność opływu, równoczesność i wierność obrazu zjawisk nie może być zastąpiona inną metodą.

Konieczność ta występuje szczególnie przy badaniu szybkobieżnych silników spalinywych, gdyż w tym wypadku obok szybkozmiennych ciśnień występują inne zjawiska, mające wpływ na dokładność pomiarów.

Indykator sprężynowy mechaniczny może dla przykładu dawać użyteczne wskazania do 1000 obr/min, a sposób elektryczny daje możliwość pomiarów przy znacznie wyższych obrotach (rzędu dziesiątek tysięcy obr/min).

Przrzędy i ich zasady działania.

W zasadzie aparatura pomiarowa piezoelektryczna składa się z trzech głównych części:

1. Urządzenie odbierające impuls — komora kwarcowa.
2. Elementu wzmacniającego impuls — wzmacniacz.
3. Aparatury rejestrującej impuls — oscylograf katodowy lub pętlowy.

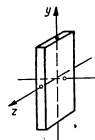
Komora kwarcowa

Komora kwarcowa pracuje na zasadach zjawiska piezoelektrycznego, polegającego na powstawaniu w kwarcu ładunku elektrycznego w miarę wywierania nań nacisku w określonym kierunku.

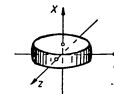
Kwarc posiada sześcienną siatkę krystaliczną, w której rozróżniamy trzy główne osie: elektryczną, optyczną i neutralną oznaczone przez x , y i z (rys. 1).

126

Ładunki elektryczne powstają na płaszczyznach prostopadłych do osi x . Jeżeli siła działa w kierunku osi x , to pojawiające się ładunki są równe co do wielkości i różne co do znaku. Przy nacisku w kierunku osi y ładunki są zależne od stosunku boków y/x , przy czym większe ładunki nagromadzają się na okładzinach kwarcu w wypadku elementu działającego w kierunku osi y . Dla odprowadzenia ładunków powstałych na płaszczyznach kwarcu płaszczyzny te są pokryte cienką warstwą metalu (między



Rys. 1 — kwarc płytkowy. Czułość zależy od wymiarów.



Rys. 2 — kwarc krążkowy. Czułość nie zależy od wymiarów.

Rys. 1 i 2. Kształty elementów kwarcowych: x — oś elektryczna, y — oś optyczna, z — oś neutralna.

srebro). Oznaczając ilość ładunków przez Q , działający nacisk przez P i właściwą dla kwarcu stałą przez $\delta = 4,77 \cdot 10^{-1}$ (As/kg), przy nacisku w kierunku osi x zachodzi związek:

$$Q = P \cdot \delta$$

Natomiast przy nacisku w kierunku osi y równanie przybiera postać:

$$Q = P \cdot \delta \cdot y/x$$

Należy przy tym zaznaczyć, że tylko przez zmianę nacisku powstają w kwarcu przesunięcia molekularne, a zatem i ładunki, które są doprowadzone do okładek kondensatora, na którym wywołują możliwe do zmierzania napięcia.

Wahania nacisku ΔP wywołują proporcjonalne zmiany napięcia i jeżeli przez C oznaczymy pojemność kondensatora, to otrzymamy zależność

$$\Delta U = \frac{P}{C} \cdot \delta \cdot \frac{y}{x}$$

Siła potrzebna do wywołania zmiany napięcia o 1 V w elemencie kwarcowym krążkowym (rys. 2), którego czułość nie zależy od wymiarów, przy równoległe włączonej pojemności C równej 1000 pF wynosi około 50 kg i jest oznaczona jako „czułość” elementu. Stąd otrzymuje się wielkość charakterystyczną dla elementu krążkowego:

$$\frac{P \Delta U}{C} = \frac{50 \cdot 1}{1000} = \frac{1}{20}$$

127

Wzory te wskazują, że nacisk i napięcie przy $C = \text{const}$ są proporcjonalne tak, że charakterystyczna kwarcu jest linią prostą.

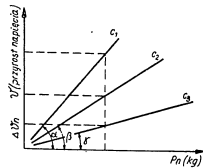
Ta cecha służy wyjątkowo tej metody nad innymi sposobami pomiarów, gdyż przy wszelkich pomiarach porównawczych wysłarczy każdorazowo sprawdzić tylko jeden punkt charakterystyki indykatora, oczywiście pod warunkiem, że pozostałe elementy aparatury pomiarowej pracowały bez zarzutu.

W wypadku, gdy mierzona wartość ciśnienia przekracza zakres pomiarowy aparatury rejestrującej, zakres pomiarów komory może być dowolnie rozszerzany przez dołączenie odpowiednio dobranych pojemności. Jeżeli te pojemności np. mają wartości C_1, C_2 i C_3 (pF), to niepotrzebne jest nowe cechowanie aparatu, gdyż zgodnie z wyżej powiedzianym zachodzą słowniki (rys. 3):

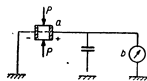
$$C_1 : C_2 : C_3 = \text{tg} \alpha : \text{tg} \beta : \text{tg} \gamma$$

Pojemność własna komory kwarcowej jest b. mała. Dlatego należy dołączyć zawsze równolegle kondensator dodatkowy, aby nie przekroczyć zakresu pomiarowego aparatury.

Bi-gunowość kwarcu (dodatnia lub ujemna) działa tylko na kierunek wychylenia strzałki, ale nie na jego wielkość. Zasadnicze połączenie komory pomiarowej pokazuje rys. 4.



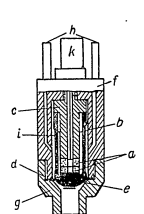
Rys. 3. Wykres cechowania komory kwarcowej z różnymi równolegle włączonymi kondensatorami C_1, C_2 i C_3 .



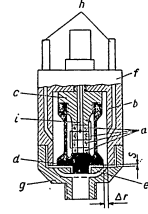
Rys. 4. Połączenie komory kwarcowej a równolegle z kondensatorem C_1 przyrządem rejestrującym b. Na komorze kwarcowej działa ciśnienie P.

Na rys. 5 do 8 pokazana jest wewnętrzną budowę różnych rodzajów nowoczesnych komór pomiarowych.

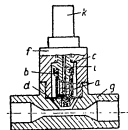
Zasadniczymi elementami komór są: obwód wstępnego napięcia, składający się z kilku krążków kwarcu — a, z tulejki względnie sworznia wstępnego napięcia — b, oraz elementów napinających — c, membrany d, pierścienia dociskającego membranę — e, korpusu — f, końcówki połączeniowej — g, końcówek do chłodzenia wodnego — h, przewodu odprowadzającego ładunki elektryczne — i, oraz połączenia dla kabla — k. Elementy kwarcowe ustawione są pomiędzy tulejką a elementem napinającym lub pomiędzy elementami napinającymi (rys. 8) z pewnym napięciem wstępnym, aby zapobiec możliwości przesuwania się pionowego tulejki względem elementów kwarcowych, gdyż w tym wypadku mogłyby powstać błędy pomiarowe.



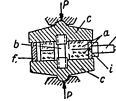
Rys. 5. Komora wysokiego ciśnienia



Rys. 6. Komora niskiego ciśnienia



Rys. 7. Komora do przewodów paralielowych

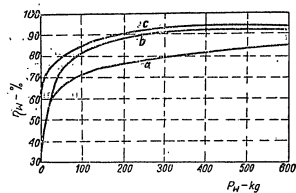


Rys. 8. Komora do pomiaru sił

a — krążkowe elementy kwarcu, b — tulejka wzgl. sworznia wstępnego napięcia, c — element napinający, d — membrana, e — pierścień dociskający membranę, f — korpus, g — końcówka połączeniowa, h — końcówka do chłodzenia, i — przewód odprowadzający ładunki, k — połączenie do kabla.

s — Białystok WAT nr 6

Na rys. 9 podane są krzywe sprawności rozmaitych nadajników, z których widać, jak duży wpływ ma budowa i obróbka części komory na wielkość wstępnego napięcia, poza którym występuje już jednakowe przekazywanie obciążenia nadajnika.



Rys. 9. Zależność sprawności piezoelektrycznej komory od napięcia wstępnego P_w .
 a — stary typ — nasytanie przy $P_w = 600$ kg $\eta_k = 95\%$
 b — nowy typ — „ „ „ $P_w = 350$ kg $\eta_k = 92\%$
 c — poprzeczny typ „ „ „ $P_w = 350$ kg $\eta_k = 95\%$

Jakość obwodu napięcia wstępnego zależy oprócz tego jeszcze od stosunku przekrojów poprzecznych tulejki i elementów kwarcowych, materiału z jakiego wykonana jest tulejka, a także w mniejszym stopniu od temperatury.

Te czynniki określają tak zwany stopień sprawności tulejki:

$$\eta_T = \frac{P_k}{P_k + P_l} \cdot 100\%$$

gdzie:

P_k — jest to przez kwarc, a P_l — przez tulejkę przeniesione obciążenie, stanowiące część obciążenia zewnętrznego P_a .

Przez ciągłe ulepszenie budowy i obróbki stopień sprawności tulejki został powiększony do 95—96%.

Wysokie napięcie wstępne ma zapobiec zniekształceniu charakterystyki prostoliniowej kwarcu, wywołanemu przez nieprawidłowy przepływ sil, a także tulejka nie dopuszcza wilgoci z komory chłodzącej. Najmniejszy osad na powierzchni kwarcu tak znacznie pogarsza izolację, że i tak małe ładunki elektryczne spływają na masę komory kwarcowej nie oddziałując na przyrząd pomiarowy. Zasadniczymi wadami starych komór były za niskie napięcia wstępne i zła izolacja. Trwałość elementów kwarcowych przy odpowiedniej budowie jest praktycznie nieograniczona, gdyż wytrzymują one naciski powierzchniowe do 20000 kg/cm². Są one natomiast bardzo czułe na zginanie i pęknięcia.

Przy pomiarze ciśnienia gazów i cieczy, przestrzeń indykowana znajdująca się pod ciśnieniem musi być odgodzona od ciśnienia zewnętrznego. Rolę tej przegrody spełnia membrana. Musi ona przestrzeń pomiarową

odgodzić od komory chłodzącej i mierzone ciśnienie bez opóźnień przemieścić na elementy kwarcowe. To też podlega ona nie tylko silnym wahaniom obciążenia, ale także — jak np. w silnikach spalinowych wysokim temperaturom i działaniom chemicznym (korozji).

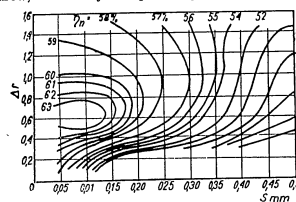
Jakość więc stosowanego materiału odgrywa zasadniczą rolę w pracy membrany. Może ona być wykonana jako oddzielny element lub łącznie z tulejką, stanowiąc z nią całość. Zastosowanie jednego lub drugiego sposobu budowy zależy od każdorazowych warunków użycia. Rys. 5 i 6 pokazuje komorę z oddzielnymi membranami, natomiast na rys. 7 stanowi ona jedną całość z tulejką.

Przez membranę jest odprowadzona część obciążenia, nieuwzględniona przy pomiarze, naskutek czego ogólny stopień sprawności komory zmniejsza się o sprawność membrany.

$$\eta_{sk} = \eta_k \cdot \eta_m$$

Na rys. 10 podany jest wykres sprawności membrany η_m w zależności od szerokości szczeliny Δr i grubości membrany s .

Iloczyn szerokości szczeliny i średniego obwodu pierścienia daje wolną powierzchnię membrany, obciążonej ciśnieniem. Wykres wskazuje, że mogą być osiągnięte najkorzystniejsze warunki przy zachowaniu określonych wymiarów, które należy brać pod uwagę przy projektowaniu komory.



Rys. 10. Zależność sprawności membrany od jej grubości s i szerokości szczeliny Δr

Badania wykazały, że jakość materiału w porównaniu z danymi na wykresie 10 jest pierwszorzędna. Jego odporność na korozję wpływa na czas pracy komory.

Kabel odprowadzający ładunki elektryczne musi być wyprowadzony w ten sposób, aby w żadnym wypadku wilgoć nie mogła przedostać się z zewnątrz do komory kwarcowej, mieć dobry styk z przewodem prowadzącym do wzmacniacza. Warunki te zapewnią połączenie bagietkowe. Najlepszym materiałem izolacyjnym jest polerowany busztytn.

Na szczególną uwagę zasługują chłodzenie komory, która niechłodzona przy pomiarach komór spalania silników musiałaby przejmować temperatury wstępującego powietrza. Czułość kwarcu jest prawie niezależna od temperatury, ale inne części aparatury wykonane są ze stali, a więc z materiału o dużej odkształcalności cieplnej.

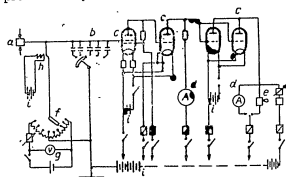
Najbardziej obciążoną cieplnie jest membrana, która musi być odpowiednio chłodzona; jednak nie należy dopuszczać do wahań się ciśnienia w układzie chłodzącym, spowodowanego tworzeniem się pęcherzyków pary lub tym podobnym.

Podczas gdy wkręcony do głowicy cylindra nadajnik nagrzewa się przez bezpośrednie działanie wysokich temperatur, to w wypadku np. umieszczenia komory kwarcowej na rurze ssącej nagrzewa się ona przez promieniowanie ciepła przez silnik i również musi być chłodzona. Komory kwarcowe natomiast używane do pomiaru ciśnień w układzie paliwowym silników wysokoprężnych lub do pomiaru sił nie potrzebują w zasadzie specjalnych urządzeń do obniżania temperatury, gdyż małe wahań nie wpływają na dokładność pomiarów.

Kształt i wymiary korpusu oraz końcówki połączeniowej (gwinty) zależą od możliwości ich wbudowania, tak że na ogół według kształtów zewnętrznych można ocenić przydatność komory kwarcowej. Jednak główny warunek stanowi wymaganie, aby masa obudowy była duża w porównaniu do masy części wewnętrznych, podlegających wibracjom, tj. elementów kwarcowych, membrany i tulejki. Obliczenia teoretyczne (układ trzech mas), jak również i badania praktyczne wykazały, że siły zewnętrzne, jak np. drgania kadłuba silnika tym mniej przenoszą się na nadajnik, a tym samym wpływają na pomiary, im większa jest częstotliwość drgań własnych komory. Powinna ona wynosić możliwie około 10000 Hz.

Wzmacniacz

Ilość ładunków dostarczona przez komorę kwarcową na okładki kondensatora wywołuje napięcia, które jednak są za słabe dla sterowania urządzeniem pomiarowym lub rejestrującym. Wzmacniacz te słabe napięcia niezależnie od ich częstotliwości musi przekształcić w proporcjonalne prądy dostatecznej wielkości i równocześnie musi on posiadać charakterystykę prostoliniową.



Rys. 11. Schemat trzystopniowego wzmacniacza pomiarów:
a — komora kwarcowa, b — kondensatory równoległe, c — stopnie wzmacnienia, d — amperomierz, e — oscylograf, f — potencjometr (obwód wzorc.), g — miernik napięcia, h — przekładnik obwodu wzorcowego (uruchomiony przez przyrząd sterujący), i — źródło prądu (bateria).

Poza tym musi on być odporny na wstrząsy, chociaż znajduje się w pobliżu miejsca pomiarów, wodoszczelny, niezależny od wpływu temperatury, łatwopromyślny i prosty w obsłudze.

132

W zależności od żądanego wzmacnienia używa się wzmacniaczy dwu — lub trzystopniowych.

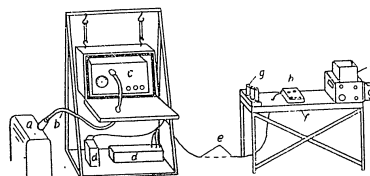
Lampy obwodu wyjściowego muszą mieć szczególnie dobrą izolację i małą pojemność, odpowiednio do niskich napięć sterujących. Tym obydwom warunkom odpowiadają lampy T 113 i T 114, które dla obniżenia napięcia anodowego posiadają siatkę przestrzenną. Dalsze wzmacnienie odbywa się w drugim stopniu przy pomocy triody końcowej, a jeżeli zachodzi potrzeba, w trzecim stopniu przy pomocy triody końcowej.

Ponieważ niektóre petlice oscylograficzne potrzebują silniejszego prądu sterującego, można do końcowej triody włączyć równoległe drugą lampę, tak jak pokazano na schemacie wzmacniacza (rys. 11).

Zgodnie z wyżej wspomnianymi zasadami pracuje się tylko na prostoliniowej części charakterystyk lamp.

Aby odciążyć aparaturę rejestrującą, prąd spoczynkowy ostatniego stopnia pozostaje doprowadzony do zera, tak że właściwie dopiero przy rozłączeniu pomiarów prąd zaczyna przepływać przez petlice. Porównanie otrzymanych prądów pomiarowych z linią cechowania nadajnika celem oceny wykresu staje się możliwe, gdyż przy pomocy rozdzielacza napięć do siatki lampy przyłożone jest stałe napięcie o znanej wielkości. Przekładnik oddziela od siatki ten wzorcowy obwód w czasie pomiarów. Równoległe kondensatory, konieczne do dostrojenia impulsów przechodzących z komory kwarcowej na obwód pomiarowy, leżą także w pobliżu siatki wejściowej. W użyciu praktycznym wzmacniacz zwykle umieszcza się w pobliżu miejsca pomiarów — stanowiska prób silników — chroniąc go przed wpływami zewnętrznymi przez elastyczne zawieszenie i obsługując go przez aparaturę rejestrującą, oddaloną częstotłokość o kilkadziesiąt metrów a połączoną z nim wielożyłowym kablem (rys. 12).

Aby uniezależnić wzmacniacz do wahań napięcia sieci zasilany on jest przy pomocy akumulatorów.



Rys. 12. Urządzenie dla pomiarów piezoelektrycznych z wzmacniaczem i aparaturą rejestrującą:

a — silnik z kwarcowym indykatorem piezoelektrycznym, b — kabel wysokiej częstotliwości, c — wzmacniacz pomiarowy zawieszony elastycznie, d — bateria, e — kabel do aparatury rejestrującej, f — stół oscylografu, g — petlice oscylograficzne, h — przyrząd sterujący, i — okienko obserwacyjne (matówka), k — kaseta dla oscylogramu.

133

Aparatura rejestrująca

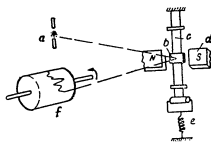
Impulsy wychodzące ze wzmacniacza są uwidocznione przy pomocy oscylografu katodowego lub półtkowego i następnie są fotografowane. Oscylograf katodowy, zaopatrzony w lampę jedno- lub dwustrumieniową pracuje bez opóźnień, jest wygodny w użyciu i stosunkowo tani.

Wbudowane urządzenie odchylające steruje w czasie odchylania strumienia elektronów w lampie oscylograficznej. Dzięki temu możliwe jest przez połączenie urządzeń przy silniku (przełącznik kąta korby, względnie drogi tłoka) zdejmowanie wykresów ciśnień w funkcji czasu względnie objętości ($p-t$, $p-V$).

Wadą tej aparatury jest to, że można równocześnie otrzymywać najwyższej tylko dwa wykresy. Tymczasem oscylografy półtkowe pozwalają przyłączyć taką ilość miejsc pomiarowych, ile posiadają one pętlę.

Najnowsze oscylografy półtkowe firmy Siemens i Halske posiadają dwanaście pętlic.

Aparatura ta wraz z wbudowanym aparatem fotograficznym nadaje się szczególnie do określania wartościowego wykresów oscylograficznych, podczas gdy oscylator katodowy jest bardziej przydatny przy bezpośredniej obserwacji np. dla pokazów przy większym audytorium. Zasada działania pokazana jest na rys. 13.



Rys. 13. Zasada działania oscylografu półtkowego: a — źródło światła (lampa łukowa), b, c — pętlice pomiarowe, b — zwierciadło, c — drut pętlicy, d — magnes stały, e — sprężyna napiągająca dla ustalenia tłumienia, f — bęben z papierem światłoczułym.

Promienie źródła światelnego a (lampa łukowa) skupione przez soczewki i przesłony szkiełkowe oraz odchylone przez pryzmaty padają na zwierciadło b pętlicy c. Zwierciadło rzuca promień świetlny na wirujące zwierciadło wielograniaste lub na bęben z papierem światłoczułym f.

Aby można było obserwować obraz jako nieruchomy na matówce, reguluje się ilość obrotów zwierciadła wielograniastego tak, aby były one synchronicznie z częstotliwością zjawiska mierzonego.

Zasadnicza budowa jednej pętlicy oscylografu jest także pokazana na rys. 13. W stałym polu magnetycznym d znajduje się cienka druciana pętlica c napięta siłą sprężyny e. Na pętlicy umieszczone jest małe zwierciadło b, o powierzchni 1 mm². Urządzenie to znajduje się w zbiorniku z oliwą, zaopatrzonym w okienko, przez które promień świetlny pada na zwierciadło b. Jeżeli przez pętlę c przepuścimy prąd, to w polu ma-

134

gnetycznym magnesu d powstanie moment obrotowy, który skłoni pętlę c i zwierciadło b o pewien kąt, zależny od wielkości prądu. Jednocześnie z tym promień odbity od zwierciadła zostaje odchylony i na mierzonym pojawia się odpowiedni odcinek krzywej. Częstotliwość własna pętlicy może być w dużych granicach zmieniana przez rozmaite napięcia sprężyny e, kąpieli olejowej służą jako tłumik. W zależności od częstotliwości pomiarowych pętlice wykonuje się w rozmaity sposób i różnią się one pomiędzy sobą częstotliwością własną.

Przyrządy dodatkowe

Do badania na drodze piezoelektrycznej procesów zachodzących w silnikach konieczne są jeszcze dodatkowe urządzenia.

Wskaźnik czasu

Dla określenia ilości obrotów silnika, potrzebna jest do tego skala czasowa, wykreślona na oscylogramie przez specjalną pętlę, drgającą ze stałą częstotliwością 500 Hz. W czasie trwania badanego przebiegu, pełna 500 Hz zmienia na oscylogramie sinusoidalny przebieg; z ilości okresów tego przebiegu obliczymy czas trwania badanego zjawiska.

Przełącznik kąta korby

Dla oznaczenia położenia tłoka badanego silnika, na obwodzie koła zamachowego umieszczone są w różnych odstępach zęby, które przechodzą koło cewki indukcyjnej.

Powstałe w cewce impulsy prądu, przy pomocy dwóch pętlic połączonych równolegle, są uwidocznione na dolnej i górnej krawędzi oscylogramu w postaci znaków kąta korby.

Znaki te przez ich połączenie linią pozwalają na wyodrębnienie odczytanych, powstałych podczas wywoływania papieru światłoczułego. Punkty martwe stają się bardziej widoczne przy większych amplitudach przełącznika (szersze zęby na kole zamachowym).

Przełącznik punktu zerowego

Sposobem piezoelektrycznym nie można zmierzyć samego ciśnienia, lecz tylko różnicę ciśnień. Z tego powodu dla odczytania wykresu trzeba mieć linię odniesienia odpowiadającą ciśnieniu atmosferycznemu.

Membrana, obciążona z jednej strony ciśnieniem mierzonym, z drugiej zaś ciśnieniem atmosferycznym zwiernia na krótko kontakt elektryczny ze stałym ciśnieniem się obu ciśnień. Punkt ten zostaje wykreślony na oscylogramie przez dalszą pętlę. Potrzebna różnica ciśnień sterujących dla przerwania kontaktu wynosi ok. 0,03 atm. i nie ma praktycznego wpływu na dokładność pomiaru.

Zwieracz

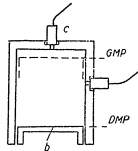
Wysokość wykresu przebiegu ciśnienia jest ograniczona wymiarami taśmy oscylograficznej. Do dokładnego określenia także małych różnic ciśnień, jak to ma miejsce np. w sawie ssania lub wydechu, wykres powinien mieć odpowiednią wielkość.

135

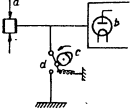
Wadą tego sposobu jest brak wykresu zmian ciśnienia, gdy tleek znajduje się w okolicy GMP.

Aby rozciągnąć wykres małych różnic ciśnień, większe amplitudy ciśnienia spalania muszą być z niego usunięte, gdyż w przeciwnym razie nastąpi przesterowanie pętlicy. Można to osiągnąć różnymi sposobami.

1. Komora kwarcowa jest w taki sposób wkręcona do cylindra, że w czasie działania wysokiego ciśnienia jest ona przez tleek przesłonięta i ciśnienie na nią nie działa (Rys. 14).
2. Wzmacniacz jest tak wyregulowany, że przy przesterowaniu pracuje on na krzywoliniowej części swojej charakterystyki. Regulowanie jest jednak bardzo kłopotliwe i przewaga stosunków prostoliniowych charakterystyki staje się wadą.
3. Zwieracz (rys. 15) stanowi najlepsze rozwiązanie tego problemu. Sterowany przez silnik i mogący być dowolnie ustawiony palec c, w zależności od ciśnienia — działa na kontakt d, który po osiągnięciu dopuszczalnego prądu sterującego na siatce pierwszej lampy b, łączy ją z ziemią i w ten sposób nie dopuszcza do uszkodzenia pętlicy.

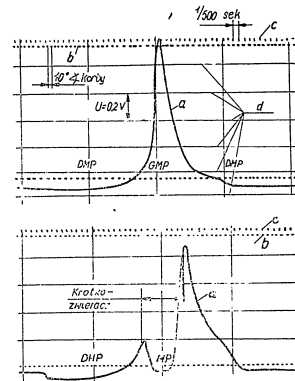


Rys. 14. Umieszczenie komory pomiarowej w cylindrze silnika:
a — cylinder, b — tleek, c — komora pom. do wys. ciśnień, d — komora pom. do niskich ciśnień, GMP — górny martwy punkt, DMP — dolny martwy punkt.



Rys. 15. Zwieracz do ograniczenia prądu sterującego:
a — komora kwarcowa, b — lampka wzmacniacza, c — nastawny palec sterowany przez silnik, d — kontakt do uziemienia siatki lampy b.

Na rys. 16 i 17 pokazane są wykresy przebiegu ciśnienia w cylindrze silnika spalinowego. Na rys. 17 szczególnie dobrze widać wpływ zwieracza. Zdjęcia zostały wykonane przy jednym i tym samym stanie pracy silnika. (Rys. 16 — wykres oscylograficzny wysokiego ciśnienia. Rys. 17 — wykres oscylograficzny niskiego ciśnienia. Widoczne działania zwieracza).



Rys. 16 i 17. Piezoelektryczne wykresy przebiegu ciśnienia w cylindrze silnika spalinowego przy 1224 obr./min.
a — krzywa ciśnienia, b — znaki kąta korby, 1 — działka = 10°, c — znaki ciśnienia — 1 działka 1/500 sek, d — linie cechowania w odległości $\Delta U = 0,2$ V. GMP — górny martwy punkt, DMP — dolny martwy punkt.

Przełącznik igły wtryskiwacza

Do badania przebiegu wtrysku w silnikach wysokoprężnych z rozmiłymi wtryskiwaczami służy przyrząd sterowany przez igłę. Jej każdorazowe położenie, a tym samym i przekrój poprzeczny otworu wypływu paliwa, wykreśla się na drodze indukcyjnej. Igła wtryskiwacza jest przedłużona i na końcu posiada talerzyk, który wraz podnoszeniem się igły zbliża się mniej lub więcej do bieguna magnesu, umieszczonego w cewce indukcyjnej. Indukowane prądy sterują jedną z pętlic oscylografu. Całe urządzenie znajduje się w obudowie typu kalorymetrycznego, aby zapobiec stratom ciepłymi. Odstęp pomiędzy talerzykiem a cewką może być z zewnątrz ustawiony. Jego wielkość, jako cechowanie określa specjalna skala.

Do omówienia pozostały jeszcze spotykane błędy pomiarowe oraz sposoby ich wykrywania.

Temat ten będzie poruszony w następnym artykule.

WYKAZ LITERATURY

1. Maszynostrojenc — tom XIII.
2. Ing. Theodor Haupt — Pomiar maszyn.
3. Przegląd Mechaniczny — zeszyty 9 i 10.

Objętość ark. druk. 8/4. Drukowano na papierze druk. sat. kl. V, 60 g. 70×100
w Wojskowej Drukarni w Łodzi. Zam. nr 833 z 25.08.55. Druk ukończono 15.10.55,
CW-19869.

End of
Book