



5

# TECHNIKA LOTNICZA

**DWUMIESIĘCZNIK SEKCJI LOTNICZEJ STOWARZYSZENIA  
INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW MECHANIKÓW POLSKICH**

**WRZESIEŃ • 1959 • PAŹDZIERNIK**

## TREŚĆ ZESZYTU

	Str.
Mgr inż. ZYGMUNT BALICKI . . . . .	125
T. WIŚLICKI: Zagadnienia wymienności w budowie płatowców . . . . .	126
S. SZULC: Metody technologiczne dla uzyskania war- stwy powierzchniowej o określonych własnościach . . . . .	134
P. KIJKOWSKI: Praktyczne sposoby wyznaczania pa- rametrów przepływu gazu ściśliwego w przewodach, cz. II . . . . .	144
Nowości techniczne . . . . .	151
Przeglądamy usprawnienia, S. M. . . . .	151
Na półkach księgarskich . . . . .	153
Przegląd Dokumentacyjny Lotnictwa . . . . .	155
Pomoce Konstruktorskie — T. WIŚLICKI: Obróbka skrawaniem stopów lekkich i tytanu, cz. II . . . . .	okł.

# Pomoce konstruktorskie „Techniki Lotniczej”

## T. Wiślicki: Obróbka skrawaniem stopów lekkich i tytanu, cz. II

Dalszy ciąg z Zeszytu TL-4-59

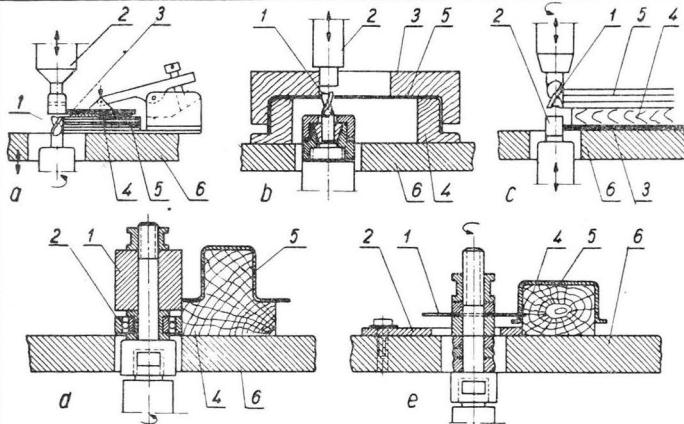
### Frezowanie

Srednice frezow utrzymuje sie mozhliwe mala, aby uzyskac wiór grubý i krótki. Frezy do obróbki stopów lekkich posiadac muszà duzà podziatkò zebów, aby zapewnic dostatecznie duzà przestrzeñ na wiór. Wykonuje sie je ze stali szybkoobrótowych, najlepsze jednak wyniki uzyskuje sie przy stosowaniu ostrzy ze spieków twardych.

Warunkiem koniecznym dla uzyskania właściwej pracy obrabiarki i gładkości obrabianej powierzchni jest, aby wszystkie zęby narzędzia pracowały w jednej płaszczyźnie, co uzależnione jest od sposobu jego ostrzenia.

W lotnictwie, oprócz typowych zastosowań tej metody skrawania przy obróbce części silników oraz mechanizmów płatowca, frezowanie wprowadzone zostało również na szeroką skalę do obróbki blaszanych elementów płatowcowych oraz do obróbki elementów integralnych.

W pierwszym z tych zastosowań pracuje się piłkami tarczowymi oraz w bardzo dużym zakresie za pomocą frezów pałcowych (rys 17).



Rys. 17. Przykłady frezowania blaszanych elementów konstrukcji płatowca  
a. Obróbka kształtki pakietu blach wg wzornika frezem pałcowym na frezacie z dolnym wrzecieniem  
b. Obróbka na frezacie z dolnym wrzecieniem elementu blaszanego  
c. Zasada frezowania frezem pałcowym na frezacie z górnym wrzecieniem  
d. Frezowanie frezem wałcowym wg wzornika przy wódniku umieszczonym na wrzecieniu  
e. Frezowanie (obcinanie) frezem tarczowym (lub piłką) wg wzornika przy wódniku ustalonym na stole obrabiarki  
1. narzędzie, 2. wódnik prowadzący, 3. wzornik kształtki, 4. element mocujący (ustalający) przedmiot na stole obrabiarki, 5. obrabiany przedmiot, 6. stół obrabiarki.

Frezy te o średnicy 6 do 8 mm dla osiągnięcia wymaganych prędkości skrawania i zadawalającej wydajności pracować muszą przy bardzo wysokiej liczbie obrotów (18000 do 24000 obr/min). Do obróbki elementów integralnych z uwagi na ich charakter używa się frezów pałcowych wielopiętrowych większych średnic oraz specjalnych wysokowydajnych głowic frezarskich. Warunki obróbki frezowaniem zebrane są w tabeli 6.

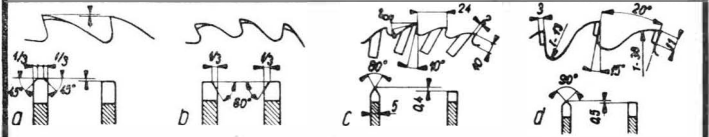
Tabela 6 Warunki obróbki metodą frezowania

Grupa materiałowa	Materiał narzędzia	Kąty narzędzia		Posuw mm/obr. (mm/zab)	Zadzielenie Wykonanie	Przebieg średnica skrawania m/min		Schemat zabiegu		
		$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$			Zdzieranie	Wykanczanie			
1.	SS	8-10	20-30	0,075-0,125	0,05	200-400	300-800			
	ST	10	20-25			600-1200	800-1500			
2.	SS	8-10	20-25			120-200	200-400			
	ST	6-8	15-20			100-150	400-800			
3.	SS	8-10	15-20			100-150	100-250			
	ST	8	15			150-300	300-500			
4.	ST	10-12	0			15	30-60			

Można dodać, że frezowanie stopów tytanu najlepiej jest prowadzić metodą obróbki czółowej współbieżnej, przy czym zaleca się takie ustawienie narzędzia w stosunku do obrabianego przedmiotu, aby przy wychodzeniu ostrza freza ze skrawanego materiału przekrój wióra ulegał zmniejszeniu.

### Cięcie

Cięcie piłą jest obróbką bardzo zbliżoną do frezowania. Ogólna zasada konstrukcji piły jest dobrze znana. Podstawą jest wyrobienie dla umożliwienia dobrego spływu wióra i zapobiegania „zabijaniu się” narzędzia paweł przy bardzo dużych posuwach. Zasady konstrukcji piły i kształtowania zębów przedstawione są na rysunkach 18 i 19.



Rys. 18. Geometria uzębienia pił stosowanych do cięcia stopów lekkich  
a. dla uzębienia grubego fazowanie obustronne z opuszczeniem co drugiego zęba,  
b. uzębienie typu „Heller”,  
c. dla uzębienia grubego stosuje się fazy Q1-Q5 mm zależnie od podziałki zębów,  
d. dla zębów z nakładkami ze spieków twardych

Dalszy ciąg na str. III okł.

Technika Lotnicza Pomoce Konstruktorskie TL-4-59 okł. str. II

### СОДЕРЖАНИЕ

Инж. З. Балицкий	Стр. 125
T. WIŚLICKI: Проблемы взаимозаменяемости в строении самолетов	126
S. SZULC: Технологические методы для получения поверхностного слоя с определенными свойствами	134
P. KIJKOWSKI: Практические способы определения параметров течения сжимающего газа в трубах, часть 2	144
Технические новости	151
Обзор новаторских предложений S. M.	151
На книжных полках	153
Обзор Авиационной Документации	155
Конструкторские пособия — T. WIŚLICKI: Обработка резкой легкии сплавов и титана, часть 2	обложки

### CONTENTS

Ing. Zygmunt Balicki	125
T. WIŚLICKI: Exchangeability problems in aircraft structure	126
S. SZULC: Technology methods of obtaining surface layer of determined properties	134
P. KIJKOWSKI: Practical methods of determining parameters of compressible gas flow in ducts, part II	144
Technical News	151
Review of Rationalisation Projects, S. M.	151
On Bookseller's Shelves	153
Aviation Documentation Review	155
Designer's Data Sheets — T. WIŚLICKI: Light alloys and titanium machining, part II	on cover

TECHNIKA LOTNICZA — Dwumiesięcznik Sekcji Lotniczej Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich Wydawnictwa Czasopism Technicznych NOT. Redaguje Komitet Redakcyjny.

Redaktor naczelny — mgr inż. Stefan Sulikowski, Redaktor techniczny: Mieczysław Dołowy, Sekretarz redakcji Jarosław Berżyńska Adres Redakcji: Warszawa, Czackiego 3/5, tel. 674-61

Adres Administracji: Administracja Czasopism Technicznych NOT, Warszawa, ulica Mickiewicza 18, tel. 33-11-72 i 33-01-11 Cena pojedynczego zeszytu 12.— zł. Prenumerata roczna 72.— zł. Półroczna 36.— zł.



# TECHNIKA LOTNICZA

DWUMIESIĘCZNIK SEKCJI LOTNICZEJ STOWARZYSZENIA  
INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW MECHANIKÓW POLSKICH

ROK XIV

WRZESIEŃ – PAŹDZIERNI K1959 R.

ZESZYT 5

## Mgr inż. Zygmunt Balicki

W sierpniu r.b. zmarł Zygmunt Balicki, b. podsekretarz stanu resortu komunikacji. Każdego, kto znał Go bliżej, uderzała sumiennosc, szlachetność, gorący patriotyzm, wrażliwość na ludzką niedolę i bezgraniczne oddanie sprawie ludu pracującego, sprawie socjalizmu. Odszedł człowiek o kryształowym charakterze, nieposzlakowanej uczciwości, który w ciągu całego swojego pracowitego życia wiązał umiejętnie pracę zawodową z pracą społeczno-polityczną. Zygmunt Balicki urodził się w roku 1888. Z resortem komunikacji związany był od 40 lat. Mając lat 17, wskutek prześladowań carskich za aktywny udział w rewolucji w 1905 r. wyjechał z kraju, Politechnikę ukończył w Zurychu. Od r. 1919 pracował w kolejnictwie, przy czym dużo czasu poświęcał również pracy pedagogicznej. Lubił młodzież i zajmował się nią nie tylko w szkole, ale i poza zajęciami. Zygmunt Balicki przez całe życie był po stronie ludu, nic więc dziwnego, że w latach narastającego faszystwu w Polsce międzywojennej utrudniano mu życie. Zawsze świadomy humanitarnych obowiązków, odważnie reagował na ucisk i poniżenie godności ludzkiej, nie wahał się stanąć w obronie prześladowanych. Już w 1919 r. stracił wykłady zleczone na Politechnice Warszawskiej wskutek obrony studentów pochodzenia żydowskiego przed napasciami antysemitów. W 1934 r., w wieku lat 46, w okresie pełni sił twórczych został przeniesiony na emeryturę. Niełatwy to był okres w Jego życiu, ponieważ i na innych stanowiskach nie pozwolono mu nigdy długo zagrzać miejsca.

W latach okupacji brał udział w działalności grup antyfaszystowskich i rewolucyjnych, a potem — od pierwszej chwili powstania PPR — działał w jej szeregach. W czerwcu 1943 wpadł w ręce Gestapo i przechodził kolejno przez więzienie przy Alei Szucha i na Pawiaku, Oświęcimiu, Sachsenhausen, Bergen-Belsen i 3 filie obozowe Dachau. Jego współtowarzysze obozowi, zarówno Polacy jak i obywatele innych krajów, zachowali w pamięci szlachetną postawę tego bojownika, który w najokropniejszych warunkach hitlerowskiej maszyny deprawacji nie zatracił godności ludzkiej. W dowód zaufania i uznania tej postawy w r. 1946 wybrano Go wiceprzewodniczącym ZG Polskiego Związku b. Więźniów Politycznych, a w r. 1947 — Sekretarzem Generalnym Międzynarodowej Federacji b. Więźniów Politycznych.

Po powrocie z obozu, mimo choroby i wyczerpania, nie szczędząc sił, z całą ofiarnością podjął powierzone mu sta-



nowisko podsekretarza stanu w resorcie komunikacji. Zasobny w bogatą wiedzę i praktykę fachową oddał wielkie usługi na polu odbudowy kolei, dróg kołowych i dróg wodnych. Jemu podlegały też sprawy lotnictwa. Jako podsekretarz stanu resortu nie tylko pomagał w odbudowie lotnictwa cywilnego, a zwłaszcza komunikacji lotniczej, lecz brał udział w organizacji lotnictwa sportowego, które jest dziś tak znane na całym świecie. Widząc i doceniając wielkie perspektywy przyszłościowe lotnictwa, w bardzo trudnych latach odbudowy i usuwania zniszczeń wojennych, starał się w granicach maksymalnych możliwości w tym okresie zwalniać środki na odbudowę sprzętu i obiektów lotnictwa sportowego, by umożliwić

szkolenie garnącej się do lotnictwa młodzieży. Pod Jego opieką odbudowuje się Szybowcowa Szkoła Wyczynowa w Żarze, pod Jego opieką dokonuje się pierwszego, wielkiego udanego eksperymentu, jakim było w owym okresie wykonanie w ciągu jednego roku serii 100 „Much” składanych z elementów produkowanych w kilku małych warsztatach szybowcowych. Na I Zawodach Szybowcowych Państw Demokracji Ludowej na Żarze, w dniu 19 czerwca 1949 r., wręczając nagrody przepowiedział wspaniały rozwój szybownictwa oraz uwypuklił jego znaczenie wychowawcze. Przewodniczył I Zjazdowi Ligi Lotniczej w dniach 14 i 15 maja 1949 r., który był momentem zwrotnym w życiu naszej organizacji lotniczej. Mimo choroby, żywo interesował się lotnictwem doceniając jego znaczenie.

Zygmunt Balicki brał zarazem aktywny udział w pracy partyjnej i społecznej. Na Zjeździe PPR, a następnie na Zjeździe Zjednoczeniowym PZPR, został wybrany na członka Centralnej Komisji Rewizyjnej, zaś na I Zjeździe Związku Bojowników o Wolność i Demokrację — członkiem Prezydium Rady Naczelnej Związku. Był założycielem i przez przeszło dziesięć lat przewodniczącym Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji. Sam całe życie się uczył, uczył i wychowywał drugich. Pomimo nawału pracy zawsze zachowywał równowagę i życzliwy uśmiech. Wszyscy mieli do niego łatwy dostęp, wszystkich traktował jednakowo. Szlachetnym stosunkiem do współpracowników, od najwyższego do najniższego szczebla hierarchii służbowej, zyskał sobie bezgraniczne zaufanie i szacunek, jako człowiek serca, wiedzy i czynu. Był demokratą nie tylko z przekonań, ale i w całym sposobie życia.

Mgr inż. TADEUSZ WIŚLICKI

## Zagadnienia wymienności w budowie płatowców

W artykule tym Autor przeprowadza ogólną analizę zagadnienia wymienności zarówno pod względem technicznym, jak również ekonomicznym. Wprowadzając podział płatowca na pewne grupy charakterystyczne z uwagi na cechy wymienności, wskazuje, jakie warunki muszą być spełnione w każdej z nich przez konstruktora i technologa, aby wymiennność mogła być osiągnięta minimalnym nakładem środków technicznych i przy jak najmniejszym koszcie oraz cyklu wytwarzania. Przytoczone są również przykłady technologicznych sposobów zapewnienia wymienności różnych zespołów płatowcowych. Celem artykułu nie są szczegółowe rozważania omawianego tematu, a jedynie usystematyzowanie zagadnienia i podanie zasadniczych kierunków jego rozwiązania. Dzięki temu stanowi on ciekawy materiał dla szerokiego grona specjalistów konstrukcji i budowy płatowców.

### OGÓLNIŃE O WYMIENNOŚCI

Samolot — jako gotowy produkt — traktować należy jako składający się z trzech zasadniczych grup, a mianowicie tzw. skorupy płatowca, grupy napędowej oraz wyposażenia i urządzeń pomocniczych. Podział taki jest oczywiście konsekwencją specjalności wymienionych grup i znajduje swoje uzasadnienie w organizacji prac konstrukcyjno-badawczych i specjalizacji studiów, jak również strukturze przemysłu lotniczego. Z faktu tego wynika pierwsza naturalna potrzeba zapewnienia możliwości łączenia wspomnianych grup na zasadzie wymienności pojętej w najszerszym zakresie znaczenia tego określenia.

W dalszym ciągu wymagania wymienności posunięte już nieco dalej i odnoszące się do poszczególnych zespołów czy też podzespołów, podyktowane były względami eksploatacji, sprowadzając się do umożliwienia zamiany elementów zużytych lub uszkodzonych celem przedłużenia żywotności samolotu. Są to więc względy natury czysto ekonomicznej, interesujące przede wszystkim użytkownika.

Zawężając zagadnienie do rozpatrywania wymienności jedynie w odniesieniu do płatowca, trzeba stwierdzić, że w obecnym stanie rozwoju produkcji, przy zachowaniu znaczenia wymienionych wyżej czynników, poważną rolę odgrywają tu również względy technologiczne. Trudno wyobrazić sobie seryjną produkcję opartą na zastosowaniu bogatego oprzyrządowania i zatrudnieniu wysoko kwalifikowanego personelu z indywidualnym wzajemnym pasowaniem poszczególnych części i zespołów.

Nowoczesna organizacja współczesnego przemysłu lotniczego, rozrzucająca wykonanie elementów płatowca na różne wydziały produkcyjne, a nawet na różne zakłady, wymaga bezwzględnie ich pasowania w sposób łatwy i przy zastosowaniu możliwie nieskomplikowanego oprzyrządowania. Naturalnie należy zdać sobie sprawę z tego, że wymagania wymienności odbijają się bardzo poważnie na szczególności opracowania technologicznego i sposobie przygotowania produkcji. Przed konstruktorem natomiast stawia to dodatkowe żądania, aby wszystkie zespoły wymienne skonstruowane były w sposób uniemożliwiający trwałe odkształcenia,

czy też inne uszkodzenia przy manipulacjach i transporcie zespołów wymiennych.

Z drugiej strony, ponieważ założenia wymienności pociągają za sobą możliwości zespolowania przedmiotu, umożliwia to w pewnych przypadkach również niezależne konstruowanie poszczególnych zespołów.

Ogólnie biorąc zagadnienie wymienności w budowie płatowców rozciąga się najczęściej na zespoły i podzespoły. Natomiast w odniesieniu do poszczególnych części, z wyjątkiem normalnych, przeważnie jest pomijane.

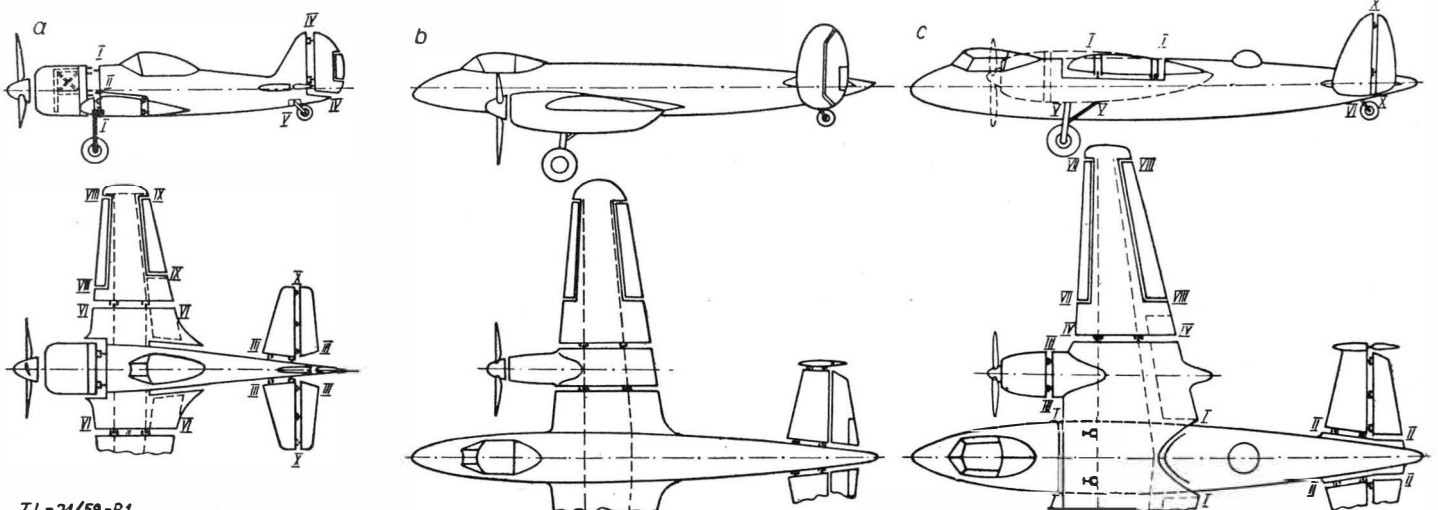
Ilość zespołów głównych w nowoczesnym samolocie średniej wielkości wynosi około 30. Liczba ta wynika — między innymi — również z potrzeby dostosowania wielkości poszczególnych zespołów do istniejących możliwości i przepisów transportowych oraz ułatwienia manipulacji.

Na rys. 1 pokazano przykłady podziału na główne zespoły wymienne samolotów myśliwskich.

Ograniczeniem w zbyt rozdrobnionym podziale na zespoły wymienne powinny być zarówno komplikacje natury konstrukcyjnej i wzrost ciężaru płatowca, jak również względy ekonomiczne. Należy bowiem zdawać sobie sprawę z tego, że wymiennność kosztuje i to nieraz dość dużo.

W odniesieniu do potrzeb lotnictwa pojęcie wymienności zdefiniować można jako możliwość niezależnego wykonania dwu lub więcej łączących się elementów, umożliwiającą złożenie ich w zespół bez potrzeby wzajemnego pasowania przy założeniu spełnienia przezeń wszelkich wymagań technicznych. Innymi słowy — część wymienna charakteryzuje się tym, że może być zastąpiona przez inną część wymienną, wykonaną według tego samego rysunku lub w tym samym przyrządzie, bez potrzeby indywidualnego jej pasowania w zespole.

Dla ścisłości trzeba tu jeszcze rozróżnić pasowanie części przy montażu, od rozwiercania jakiegoś otworu przy montażu czy też remoncie, stosowane często również w odniesieniu do elementów spełniających warunek wymienności. Należy więc podkreślić, że stopień wymienności to jest ilość pasowań koniecznych w montażu dla złożenia zespołu, jest wartością umowną. W związku z tym trzeba więc wprowadzić pojęcie wymienności zupełnej i niezupełnej.



TL-24/59-R1

Rys. 1. Schematy typowych podziałów samolotów myśliwskich na główne zespoły wymienne.

Zagadnienie wymienności elementów sprowadza się naturalnie do rozpatrywania połączeń, przy czym mogą być brane pod uwagę tylko te, które pozwalają na rozmontowanie zespołu bez uszkodzenia poszczególnych jego części. Z trzech podstawowych grup połączeń:

- 1 — nierozłącznych metodami spawania, lutowania, klejenia,
- 2 — metodami nitowania oraz
- 3 — rozłącznych za pomocą okuć na sworznie lub śruby i nakrętki

— aktualne będą przede wszystkim połączenia okuciowe. Trzeba jednak zaznaczyć, że daleko posunięta wymiennosc możliwa jest również w odniesieniu do połączeń nitowanych, naturalnie jednak jedynie w zakładach wytwórczych lub remontowych.

Specyfika zagadnień wymienności w odniesieniu do budowy płatowca polega na specjalnym charakterze połączeń zespołów jako przestrzennych, wielopunktowych o dużych rozmiarach oraz na istnieniu skomplikowanych kształtów ich obrysów zewnętrznych, trudnych do jednoznacznego określenia za pomocą rysunku. Dodatkową komplikacją są wysokie wymagania wytrzymałościowe połączeń okuciowych, w których następuje skupienie znacznych sił (ze względu na ciężar) oraz wymagania gładkości i dokładności kształtów profili aerodynamicznych.

Trzeba stwierdzić, że obecnie dysponujemy w przemyśle maszynowym jedynie opracowanym systemem tolerancji dla powierzchni cylindrycznych, stożków, gwintów oraz wymiarów długości, w tym ostatnim zresztą przypadku — w ograniczonym zakresie. Natomiast dla wszelkich innych, bardziej skomplikowanych powierzchni — nie mówiąc już o tak specjalnych jak profile aerodynamiczne, a także dla różnego rodzaju zależności wymiarów przestrzennych — nie dysponujemy żadnym systemem tolerancji, który by mógł zabezpieczyć wymagania wymienności, z których nie jesteśmy w stanie zrezygnować. Spowodowało to konieczność opracowania i wprowadzenia specjalnych metod odtwarzania geometrii płatowca, uwzględniających zarówno zagadnienia pomiarów kontrolnych, jak i wyposażenia produkcji.

Charakter i ilość oprzyrządowania produkcyjnego i kontrolno-pomiarowego, potrzebna dla zapewnienia wymienności, będą naturalnie bardzo różnorodnie w zależności od jakości produktu i wielkości jego produkcji.

W początkowej fazie rozwoju produkcji płatowców zabezpieczenie wymienności nie stanowiło poważniejszego zagadnienia. Sprowadzało się ono do zwrócenia uwagi na odpowiednie wymiarowanie rozstawów okuć i ich wymiarów nominalnych, a to naturalnie nie wymagało zbyt skomplikowanego oprzyrządowania. Czasami dochodziły do tego jeszcze wymagania odpowiedniej gładkości powierzchni. W nowoczesnym samolocie zagadnienie to stało się tak poważne i rozbudowane, że należy otwarcie stwierdzić trudności osiągnięcia pełnej wymienności, nawet przy wprowadzeniu bardzo bogatego wyposażenia. Jeśli jednak jest to możliwe, to trzeba podkreślić, że eliminowanie trudności związanych z zapewnieniem wymienności następuje stopniowo i nie należy jej stawiać jako warunku już dla pierwszych sztuk produktu.

Zabezpieczenie wymienności elementów konstrukcji płatowców sprowadza się do zapewnienia pewnych warunków, które z uwagi na ich różnorodność i powiązanie z pewnymi charakterystycznymi grupami tych elementów należy ująć i omówić w oddzielnych punktach:

- 1) grupa elementów znormalizowanych i standartowych;
- 2) grupa części mechanizmów typowych.

W odniesieniu do wymienionych wyżej grup zapewnienie wymienności sprowadza się do narzucenia i przestrzegania systemu tolerancji używanego ogólnie w budowie maszyn;

- 3) grupa okuć.

Dla części tego typu obowiązują warunki jak wyżej w odniesieniu do ich wykonania, uzupełnione specjalnymi tolerancjami płatowcowymi dla dużych wymiarów w odniesieniu do ich montażu w szkielecie konstrukcji; trzeba tu również dodać, że w tym drugim przypadku wymagania sprowadzają się raczej do zapewnienia dokładności względnej, a nie bezwzględnej wymiarów rozstawów tych okuć;

- 4) grupa zespołów o skomplikowanych konturach przestrzennych (profile aerodynamiczne);

- 5) grupa elementów blaszanych o skomplikowanych kształtach przestrzennych.

Zagadnienie wymienności elementów wspomnianych w tych punktach jest najważniejszym problemem produkcji płatowców i sprowadza się do wprowadzenia specjalnego oprzyrządowania produkcyjnego i kontrolno-pomiarowego, typu wzorników i sprawdzianów, których rodzaj i zakres stosowania uzależniony jest od przyjętej metody odtwarzania geometrii płatowca;

Najtrudniejszym do opanowania, często zresztą spotykanym przypadkiem, jest potrzeba zapewnienia wymienności zespołów przy jednoczesnym pasowaniu okuć oraz obrysów konturu zewnętrznego, czyli spełnienie wymagań obowiązujących dla punktów 3 i 4 ewentualnie 5;

- 6) grupa elementów wyposażenia.

Dla tego typu elementów obowiązują również specjalne, bardzo zresztą różnorodne, zasady, na których opiera się wymiennosc.

Ogólnie biorąc należy stwierdzić, że dla zapewnienia wymienności należy, po przeanalizowaniu specyfiki tego zagadnienia w odniesieniu do konkretnej konstrukcji, narzucić odpowiednie tolerancje elementów w dokumentacji konstrukcyjnej, oraz zabezpieczyć właściwe oprzyrządowanie produkcji w wyposażenie wykonawcze i kontrolno-pomiarowe.

## NORMALIZACJA I STANDARYZACJA

Zostało stwierdzone, że stopień normalizacji w konstrukcji stanowi o jej technologiczności. Z drugiej jednak strony zbytne rozszerzenie zakresu normalizacji i standaryzacji posiada niewątpliwie ujemny wpływ na rozwój i powstawanie nowych konstrukcji i może nawet odbić się niekorzystnie na jakości samolotów. Należy więc chyba wyciągnąć z tego wnioski, że dążyć trzeba jedynie do narzucenia pewnej optymalnej wartości współczynnika normalizacji, służszej ze względu na usprawnienie i przyspieszenie produkcji oraz wymagania eksploatacji.

Normalizacja obejmować może materiały i półfabrykaty, drobne elementy konstrukcyjne, a także całe zespoły i agregaty.

Odnosnie zagadnień materiałowych żądania konstruktora, wymagającego jak najszerszego asortymentu materiałów, kolidują z zasadami racjonalnej gospodarki materiałowej. Trzeba stwierdzić, że operowanie nadmierną ilością pozycji materiałowych, zarówno gatunkowych jak i wymiarowych, nie jest konieczne, ponieważ wiele z nich bardzo rzadko jest stosowanych. Małe zapotrzebowanie ilościowe na pewien asortyment materiałów i półfabrykatów utrudnia poważnie gospodarkę hut, czyniąc ją w wielu przypadkach nieekonomiczną. Niemniej jednak z uwagi na wysokie wymagania wytrzymałościowe uzasadnione jest wprowadzenie specjalnych norm lotniczych.

W odniesieniu do kształtowników specjalnych, w których ograniczenia asortymentowe bezwzględnie krępują konstruktora, trzeba podkreślić możliwość właściwego rozwiązania tego zagadnienia przez wprowadzenie profili wyciskanych. Wynika to z faktu bezwzględnej opłacalności wytwarzania tą metodą nawet minimalnych partii produktu (dla najmniejszych serii) ze względu na taniosc narzędzia kształtującego. Poza tym zresztą wspomniana metoda pozwala na uzyskanie kształtów trudnych, a nieraz nawet niemożliwych do wykonania w inny sposób.

W grupie drobnych elementów konstrukcyjnych ujmujemy wszelkie części łączące, jak śruby, nakrętki, podkładki, zawlecзки, sworznie, nity, a także elementy łączące układów instalacji energetycznych płatowca. Wymienić można tu również znormalizowane przewody elastyczne, których zastosowanie ułatwia znacznie rozwiązanie zagadnień wymienności zespołów płatowcowych. Nie ma wątpliwości co do tego, że w tym zakresie normalizacja powinna dążyć do maksimum.

Standaryzacja większych zespołów konstrukcyjnych, jak na przykład zbiorników, wieżyczek, kopuł radarowych, foteli, tablic przyrządów pokładowych itp., jakkolwiek bardzo usprawnia produkcję, zwłaszcza zorganizowaną w systemie szerokiej kooperacji, jak również dodatnio wpływa na warunki eksploatacji sprzętu — zwłaszcza wojskowego — jest niewątpliwie czynnikiem hamującym inicjatywę konstrukto-

ra. W tym względzie więc należy postępować z wielkim umiarkowaniem.

W grupie agregatów istnieją bardzo duże możliwości standaryzacji. Za słuszną należy uznać standaryzację takich elementów, jak filtry, pompy, zawory, wciągniki, amortyzatory, przyrządy pokładowe, osprzęt elektryczny i radiowy itp. System ten odpowiada zarówno konstruktorowi samolotu, jak i zasadzie specjalizacji zakładów produkcyjnych, zwłaszcza w odniesieniu do agregatów precyzyjnych.

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione wyżej czynniki, można wymienić zasadnicze argumenty przemawiające za jak najszerszym wprowadzeniem normalizacji i standaryzacji. Są one następujące:

- 1 — możliwość znacznego zwiększenia produkcji i zmniejszenia pracochłonności produktu;
- 2 — zmniejszenie się ilości oprzyrządowania powodujące skrócenie czasu i obniżkę kosztów przygotowania produkcji;
- 3 — zwiększenie się specjalizacji personelu wytwarzającego i użytkującego sprzęt i związane z tym polepszenie jego jakości i przedłużenie żywotności;
- 4 — zmniejszenie wysiłku idącego na uzgodnienia i kooperację pracy pomiędzy współpracującymi wytwórniami;
- 5 — znaczne uproszczenie remontów i gospodarki częściami zamiennymi;
- 6 — znaczne uproszczenie pracy konstruktora i zmniejszenie liczby rysunków na płatowcu.

### WYMIENNOŚĆ CZĘŚCI MECHANIZMÓW

Zagadnienie wymienności części mechanizmów nie wymaga w odniesieniu do konstrukcji lotniczych przyjmowania innych zasad niż te, które uznane zostały za podstawę produkcji przemysłu maszynowego. W związku z tym należy w zakresie tym oprzeć się na normalnym, obowiązującym układzie pasowań i tolerancji. Przyjęcie takiej zasady usprawnia produkcję i zmniejsza koszty jej przygotowania, ponieważ pozwala na zastosowanie normalnych narzędzi i przyrządów pomiarowych, jak również umożliwia szeroko pojętą i ułatwioną kooperację.

Do typowych części zaliczanych do omawianej grupy należą nieduże elementy wytwarzane lub wykańczane metodami obróbki wiorowej. Wymienić tu można części okuc łączących, mechanizmów sterowania, podwozia, a także części normalne oraz elementów wyposażenia, ujętych w grupie standartów. Dopuszczalne tolerancje wykonawcze okuc łączących muszą być uzgodnione z tolerancją ich rozstawu w zespole dla zapewnienia wymienności łączonych zespołów. Zagadnienie to musi być rozwiązane przez konstruktora naturalnie przy udziale technologa, narzucającego koncepcję metody technologicznej montażu i określającego odpowiednie oprzyrządowanie.

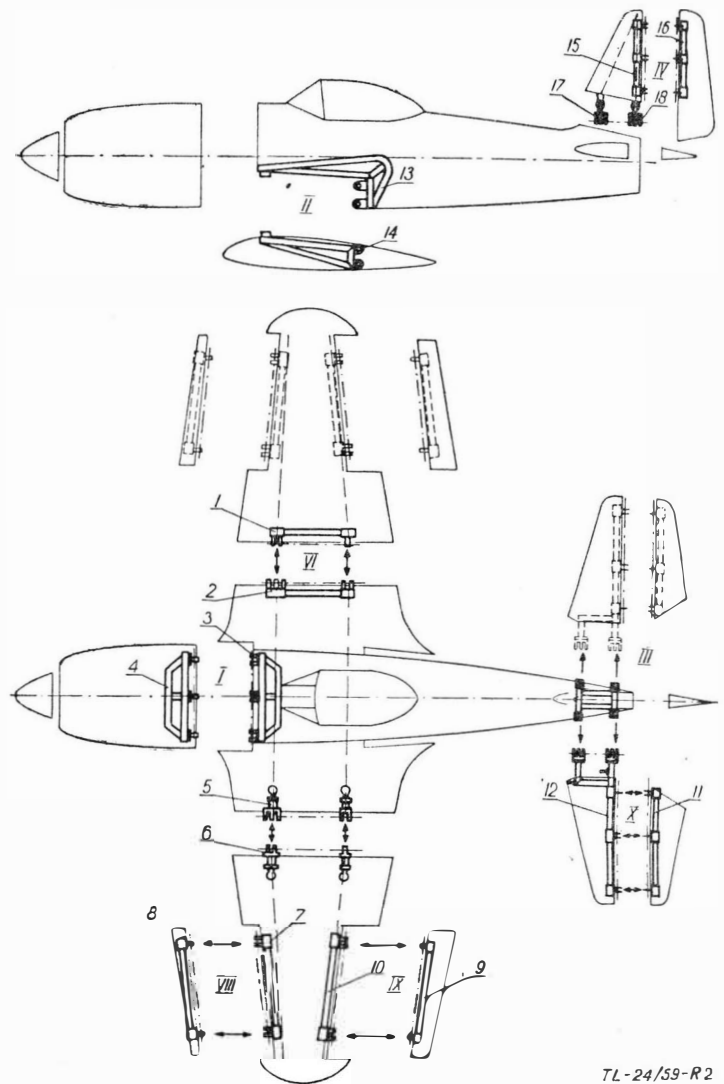
Wprowadzane do budowy płatowców na coraz szerszą skalę odlewy i odkuwki wymagają zaostrzenia tolerancji wymiarowych (skosów, promieni przejść itp.) w porównaniu z innymi dziedzinami zastosowania, a to ze względów ciężarowych.

Zabezpieczenie odpowiedniej, wymaganej w lotnictwie, jakości wyrobu zapewnić można w tym zakresie przez uzupełnienie dokumentacji wykonawczej warunkami technicznymi, określającymi wymagania specjalne i warunki odbioru.

### WYMIENNOŚĆ GŁÓWNYCH ZESPOŁÓW PŁATOWCA

Wymiennność głównych zespołów płatowca łączy w sobie zagadnienia wymienności elementów łączących oraz wzajemnego pasowania obrysów zewnętrznych łączonych zespołów (rys. 2). Decydującym czynnikiem w tym względzie jest naturalnie konstrukcja całego płatowca, a w szczególności jego głównych połączeń. Konstruktorzy na ogół niechętnie skłaniają się do zaspokojenia wymagań wymienności, ponieważ powoduje to dodatkowe skomplikowanie konstrukcji wywołane potrzebą koncentracji sił na niewielkiej liczbie elementów i zwiększa niewątpliwie jej ciężar.

Zapewnienie wymienności w omawianych przypadkach opiera się na przyjęciu określonej metody odtwarzania geometrii płatowca, wiążącej się z zastosowaniem odpowiednich wzorników oraz sprawdzianów roboczych i kontrolno-pomiarowych oraz wyposażeniem produkcji w specjalne oprzyrządowanie montażowe. Typowy przykład systematyki prac w zakresie przygotowania produkcji w oparciu o naj-



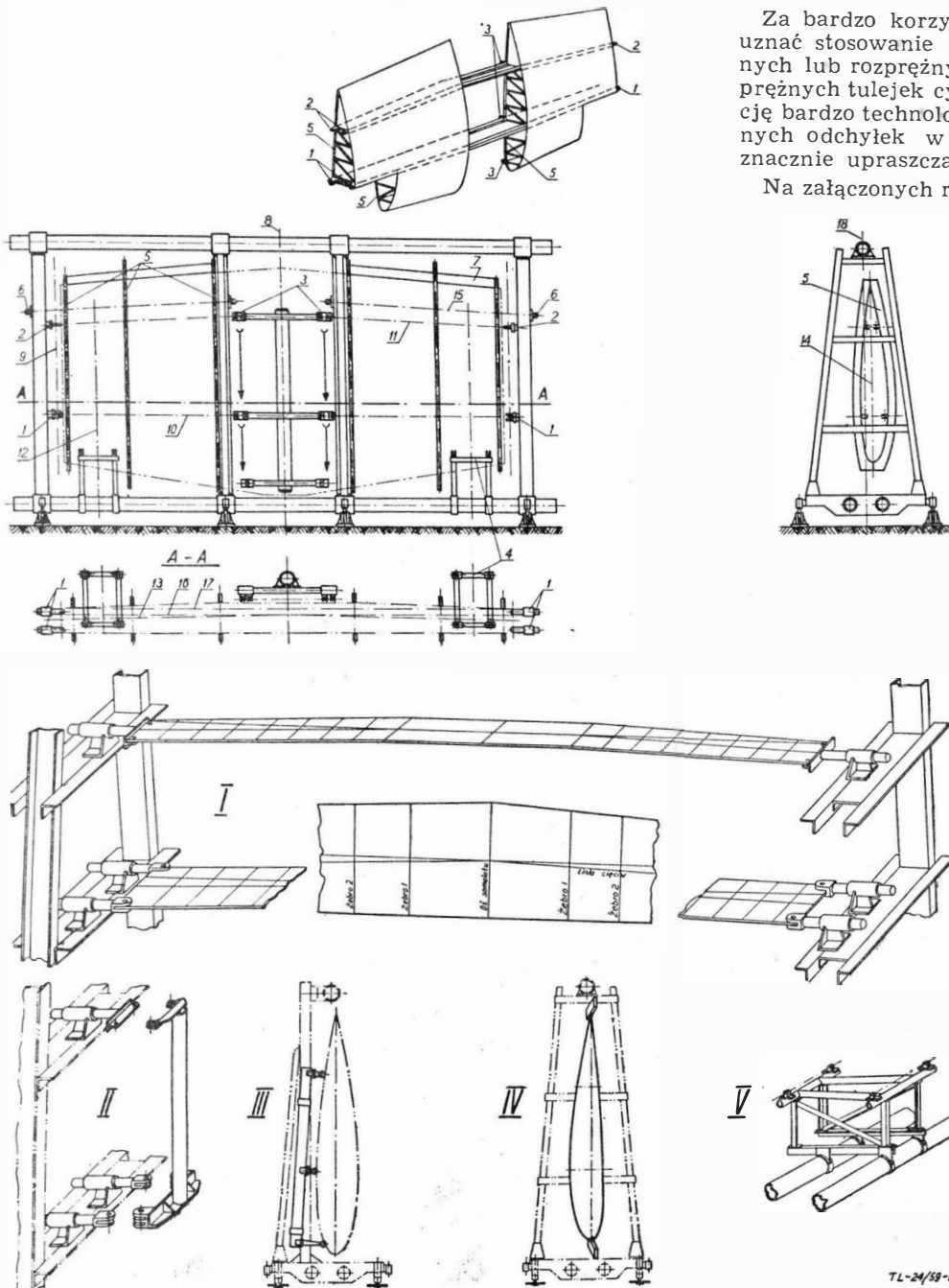
Rys. 2. Zasada zabezpieczenia wymienności zespołów: płatowce: 1 — czteropunktowy sprawdzian skrzydła przyczepnego dla połączenia ze środkowym, 2 — odpowiadający mu sprawdzian skrzydła środkowego, 3 — sprawdzian kadłuba dla połączenia z łożem silnika, 4 — odpowiadający mu sprawdzian łoża, 5 — dwupunktowy sprawdzian stykowego połączenia dźwigara przedniego skrzydła końcowego, 6 — odpowiadający mu sprawdzian dźwigara skrzydła środkowego, 7, 8 — sprawdziany połączenia slot-skrzydło, 9, 10 — sprawdziany połączenia lotka-skrzydło, 11, 12 — sprawdziany połączenia statecznika ze sterem wysokości, 13, 14 — sprawdziany połączenia skrzydła środkowego i kadłuba, 15, 16 — sprawdziany połączenia statecznika i steru kierunku, 17 — dwupunktowy sprawdzian połączenia przedniego dźwigarka statecznika poziomego z kadłubem, 18 — dwupunktowy sprawdzian połączenia tylnego dźwigarka statecznika poziomego z kadłubem.

częściej u nas dotychczas stosowaną płytowo-wzornikową (płazowo-szablonową) metodę odtwarzania geometrii płatowca przedstawiają schematy na rys. 3.

Analizując poszczególne sposoby łączenia głównych zespołów płatowca na przykładzie typowych okuc pokazanych na rys. 4, można wyciągnąć następujące wnioski ogólne.

Najprostszym przykładem jest zespół okucia łączącego pojedynczym sworzniem. Okucia takie mogą zresztą posiadać mniej lub bardziej skomplikowaną postać od pojedynczych do wielowypustowych (widłowych lub grzebieniowych). W zespołach okucia takie rozmieszczane mogą być w różny sposób, przy czym nie zawsze w układzie płaskim. Zapewnienie wymienności tego rodzaju połączeń nie naręcza specjalnych trudności nawet w przypadkach układu przestrzennego. Odpowiednie przyrządy wiertnicze są dość proste, a ich regeneracja — po zużyciu w eksploatacji — polega na wymianie tulejek wiertniczych.

Trudne do zapewnienia wymienności i oprzyrządowania są natomiast połączenia na okucia o powierzchniach pasowanych kulistych oraz ze sworzniami „odsadzaniymi”. W przypadkach takich bardzo często zachodzi konieczność wprowadzenia błędów przy montażu ostatecznym.



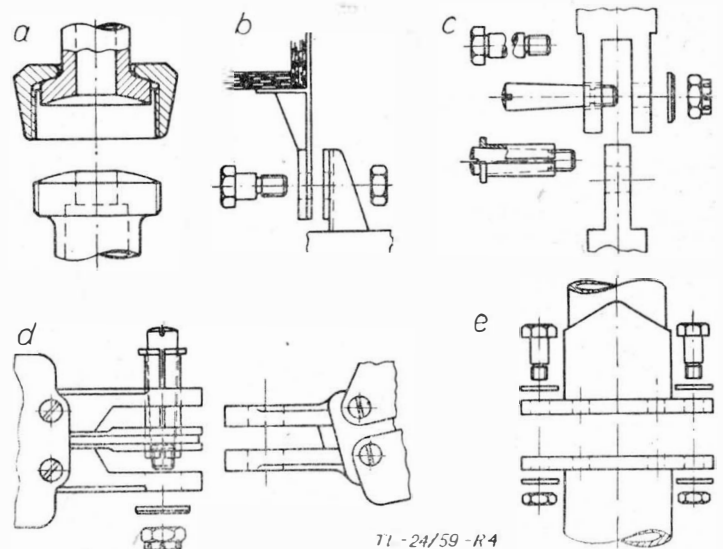
Rys. 3. Systematyka prac w zakresie przygotowania produkcji dla zabezpieczenia wymienności skrzydła środkowego dwusilnikowego bombowca: a — ogólny schemat urządzenia montażowego, b — analiza powiązania elementów przyrządowania kontrolno-pomiarowego dla zabezpieczenia wymienności zespołu, c — schemat zespołu; I-sprawdziany rozstawienia okuc dźwigara przedniego i tylnego, II-czteropunktowy sprawdzian przestrzenny rozstawu okuc w płaszczyźnie łączenia skrzydła środkowego z końcowymi, III-sześciorzamienny sprawdzian przestrzenny ustalaczy okuc połączenia skrzydło-kadłub, IV-wzorniki zewnętrznych obrysów żeber dla ustalenia właściwej geometrii zewnętrznej zespołu, V-czteropunktowy sprawdzian rozstawu ustalaczy okuc połączenia łoża silnikowego; 1 — ustalacze okuc dźwigara przedniego, 2 — ustalacze okuc dźwigara tylnego, 3 — ustalacze okuc połączenia skrzydła z kadłubem, 4 — ustalacze okuc połączenia łoża silnikowego, 5 — wzorniki obrysu profilu żebra, 6 — ustalacze położenia elementów wyposażenia skrzydła, 7 — zderzaki spływów żeber, 8 — główna oś podłużna samolotu — oś symetrii przyrządu montażowego, 9 — oś płaszczyzny połączenia skrzydła środkowego z końcowym, 10 — oś dźwigara przedniego, 11 — oś dźwigara tylnego, 12 — osie prawego i lewego silnika, 13 — linia cięciw na przednim i tylnym dźwigarze, 14 — cięciwy żeber, 15 — oś rury sterowania, 16 — pionowy rzut osi dźwigara przedniego i tylnego, 17 pozioma oś montażowa przyrządu, 18 — pionowa oś montażowa przyrządu.

Rys. 4. Przykłady typowych okuc dla łączenia wymiennych zespołów płatowca: a — połączenie gwintowe z powierzchnią oporową kulistą, b — połączenie jednopłaszczyznowe (stosowane jako wielożrubowe), c — połączenie sworzniowe dwupłaszczyznowe tzw. widlaste ze sworzniem normalnym, stożkowym lub rozprężnym, d — połączenie sworzniowe wielopłaszczyznowe tzw. grzebieniowe, e — połączenie kołnierzowe.

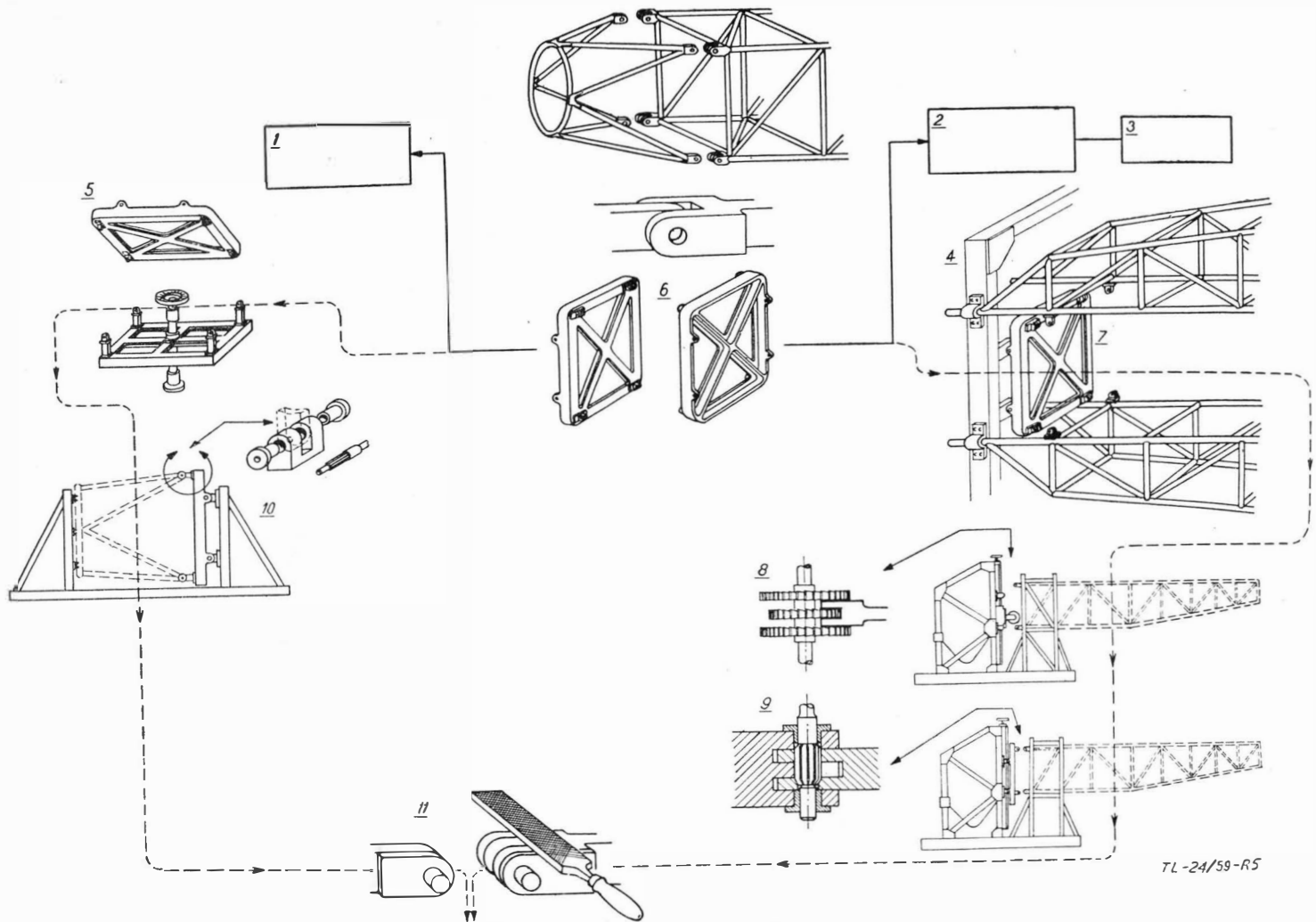
Za bardzo korzystne dla ułatwienia wymienności należy uznać stosowanie wymiennych tulejek stożkowych normalnych lub rozprężnych, względnie stożkowych sworzni i rozprężnych tulejek cylindrycznych. System ten czyni konstrukcję bardzo technologiczną, dopuszczając możliwość nieznacznych odchyłek w pasowaniu łączonych części, przez co znacznie upraszcza oprzyrządowanie i samą produkcję.

Na załączonych rysunkach 5 i 6 pokazane są typowe przyrządy schematów zabezpieczenia wymienności głównych zespołów płatowca o różnej konstrukcji przy zastosowaniu połączeń na okucia grzebieniowe ze sworzniami cylindrycznymi. Przypadek przedstawiony na rys. 5, typowy dla łączenia kratowej rurowej konstrukcji spawanej, jest o tyle prosty, że nie zachodzi tu jednoczesna potrzeba zapewnienia pasowania zewnętrznych obrysów zespołów. Jest on typowy dla łączenia wszelkich zespołów kratownicowych, jak również podwozia, przy czym w tym ostatnim przypadku zapewnić musi dodatkowo właściwą kinematykę jego chowania i wypuszczania. Natomiast w przypadku pokazanym na rys. 6, typowym dla konstrukcji skorupowej płatowców małych i średnich wielkości, przyjęty system technologiczny zabezpieczać musi jednocześnie zeranie obrysów aerodynamicznych. Zakładana w miejscu łączenia owiewka w postaci blaszanej taśmy nie ma tu bynajmniej na celu krycia jakichkolwiek niedokładności produkcji.

W samolotach charakteryzujących się silnie obciążonymi pokryciami spotyka się często połączenia kołnierzowe głównych zespołów płatowca, zwłaszcza skrzydeł środkowego z końcowymi. System ten, słuszny jest korzystny dla zapewnienia wymienności i przysparza dużo kłopotów zarówno w przygotowaniu produkcji jak i samym procesie wytwarzania.



71-24/59-R4



Rys. 5. Schemat zabezpieczenia wymienności przy łączeniu zespołów konstrukcji kratowej spawanej (łoża silnikowego z kadłubem): 1 — rysunek łoża silnikowego, 2 — rysunek płytowy (plaz) kadłuba, 3 — rysunek konstrukcyjny kadłuba, 4 — przyrząd spawalniczy kadłuba, 5 — przyrząd spawalniczy łoża silnika, 6 — sprawdzian wzorcowy połączenia łoża z kadłubem, 7 — ustawienie elementów bazu-

jących i ustalających okucia kadłuba w przyrządzie za pomocą sprawdzianu, 8 — przyrząd do frezowania okuc połączenia po ich wstawieniu w kratownicę kadłuba, 9 — ostateczne wykończenie otworów okuc w przyrządzie, 10 — przyrząd do ostatecznego rozwiercania otworów okuc łoża silnikowego, 11 — wykończenie kształtów zewnętrznych okucia wg wzornika, 12 — połączenie zespołów.

Na rys. 7 pokazany jest schemat zabezpieczenia wymienności połączeń kołnierzywych.

Wspomniane kłopoty polegają na obiektywnych trudnościach wykonania w dwu oddzielnych elementach jednakowo rozstawionych otworów o ściśle tolerowanej średnicy, nawet przy wymaganiach dokładności względnej ich rozstawu. Ponieważ trudności te rosną z ilością otworów, w konstrukcjach tego typu, dąży się do tego, aby pasowanie ograniczyć do minimalnej ilości śrub, pracujących na ściskanie od momentu skręcającego skrzydło. Pozostałe śruby, pracujące na rozciąganie, pasować należy luźno. Trzeba dodać, że omawiane połączenie wymaga dodatkowo wysokiej dokładności płaskości powierzchni czołowych łączonych zespołów oraz ich usytuowania w stosunku do głównych osi decydującego o zachowaniu prawidłowości narzuconej geometrii płatowca. Dla zapewnienia powyższego warunku zachodzi najczęściej konieczność obróbki omawianych powierzchni po zmontowaniu całych zespołów, co — z uwagi na ich wielkość — jest niejednokrotnie poważnym zagadnieniem.

Trzeba więc w ostateczności stwierdzić, że narzędko w przypadkach tego typu połączeń zachodzi potrzeba zrezygnowania z wymienności zupełnej i zastosowania ostatecznego rozwiercania łączonych zespołów w złożeniu. I to jednak związane jest z dużymi trudnościami technicznymi, ponieważ konstruktor dąży — ze zrozumiałych względów — do minimalnej odległości osi śrub łączących od powierzchni zespołów, co uniemożliwia rozwiercanie otworów ciągłym ruchem obrotowym.

Jak już było wspomniane, w zagadnieniach wymienności omawianych zespołów wchodzi w grę zapewnienie dokładności dużych rozmiarów, przy czym na plan pierwszy wy-

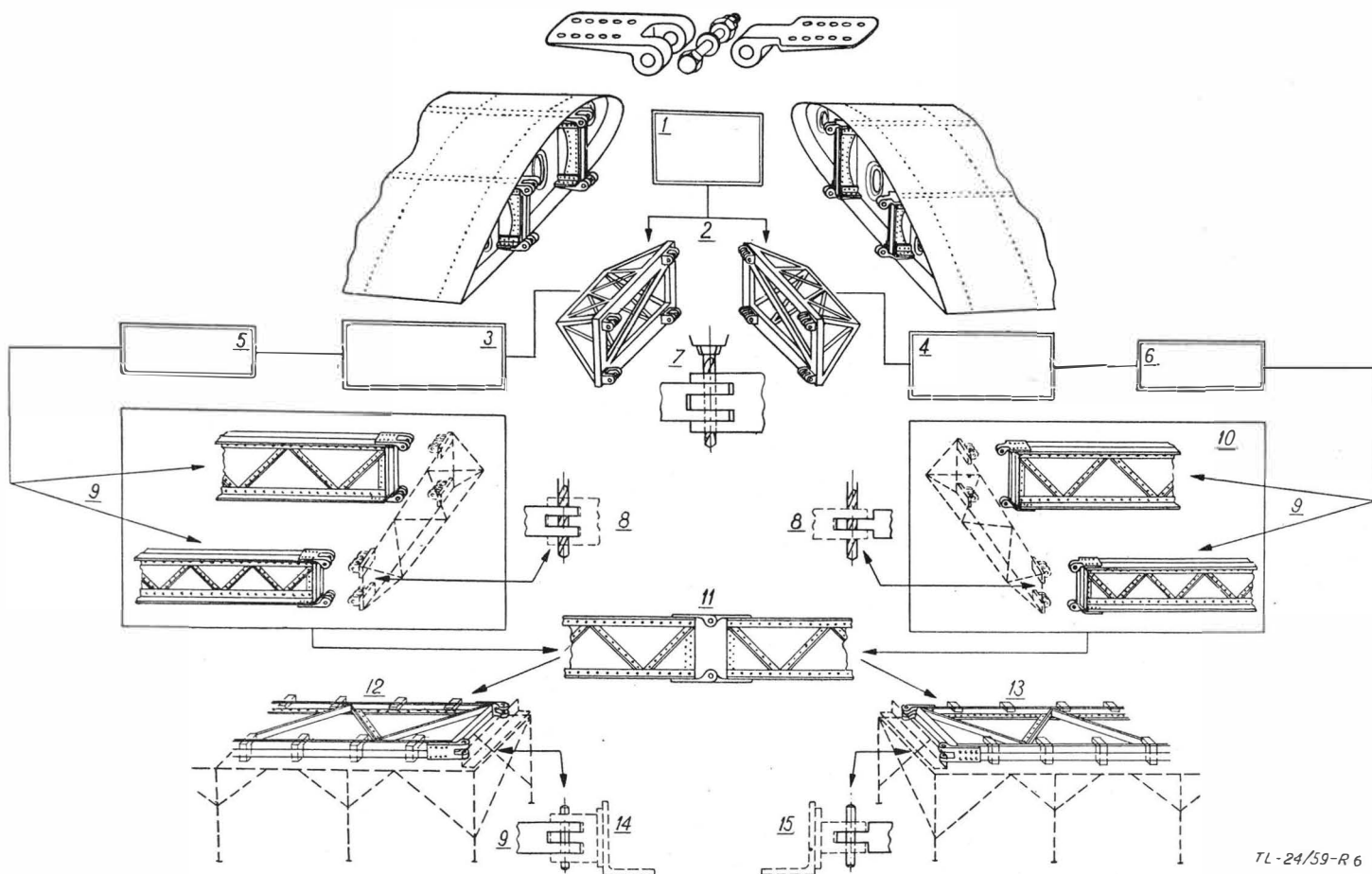
suwa się pojęcie dokładności względnej. Znajduje to swoje odbicie w stosowanych metodach odtwarzania geometrii i rodzaju oprzyrządowania montażowego. Poza tym łączy się to — naturalnie — z potrzebą wprowadzenia specjalnego systemu tolerancji zarówno w odniesieniu do właściwego przedmiotu, jak i elementów wyposażenia produkcji.

### WYMIENNOŚĆ ELEMENTÓW BLASZANYCH

W konstrukcji samolotu spotykamy bardzo dużą ilość różnego rodzaju elementów blaszanych w rodzaju pokryw wznirkowych, klap, drzwi, owiewków itp. Zróżnicowane bardzo pod względem wielkości, charakteryzują się one skomplikowanymi kształtami przestrzennymi, niemożliwymi nieraz nawet do prostego ujęcia rysunkowego i zwiaryowania, a ponadto często również brakiem sztywności. Oba wymienione czynniki są powodem znacznych trudności w możliwości zapewnienia wymienności tych elementów. Dodatkową trudność przy pasowaniu pokryw blaszanych powoduje duża różnorodność typów zamocowań.

W zakresie wytwarzania jedyną właściwą formą zapewnienia wymagań wymienności, czyli po prostu odpowiedniej dokładności powłok blaszanych, jest zastosowanie do ich kształtowania takich metod obróbki plastycznej, które eliminują zjawisko sprężynowania powrotnego. Z dotychczas dysponowanych możliwości w tym względzie, zwłaszcza dla powłok sklepionych przestrzennie, zalecać należy metodę obciągania z zastosowaniem wstępnego rozciągania, tzw. obciągania z owijaniem. Nie mniejsze znaczenie posiada wprowadzenie odpowiednich metod kontroli w oparciu o wzorce przestrzenne lub makiety, przede wszystkim w odniesieniu do obrysów pasowanych.



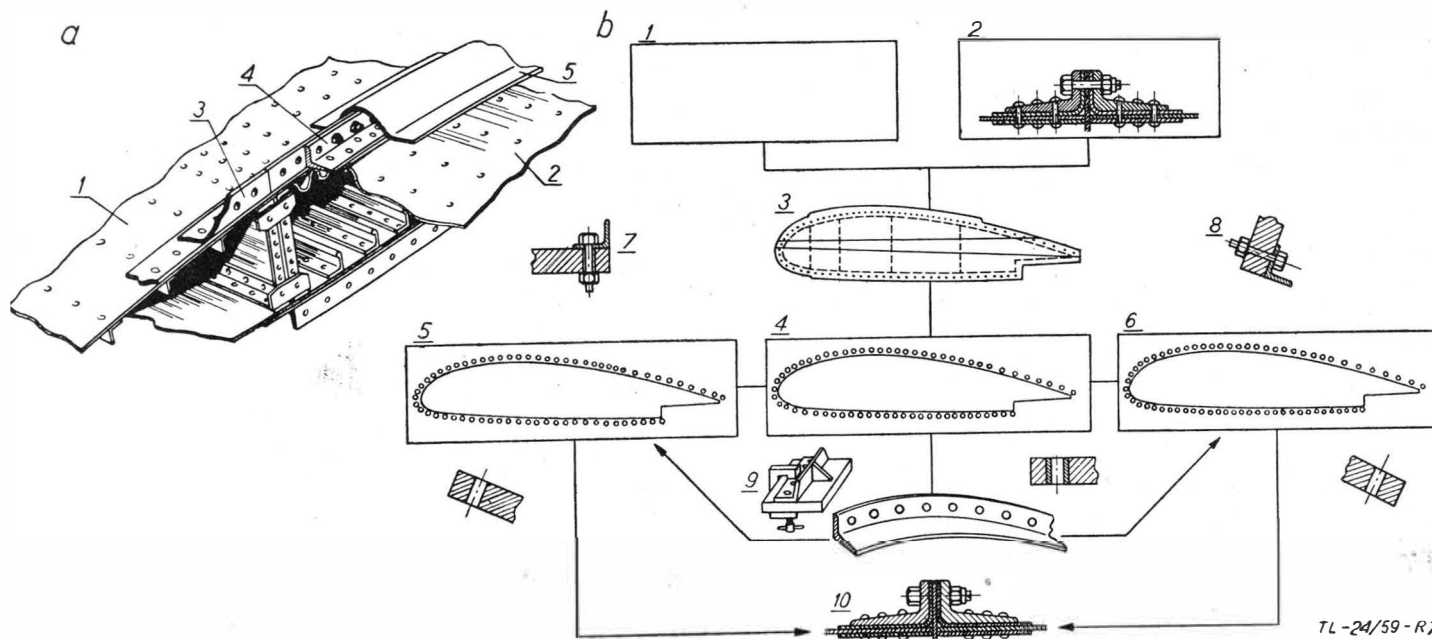


TL-24/59-R 6

Rys. 6. Schemat zabezpieczenia wymienności skrzydła środkowego i przyczepnego konstrukcji blaszanej skorupowej przy zastosowaniu połączeń widlastych:

1 — rysunek teoretyczny połączenia skrzydła środkowego z końcowym, 2 — wzorcowe sprawdziany przestrzenne okuć skrzydła środkowego i przyczepnego, 3 — rysunek płytowy (płaz) skrzydła środkowego, 4 — rysunek płytowy skrzydła końcowego, 5 — rysunek wspólnych rozwierceń sprawdzianów okuć, 6 — rysunek wspólnych rozwierceń sprawdzianów okuć, 7 — wiercenia makiet dźwigara skrzydła środkowego i końcowego wg sprawdzianów wzorcowych, 8 — wiercenia makiet dźwigara skrzydła środkowego i końcowego wg sprawdzianów wzorcowych, 9 — makiet dźwigarów, 10 — przyrządy montażowe skrzydeł, 11 — sprawdzenie węgła okuciowego utworzonego przez makiet dźwigarów, 12 — rozstawienie elementów dźwigara skrzydła środkowego i ustalających okucie w przyrządzie montażowym dźwigara skrzydła środkowego wg makiet, 13 — rozstawienie elementów dźwigara skrzydła końcowego i ustalających okucie w przyrządzie montażowym dźwigara skrzydła końcowego, 14 — ustalacz w przyrządzie dźwigara skrzydła środkowego, 15 — ustalacz w przyrządzie skrzydła końcowego.

działów wzorcowych, 9 — makiet dźwigarów, 10 — przyrządy montażowe skrzydeł, 11 — sprawdzenie węgła okuciowego utworzonego przez makiet dźwigarów, 12 — rozstawienie elementów dźwigara skrzydła środkowego i ustalających okucie w przyrządzie montażowym dźwigara skrzydła środkowego wg makiet, 13 — rozstawienie elementów dźwigara skrzydła końcowego i ustalających okucie w przyrządzie montażowym dźwigara skrzydła końcowego, 14 — ustalacz w przyrządzie dźwigara skrzydła środkowego, 15 — ustalacz w przyrządzie skrzydła końcowego.



TL-24/59-R 7

Rys. 7. Zabezpieczenie wymienności zespołów konstrukcji skorupowej przy połączeniu kołnierzym: a — rozwiązanie konstrukcyjne zespołów: 1 — skrzydło środkowe, 2 — skrzydło końcowe, 3 — kątownik kołnierza łączącego na skrzydle środkowym, 4 — kątownik kołnierza połączenia na skrzydle końcowym, 5 — owiewka b — schemat zabezpieczenia wymienności: 1 — rysunek płytowy (płaz), 2 — rysunek konstrukcyjny połączenia, 3 — wzornik, 4 — płyta przyrządowa skrzydła środkowego, 5 — płyta przyrządowa skrzydła końcowego, 6 — płyta przyrządowa skrzydła końcowego, 7 — mocowanie kątownika w przyrządzie montażowym do skrzydła środkowego, 8 — mocowanie kątownika w przyrządzie montażowym do skrzydła końcowego, 9 — ustawienie kątownika na płycie wiertniczej, 10 — połączenie zespołów.

ta wiertnicza kątowników, 5 — płyta przyrządowa skrzydła środkowego, 6 — płyta przyrządowa skrzydła końcowego, 7 — mocowanie kątownika w przyrządzie montażowym do skrzydła środkowego, 8 — mocowanie kątownika w przyrządzie montażowym do skrzydła końcowego, 9 — ustawienie kątownika na płycie wiertniczej, 10 — połączenie zespołów.

Pomimo wymienionych przedsięwzięć bardzo często zachodzi konieczność przeniesienia operacji pasowania elementów w cykl operacji montażu ostatecznego, co — poza zwiększeniem ich pracochłonności — wpływa na niekorzystny objaw przedłużenia cyklu produkcyjnego. Pasowanie to sprowadza się może do ustalenia obrysu, rozmieszczania okuć i zapinek, względnie tylko do regulacji wzajemnego przylegania. W szczególnych przypadkach, np. dla drzwi luk podwoziowych, występują dodatkowe komplikacje wynikające z wymagań ich zamykania jednocześnie z chowaniem podwozia i dokładnego pasowania przy osiągnięciu przez nie położenia krańcowego.

Z uwagi na wspomniane trudności w odniesieniu do omawianych elementów bardzo często poprzestać musimy na wymaganiach wymienności częściowej.

Nie wchodząc w szczegóły tych skomplikowanych różnorodnych i indywidualnych przypadków, należy stwierdzić ogólnie, że dla zabezpieczenia całkowitej lub częściowej wymienności elementu typu pokryw i owiewek zapewnić należy szereg czynników.

W odniesieniu do konstrukcji sprowadzają się one do:

- 1) wyodrębnienia dla każdej pokrywy odpowiednio sztywnego zespołu szkieletowego;
- 2) zapewnienia sztywności zespołu, do którego mocowana jest pokrywa;
- 3) unikania przypadków mocowania części pokryw do różnych zespołów;
- 4) przewidzenia odpowiednich luzów pomiędzy pasowanymi elementami;
- 5) dążenia do zmniejszenia ilości pokryw w płatowcu nawet kosztem zwiększenia ich wymiarów;
- 6) wyodrębnienia jako oddzielnych elementów zapinania pokryw.

W zakresie przygotowania produkcji jako podstawowe należy wymienić:

- 1) wykonanie makiety;
- 2) zapewnienie odpowiedniej ilości i rodzajów oprzyrządowania kontrolno-pomiarowego;
- 3) budowę oprzyrządowania właściwego dla tego typu elementów zarówno dla kształtowania blach, jak i montażu zespołów, a w szczególności montażu zapinek;
- 4) przyjęcie odpowiednich metod kształtowania uwzględniających rodzaj materiału, kształt i wielkość powłoki.

#### WYMIENNOŚĆ ELEMENTÓW Z GRUPY WYPOSAŻENIA PŁATOWCA

Wprowadzenie podziału fabrykacyjnego płatowca, mimo iż jest on dokonany z uwzględnieniem sposobu prowadzenia instalacji płatowcowych, pociąga za sobą konieczność wprowadzenia znacznej ilości dodatkowych, skomplikowanych połączeń. Fakt ten może być zresztą nieraz powodem kwestionowania sensu dokonywania pewnych podziałów. W wyposażeniu płatowca wyróżniamy szereg różnych typów instalacji jak: hydrauliczną dla obsługi podwozi, kłap, wieżyczek itp.; sprężonego powietrza do obsługi hamulców, urządzeń przeciwoślodzeniowych i innych, próżniową i specjalną dla przyrządów pokładowych; tlenową dla obsługi załogi; ogrzewania; przeciwpożarową; zasilania silnika w paliwo i olej; wreszcie elektryczną. Ponadto dochodzi cały system układów sterowania mechanicznego. Dla każdej z wymienionych wyżej instalacji obowiązują krańcowo nieraz różne sposoby łączenia.

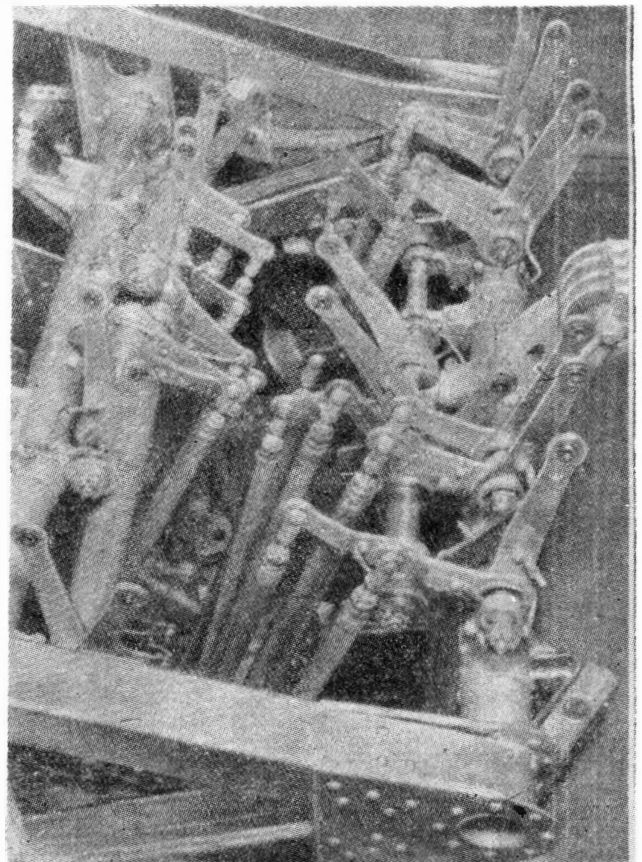
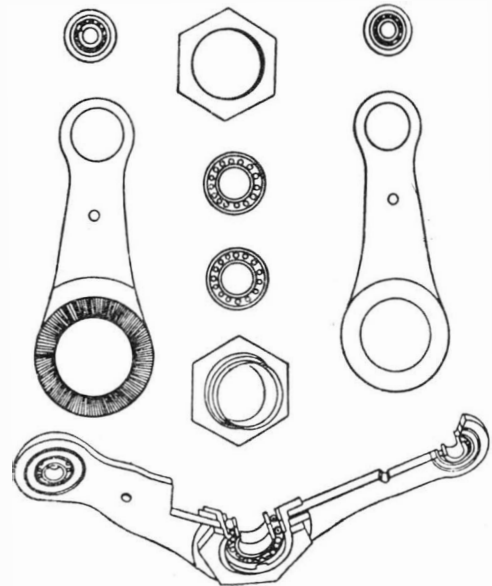
Pokazany na rys. 8 przykład dźwigiemek składanych z połączeniem na ząbienie Hirtha, oprócz pełnej wymienności, cechuje również szeroka uniwersalność — są to więc elementy co najmniej standartowe. Do rozbiernych połączeń układów sterowania mechanicznego stosuje się różnego rodzaju znormalizowane końcówki, stałe i o regulowanej długości typu widełkowego, kulistego (przegubowe) oraz szybko mocujące zaczepowe, których przykłady przedstawiono na rys. 9. Mimo możliwości dość ścisłego ustalania kształtów i długości elementów sterowania pożądane jest jednak, aby złącza dawały jeszcze możliwość pewnej regulacji w tym zakresie.

Dla połączeń instalacji szczelnych istnieje również w zależności od ich typu cały szereg łączników. Kompensację wymiarową i w zakresie kształtów umożliwia stosowanie

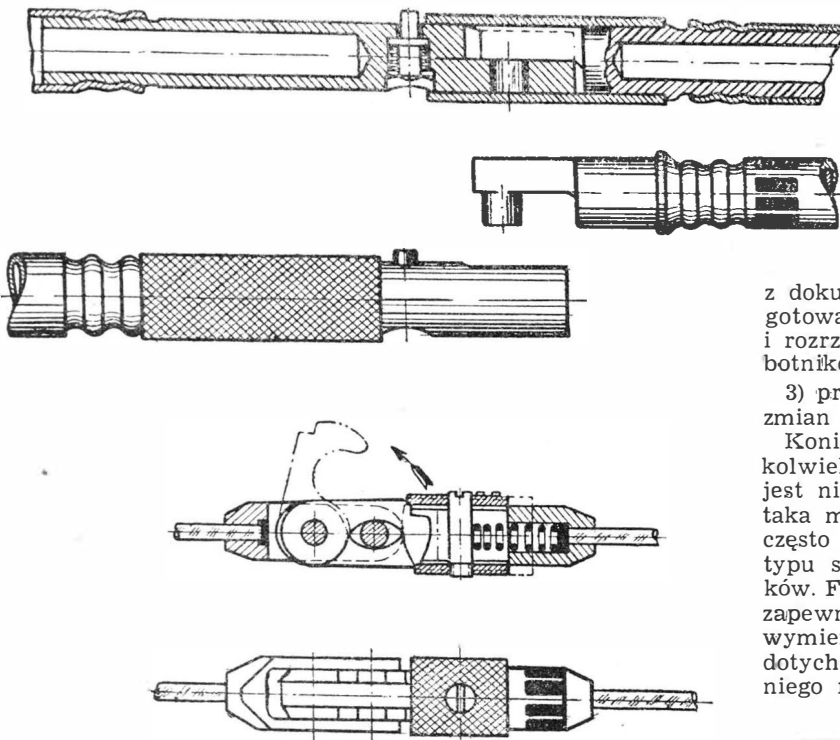
przewodów elastycznych. Pozwalają one na większą dowolność połączenia zespołów typu zbiorników, oraz zwiększają zakres tolerancji długości i kształtu przewodów sztywnych, co w znacznym stopniu upraszcza i potania produkcję.

Wymiennosc sztywnych przewodów tych instalacji energetycznych uzyskuje się przez wprowadzenie mechanizacji ich kształtowania (gięcia) oraz stosowania odpowiednich wzorników jako przymiarów kontrolnych. Istnieje szereg różnych sposobów zmierzających do potania wspomnianego oprzyrządowania, wśród których wymienić należy uproszczone foremki do gięcia oraz wzorniki kontrolne zestawiane z elementami znormalizowanymi.

Bardzo znaczną różnorodność łączników wiązek przewodów instalacji elektrycznej czy też dla podłączenia końcówek do agregatów, uzasadniają rzeczywiste potrzeby konstrukcji.



Rys. 8. Typowe elementy mechanizmów sterowania pozwalające na zabezpieczenie wymienności zespołów.



Rys. 9. Przykłady szybko mocujących łączników mechanizmów sterowania sztywnego

Stosowane w tych przypadkach sprzęgła składające się z wielokontaktowych gniazd i wtyczek muszą wykluczać możliwość wadliwego połączenia.

Wspomniane wyżej elementy łącznikowe dla różnych rodzajów i typów instalacji elektrycznej służą nie tylko do zapewnienia wymienności głównych zespołów płatowca, ale również całego szeregu zespołów drobnych oraz agregatów, stanowiących wyposażenie samolotu. W pierwszym przypadku, dla umożliwienia wymienności, konieczne jest wprowadzenie odpowiednich wzorników zarówno dla kształtowania pojedynczych przewodów czy też ich wiązek, jak również dla rozmieszczenia punktów (łączników) w płaszczyźnie wymiennego połączenia płatowca.

Przykład całkowicie wymiennego zespołu instalacji elektrycznej przedstawiony jest na rys. 10. Nie znaczy to jednak wcale, żeby w każdym przypadku należało projektować ją jako zamkniętą w specjalnych pudełkach. Zasadę wymienności można bowiem z powodzeniem rozciągnąć na wiązki swobodne.

Ogólne wymagania, jakie można ustalić dla wszelkiego rodzaju złączy instalacyjnych, sprowadzają się do następujących punktów:

1. zapewnienie szczelności dla połączeń szczelnych i dobrego kontaktu dla elektrycznych;
2. możliwość łatwego, szybkiego i bezbłędnego połączenia;
3. możliwie duży zakres regulacji względnie kompensacji odchyłek położenia łączonych końcówek.

#### UWAGI KOŃCOWE

Dążąc do zapewnienia wymienności w zakresie wymaganym dla nowoczesnych samolotów, należy zdawać sobie sprawę z tego, że jest to zagadnienie trudne do opanowania i nawet po wprowadzeniu odpowiedniej metody odtwarzania geometrii i związanego z nią systemu oprzyrządowania produkcji, jak już było wspomniane, nie można się spodziewać osiągnięcia pełnej wymienności na pierwszych kilku sztukach samolotu. Szczególne trudności występują w tym zakresie przy rozbiću produkcji w systemie kooperacji.

Aby dojść do zadowalających wyników należy przyjąć pewne założenie i konsekwentnie je realizować. Jako podstawowe można by tu wspomnieć następujące czynniki:

- 1) przyjęcie ścisłej definicji wymienności;
- 2) ustalenie zakresu wymienności;
- 3) ustalenie stopnia normalizacji i standaryzacji;
- 4) przyjęcie układu pasowań i tolerancji normalnych i specjalnych dla zespołów dużych, elementów kształtowanych z blach oraz oprzyrządowania montażowego;

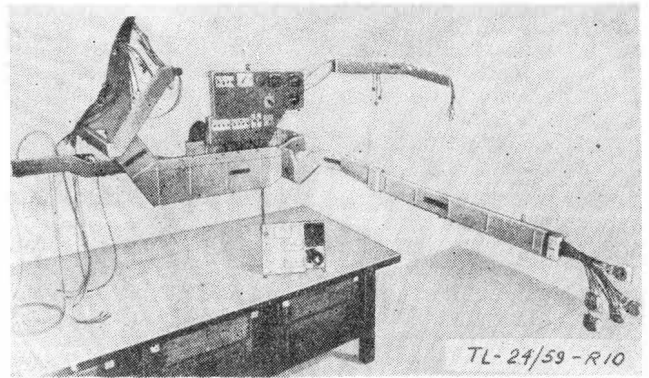
5) wprowadzenie odpowiedniego systemu kontroli technicznej materiałów, półfabrykatów, części, podzespołów i zespołów;

6) określenie form opracowania dokumentacji konstrukcyjnej, jeśli to możliwe z uwzględnieniem wprowadzenia tzw. arkuszy wymienności;

7) wprowadzenie odrębnej dokumentacji konstrukcyjnej jako podstawy wykonywania oprzyrządowania, a niekorzystanie w tym względzie z dokumentacji produktu, co skracając wprawdzie okres przygotowania produkcji, ale nie zapewnia właściwej analizy i rozrzu tu tolerancji, nie mówiąc już o tym, że utrudnia robotnikowi pracę;

3) przyjęcie ściśle kontrolowanego systemu wprowadzenia zmian konstrukcyjnych.

Konieczność wprowadzenia zmian konstrukcyjnych, jakkolwiek jest w produkcji objawem bardzo niepożądanym, jest niewątpliwie konsekwencją rozwoju konstrukcji i jako taka musi być przyjęta. W związku z powyższym jednak często zdarzają się przypadki, że pewne ilości tego samego typu samolotu zostają wykonane z różnych wersji rysunków. Fakt ten pociąga za sobą poważne trudności w zakresie zapewnienia wymienności i zabezpieczenia odpowiednich wymiennych zespołów remontowych. Trzeba stwierdzić, że dotychczas jeszcze zagadnienie to nie znalazło odpowiedniego rozwiązania.



Rys. 10. Wymienne zespoły wiązek przewodów instalacji elektrycznych mogą być zamykane w specjalnych pudełkach stanowiących jednocześnie ich ekranowanie.

Innym, również bardzo istotnym czynnikiem utrudniającym wymienności, jest fakt dopuszczenia dużych tolerancji wymiarowych dla półfabrykatów (blach, rur itp.) Jakkolwiek zjawisko to jest niewątpliwie uzasadnione z uwagi na ich produkcję, w budowie płatowców ze względu na wymienności należy raczej wprowadzić dodatkową selekcję, a nie stosowanie podkładek kompensujących, ponieważ wpłynie to również korzystnie na ciężar konstrukcji.

Od strony dokumentacji konstrukcyjnej spodziewać się można również dodatkowych trudności wynikających z faktu, że charakter jej uzależniony jest w znacznym stopniu od tradycji i zwyczajów biura konstrukcyjnego. Zjawisko to występować może szczególnie wyraźnie przy oparciu produkcji na poddostawcach, zwłaszcza jeśli nie znają oni specyfiki zagadnień lotniczych.

Zasadniczym, wyjściowym punktem dla zapewnienia wymienności jest dokładna analiza tolerancji i luzów z uwzględnieniem podstawowych wymiarów rozstawów oraz ilości złączy. W związku z tym najkorzystniejsze wydaje się uzupełnienie dokumentacji konstrukcyjnej w specjalnie opracowane arkusze wymienności dla poszczególnych zespołów płatowca. Niestety w praktyce ta forma dokumentacji nie jest chętnie stosowana. Co gorsze, w wielu przypadkach sposób wymiarowania rysunków nie zabezpiecza wymienności albo przez przypadkowe pominięcie, albo przez niedoceniecie zagadnienia, albo też wreszcie z uwagi na nieznaną wymagań w tym względzie. Biura konstrukcyjne najczęściej dzielą się na sekcje wg specjalizacji, w związku z czym jeszcze ważniejszą staje się konieczność koordynacji poszczególnych grup dla zapewnienia wymienności.

(dok. na str. 143)

Prof. STANISŁAW SZULC  
Politechnika Warszawska

## Metody technologiczne dla uzyskania warstwy powierzchniowej o określonych własnościach

*Artykuł niniejszy jest referatem wygłoszonym na Konferencji Technologicznej SIMP odbytej w grudniu 1958 r.*

*Referat daje syntezę środków i wyników stosowania nowej technologii, nie omawia natomiast techniki sposobów obróbki ani zakresu i przykładów ich zastosowania. Szczegółowe omówienie technologii powierzchniowej będzie tematem cyklu artykułów.*

Zakres obróbki powierzchniowej jest niezmiernie szeroki. Omawianie wszystkich sposobów obróbki powierzchniowej przekroczyłoby znacznie granice artykułu. Z tego względu zakres jego ograniczono do sposobów mechanicznej obróbki powierzchniowej wykańczającej, traktując inne sposoby ogólnie. Z tego samego względu przyjęto, że struktura warstwy powierzchniowej i główne zjawiska odbywające się podczas jej powstawania są czytelnikowi znane. Zrezygnowano również ze szczegółowego omówienia techniki poszczególnych sposobów obróbki wykańczającej, ograniczając się do ogólnych danych na ten temat.

Jako obróbkę powierzchniową uważa się każdy sposób obróbki, którego celem jest podwyższenie stopnia żądanych własności powierzchniowych ponad osiągalne typowymi sposobami obróbki, np. elektropolowanie, docieranie itp.

Z problematyki nowoczesnej technologii budowy maszyn dominującym zagadnieniem ostatnich 20 lat stało się zagadnienie ich trwałości. Zagadnienie to wykracza znacznie poza zagadnienia geometryczne, jak dokładność i zamienność, a uwzględnienie w procesie technologicznym wymagania trwałości opiera się na innych metodach niż stosowane do uzyskania wyników wyłącznie geometrycznych.

Pod trwałością maszyny należy rozumieć okres jej pracy, w którym zachowuje ona swe wysokie własności nadane przez proces technologiczny, praktycznie okres pracy do momentu wymiany części na nowe lub ich naprawy. Trwałość maszyny zależy od własności użytkowych jej poszczególnych części. Pod tym pojęciem rozumiemy zespół takich własności, które czynią maszynę odporną na zużycie naturalne i uszkodzenia, a w konsekwencji na spadek jej dokładności i sprawności mechanicznej oraz na spadek innych jej własności, jak wydajność, wyczynowość itp.

Rodzajów własności użytkowych istnieje tyle, ile jest sposobów zużycia części podczas pracy. Bardziej typowe rodzaje własności użytkowych części maszyn, wynikające z własności warstwy powierzchniowej, są następujące:

wytrzymałość zmęczeniowa i wytrzymałość na powtarzające się uderzenia,  
odporność powłoki tlenków na uszkodzenia mechaniczne i chemiczne,  
odporność na zużycie ściernie i na uszkodzenia powierzchniowe,  
odporność na erozję i kawitację,  
odporność na korozję, korozję styku i na zmęczenie korozyjne,  
zdolność tłumienia drgań,  
korozja między warstwą powierzchniową a materiałem położonym pod tą warstwą,  
podatność powierzchni na adhezję ciał obcych,  
podatność powierzchni na zwilżanie i kapilarność powierzchni stykających się,  
zdolność powierzchni do skraplania par lub mgły,  
podatność na smarowanie,  
zdolność powierzchni do wymiany ciepła i sprawność cieplna,  
wielkość oporów styku,  
wielkość oporów przepływu,  
wielkość obciążenia zatarcia,  
dokładność kinematyczna mechanizmów i trwałości pasowań,  
sprawność mechaniczna,  
zdolność refleksyjna powierzchni.

Własności użytkowe powszechnie wymagane, których niedostateczny stopień powoduje zbyt szybko występowanie uszkodzeń lub zużycie naturalne, są następujące:

— wysoka odporność na ścieranie, wysokie obciążenie zatarcia, niskie własności ściernie i podatność na smarowanie,  
— wytrzymałość zmęczeniowa, wytrzymałość na powtarzające się uderzenia i zdolność tłumienia drgań,

— odporność na działanie wszelkiego rodzaju korozji.

Inne własności użytkowe przeważnie wpływają na podwyższenie charakterystycznych własności maszyn (np. własności zwilżania, opory przepływu lub itp.), nie wpływają więc bezpośrednio i w tak silnym stopniu na ich trwałość jak wymienione wyżej.

Własności użytkowe wykazują dwie cechy charakterystyczne, które wpływają na dobór metod technologicznych, mianowicie:

— stanowią na ogół zbiór własności i muszą być rozważane zespołowo,

— ich obecność i stopień zależą od stanu powierzchni poszczególnych części, nie zaś od własności materiału wewnątrz przekroju.

Dla własności użytkowych decydująca jest struktura powierzchni i warstwy powierzchniowej. Należy je nadać takimi sposobami obróbki, których wpływ ogranicza się tylko do głębokości niewielu mikronów. Będziemy nazywali je sposobami obróbki powierzchniowej dla odróżnienia od ogólnie stosowanych sposobów obróbki geometrycznej.

Do sposobów obróbki powierzchniowej należą:

- I. Obróbka wiórowa, głównie ścierna: docieranie luźnym ziarnem (ręczne, maszynowe i erozja ultradźwiękiem), osekami. Niekiedy toczenie i wytaczanie ostrzem diamentowym.
- II. Obróbka bezwiórowa: zgmiotem na zimno (rolowanie, przelacanie, śrutowanie), obróbka elektryczna (elektropolowanie i galwaniczne nakładanie powłok).
- III. Obróbka ścierno-plastyczna: bębnowanie i polerowanie mechaniczne.
- IV. Obróbka cieplna i cieplno-chemiczna: hartowanie indukcyjne i dyfuzyjne tworzenie powłok (nawęglanie, azotowanie, chromowanie, cyjanowanie, fosforanowanie itp.).

Wiele spośród wymienionych sposobów obróbki wywołuje skutki nieraz na pozór podobne, jednak strukturalnie i pod względem wpływu na własności użytkowe części zupełnie odmienne i nawet przeciwnie działające.

Jako skutki obróbki powierzchniowej należy wymienić:

— strukturę geometryczną powierzchni, którą wyrażają wysokość chropowatości, kierunkowość, udział nośny, połysk,  
— twardość powierzchniową,  
— naprężenia powierzchniowe,  
— prawidłowość mikrostruktury warstwy powierzchniowej, wzgl. jej zmiany (zgmiot),  
— powłoki dyfuzyjne lub nałożone — i wreszcie  
— dokładność wymiarów, kształtów i położenia.

Skutki te wpływają zawsze na zespół własności użytkowych, na jedne własności mogą wpływać dodatnio, na inne zaś ujemnie (np. gładkość nadana zgmiotem może wpływać dodatnio na własności przeciwścierne i zmęczeniowe, natomiast ujemnie na odporność na korozję). Ponadto poszczególne własności użytkowe mogą być nadawane w różny sposób (np. twardość — zgmiotem lub obróbką dyfuzyjną, lub hartowaniem, gładkość — obróbką ścierną lub elektryczną, lub zgmiotem itp.). Każdy jednak z tych sposobów utworzy inny zespół własności użytkowych. I tak np. zgmiot obniży odporność powierzchni na korozję, wysoka gładkość może pogorszyć w niektórych przypadkach warunki smarowania obniżając zdolności adhezyjne powierzchni, powłoką chromu nałożoną galwanicznie wprowadzi niepożądane naprężenia rozciągające itp. W zależności od poszczególnych warunków pracy danej części może się okazać potrzeba usunięcia tych niekorzystnych wtórnych wpływów poszczególnych sposobów

obróbki powierzchniowej. A więc np. polepszenie warunków adhezji i smarowania powierzchni zbyt gładkich można osiągnąć przez wstępne ich srutowanie nadające zgniot i twardość, a następnie docieranie tylko wierzchołków nierówności srutowanej powierzchni i pozostawienie wgłębień rozsianych po powierzchni w roli zbiorniczków smaru. Usunięcie ujemnych skutków naprężeń rozciągających wskutek chromowania można uzyskać przez następne nadanie gładkości docieraniem strumieniowym (hydropolerowaniem), które odpowiednio zastosowane wprowadza lekki, a bardzo równomierny i płytki zgniot i związane z nim naprężenie ściskające. Podobnie towarzyszące nadaniu wysokiej gładkości elektropolerowaniem obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej można usunąć przez wprowadzenie naprężeń ściskających hydropolerowaniem. Przykładów takich można podać wiele. Dlatego przydatności poszczególnych sposobów obróbki powierzchniowej nie można oceniać według jakichkolwiek reguł, natomiast należy je dobierać indywidualnie do zespołu własności użytkowych. Zmusza to często do stosowania kilku różnych sposobów obróbki powierzchniowej, z których jeden kompensowałby częściowy wpływ ujemny innego sposobu.

Ponadto wiele sposobów obróbki powierzchniowej nie wpływa na wymiary zupełnie lub tylko w granicach tolerancji wymiarów, podczas gdy rola ich jest wyłącznie nadanie własności. Dlatego proces technologiczny, uwzględniający własności użytkowe, trzeba uważać jako złożony z dwóch procesów o wzajemnie przenikającej się kolejności operacji, a mianowicie procesu geometrycznego wymiarowego i procesu własności użytkowych. Jak widać, związek między trwałością a obróbką powierzchniową jest nieporównanie bardziej złożony niż w przypadku dokładności geometrycznej.

### ZAKRES OBRÓBKĄ POWIERZCHNIOWEJ

Bezpośrednie określenie granic między obróbką zwykłą a powierzchniową za pomocą wartości liczbowych jest trudne. W obecnym stanie techniki obróbkowej utrzymanie odchyłek wymiarowych w granicach 0,01 — 0,05 mm należy uważać za normalne, natomiast przy pomocy obróbki powierzchniowej są osiągalne do 0,001 mm bez trudności, a błędy kształtu do 3 $\mu$ . Osiągalność tych granic zależy jednak od wielkości wymiaru i od sposobu obróbki.

Trudność ustalenia granic obróbki powierzchniowej nie została dotychczas ostatecznie rozwiązana. Jako przykład rozgraniczenia geometrycznego przytaczam założenia przyjęte w Niemczech: klasa tolerancji IT7 ISO została przyjęta jako granica dokładności osiągalnej obróbką zwykłą, w konsekwencji warunkiem geometrycznym obróbki powierzchniowej jest możliwość utrzymania odchyłek wymiarowych co najmniej w granicach klasy IT6, a błędów kształtu w granicach IT4. Podane dokładności te nie są już osiągalne zwykłymi sposobami obróbki. Dzięki połączeniu klas IT6 i IT4, obróbka powierzchniowa dopuszcza udział błędów kształtu w granicach 60—70% pola tolerancji. Zakres ten w praktyce nawet przeżył rzeczywiste potrzeby.

Udział chropowatości w polu tolerancji określił już Schmaltz. Udział ten, wyrażony przez Molla przy pomocy odchyłek wymiarowych, pozostawia na chropowatość 0,42 do 0,5  $\Delta$  T, gdzie  $\Delta$  T oznacza różnicę tolerancji między klasą danej odchyłki a klasą sąsiednią, szerszą.

Przytoczona zasada, ustalająca granice obróbki powierzchniowej, ograniczona jest tylko do jej geometrycznej granicy, nie ustala jednak granic innych własności powierzchniowych, których nie można określić odchyłkami wymiarowymi. Określenie granicy tych sposobów obróbki pozostaje otwarte.

Dla oceny stanu struktury powierzchniowej służą następujące kryteria:

- charakterystyka geometryczna (wysokość, kierunkowość i charakter profilu nierówności),
- charakterystyka fizykalna (struktura, naprężenia, twardość itp.),
- charakterystyka chemiczna (rodzaj i rozmieszczenie związków chemicznych obcych dla danego metalu).

Ważność tych kryteriów jest równorzędna i nie jest możliwe ani słuszne nadużywanie np. parametrów struktury geometrycznej jako jedynych do określenia własności użytkowych. Pod tym względem w określeniach stanu i przydatności powierzchni panuje luka, którą powinny wypełnić prace badawcze konstruktorów, technologów, wytrzymałościowców i fizyko-chemików dla ustalenia kryteriów użytkowych zrozumiałych i stosownych w warunkach produkcyjnych.

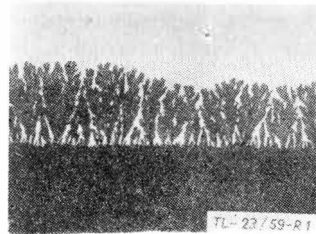
Różnorodność własności użytkowych z jednej strony i sposobów obróbki powierzchniowych z drugiej nakazuje poczynienie założeń upraszczających:

1. Własności użytkowe
  - a) chroniące przed zużyciem i uszkodzeniami (ścieraniem, zmęczeniem, korozją),
  - b) zapewniające określony stopień charakterystyki maszyn (dokładność, wydajność, wyczynowość).
2. Stany struktury powierzchniowej jako skutki sposobów obróbki powierzchniowej
  - a) struktura „normalna”, nie uszkodzona,
  - b) struktura „zgęszczona”,
  - c) struktura „rozrzedzona”.

Określenie struktury powierzchniowej normalnej wydaje się jasne. Jest ona strukturą właściwą dla materiału o danym składzie chemicznym, jednakową na powierzchni i w całym przekroju. Ten typ struktury (określonej nieraz w literaturze jako „otwarta”) nadaje np. obróbka powierzchniowa ścierna, przy użyciu minimalnych sił.

Części o strukturze powierzchniowej „normalnej” będą wykazywały najmniejsze różnice między warstwą powierzchniową a strukturą materiału rdzenia, tym samym maksymalne własności użytkowe właściwe danemu materiałowi i jego mikrostrukturze.

Struktura powierzchniowa „zgęszczona” jest wynikiem obróbki powierzchniowej zgniotem, cieplnej i dyfuzyjnej. Własności jej są silnie związane z istnieniem naprężeń powierzchniowych. Powierzchnie te wykazują własności przeciwiścierne i przeciwmęczeniowe wyższe, ale na ogół odporność na korozję niższą od powierzchni normalnej identycznego materiału o identycznej strukturze rdzenia.



Rys. 1

Struktura powierzchniowa „rozrzedzona” (rozluźniona) jest wynikiem obróbki elektrycznej, która w pewnym sensie narusza ciągłość struktury warstwy powierzchniowej. Powierzchnie te wykazują wprawdzie wysoką gładkość i ewent. połysk, jednak odporność na zmęczenie niższą od powierzchni o strukturze „normalnej” dla identycznego materiału i mikrostruktury, odporność na ścieranie i na korozję równą lub wyższą od powierzchni o strukturze normalnej (zależnie od rodzaju powłoki).

Podwyższenie stopnia niektórych własności użytkowych powierzchni o strukturze „normalnej” i skompensowanie spadku niektórych własności powierzchni o strukturach „zgęszczonych” i „rozrzedzonych” wymaga przeważnie zastosowania nie jednej, lecz zespołu odpowiednich sposobów obróbki powierzchniowej.

Zastosowany podział jest bardzo poglądowy, niemniej jednak z powodu dużej różnorodności własności użytkowych oraz skutków obróbki wstępna klasyfikacja czynników jest nieodzowna.

Czynnikami komplikującymi określanie własności użytkowych i celowe dostosowanie metodyki technologii powierzchniowej do wymaganych własności użytkowych są (częściowo już wspomniane):

- możliwość nadania określonej (głównej) własności użytkowej w różnym stopniu przy pomocy różnych sposobów obróbki,
- występowanie obok wpływu na główną własność użytkową skutków ubocznych, niejednakowych dla różnych sposobów obróbki,
- wpływ ubocznych skutków może być dodatni lub ujemny na poszczególne własności użytkowe, a tym samym na wypadkową własność użytkową danej części.

I tak np. wprawdzie powierzchniom tego samego materiału, o jednakowej strukturze można nadać w pewnych warunkach jako własność główną użytkową:

- jednakową gładkość obróbką ścierną, rolowaniem, bębnowaniem, polerowaniem lub elektropolerowaniem,
- jednakowy stopień naprężeń powierzchniowych obróbką zgniotem lub różnymi sposobami obróbki dyfuzyjnej,

— jednakową odporność na ścieranie obróbką ścierną, elektropolerowaniem lub rolowaniem,  
— w każdym jednak z wymienionych przypadków zespół własności użytkowych danej części będzie odmienny dzięki różnym skutkom ubocznym i własnościom ubocznym związanym z danym sposobem obróbki.

Własności użytkowe zależą nie tylko od samej obróbki powierzchniowej, lecz niemniej od sposobu obróbki przygotowawczej i stanu powierzchni przygotowanej. Jako przykład może posłużyć porównanie wpływu elektropolerowania na współczynnik tarcia i zużycie ściernie powierzchni. Powierzchnia przygotowana toceniem na  $H_{sr} = 9,5 \mu$  i spolerowana na  $H_{sr} = 2,8 \mu$  wykazała spadek współczynnika tarcia do 1/7 wartości przed elektropolerowaniem i spadek produktów starcia do 1/3 wskutek elektropolerowania.

Druga powierzchnia, z tego samego materiału, przygotowana docieraniem na  $H_{sr} = 1,3 \mu$  i spolerowana na  $H_{sr} = 0,5 \mu$ , a więc  $5^{1/2}$ -krotnie gładziej niż w przypadku toczenia, wprawdzie nie wykazała żadnego polepszenia współczynnika tarcia, wykazała jednak 50% spadek produktów starcia w stosunku do ich ilości przed elektropolerowaniem, a pięciokrotnie mniejszą ilość produktu w porównaniu z przypadkiem toczenia.

Wynika więc z tego, że obróbka przygotowawcza, nadająca wysokie własności powierzchni (wysoka gładkość, brak zgniotu), w obu przypadkach była przyczyną odmiennych własności użytkowych powierzchni, zależnych od obróbki wstępnej.

Trzeba zwrócić uwagę i na to, że trwałość maszyny zależy również od szybkości zmian, jakie na powierzchni części zachodzą podczas jej pracy. Daje się tu odczytać brak nieustalonego dotychczas kryterium, mianowicie szybkości naturalnego spadku własności użytkowych.

Wiele spośród przytoczonych sposobów obróbki powierzchniowej nie stanowi nowości (ich rozwój sięga ostatnich 40 lat), również co do wielu spośród własności użytkowych panuje zgodny pogląd ich bezpośredniego wpływu na trwałość maszyn, dlatego można już uważać niektóre metody technologii powierzchniowej, wiążące sobą kilka sposobów obróbki powierzchniowej, za typowe. Natomiast zapewnienie przy pomocy procesu technologicznego z góry założonego okresu trwałości maszyn, tj. szybkości spadku jej pierwotnych własności użytkowych do określonej granicy, jest jeszcze zagadnieniem otwartym.

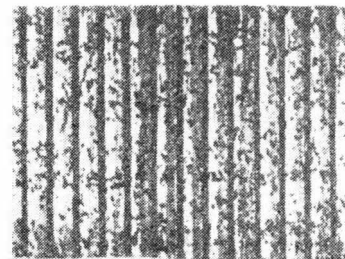
Zastosowanie obróbki powierzchniowej obejmować powinno tylko części istotnie ważne dla sposobu pracy maszyny i dla jej trwałości. Praktycznie ilość ich nie przekroczy ok. 20% części maszyny, pozwala jednak na świadome wykonanie czę-

ści mniej obciążonych w niższym stopniu jakości. W ten sposób postawione zagadnienie trwałości maszyn pozwolić powinno na ogólne obniżenie kosztów, tym bardziej że obróbka powierzchniowa jednej części albo trwa bardzo krótko (poniżej 1 minuty), albo obejmuje tak dużą ilość części jednocześnie obrabianych, że mimo długiego procesu czas na sztukę wypada również b. krótki (np. bębnowanie).

### GŁÓWNE SPOSOBY OBRÓBK POWIERZCHNIOWEJ I ICH WPŁYW NA WŁASNOŚCI UŻYTKOWE

Obróbka diamentem jest obróbką wymiarowo-gładkościową. Wprawdzie sposób ten usuwa uszkodzoną w poprzedniej obróbce warstwę powierzchniową, jednakże siły występujące przy diamentowaniu pozostawiają, zwłaszcza na miękkich metalach, własny wpływ na strukturę obrabianego materiału w postaci lekkich zgniotów.

Dokładność diamentowania zawdzięcza się najwyższej jednorodności i gładkości krawędzi skrawającej w połączeniu z najwyższą dokładnością i odpornością na drgania obrabiarek. Dlatego konstrukcja obrabiarek do diamentowania odbiega silnie od konstrukcji zwykłych tokarek wykańczających, a ich trwałość i dokładność toczenia nie powinna być mniejsza niż 0,001 mm. Stosowana wyłącznie ponadkrytyczna szybkość skrawania ( $V = 200-3000$  m/min) pozwala przecinać twardym i gładkim ostrzem kryształowy mikrostruktury



Rys. 2

ry, dzięki czemu unika się prawie zgniotu i zapobiega tworzeniu się nasadki, która przywarta do powierzchni powoduje m.in. jej chropowatość. Dzięki temu powierzchnia obrabiana ma strukturę prawidłową, jest gładsza od wykończonej ostrzem ze stopów spiekanych na zwykłej obrabiarence wykańczającej, a błędy kształtu leżą w granicach  $3 \mu$ . Dane charakterystyczne obróbki zestawiono na tabl. I.

TABELA I

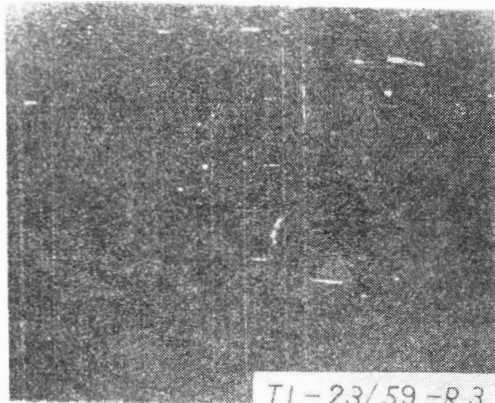
Dane charakterystyczne sposobów obróbki powierzchniowej ścierną

	Dokładność wymiarów (klasa IT)	Błąd kształtu minimalny	Gładkość $H_{sr}$ ( $\mu$ )	Kierunek struktury	Mikro udział nośny %	Cechy powierzchni obrabianej	Własności użytkowe	Zastosowanie
Diamentowanie	6 — 7	1 — $3\mu$	wałki, otwory 10-0,2 $\mu$	równoległa	do 40	Struktura normalna zgniot po obróbce poprzedniej usunięty	Odporność na ścieranie zwiększona w porównaniu ze szlifowaniem	Współpraca powierzchni w połączeniach ruch wyc (obrotowe, posuwiste)
Lapping	6 — 5	płaskość 0,5 do 20 $\mu$ przy $H_{sr} = 0,1-0,8\mu$ równoległość 0,1 do 5 $\mu$ przy $H_{sr} = 0,05-0,5\mu$	0,1-0,3 osiągalna do 0,01 $\mu$	nie uporządkowana wielokierunkowa	80 — 90	Struktura normalna zgniot po obróbce poprzedniej usunięty (docisk roboczy 0,3-1,5 kg/cm <sup>2</sup> ). Połysk od matowego do lustrzanego	Odporność na zmęczenie, ścieranie, korozję większa niż po szlifowaniu, ale w granicach właściwych materiałowi	Jak wyżej. Pasowania wysokich klas, mo ność selekcji w granicach luzów optymalnych, głównie płaszczyzny i wałki
Honing	6 — 5	owal 2-7 $\mu$ zależnie cd stosunku $\frac{L}{D}$	osiągalne 2,5-0,1 $\mu$ 2,7 $\mu$ przy docisku 1,5-2 kg/cm <sup>2</sup>	uporządkowana skrzyżowana pod 40 — 45°	80 — 90	Struktura j. w. wysoka gładkość obecnie rys. Usunięte błędy kształtów, zgniot j. w. (docisk roboczy 1-5 kg/cm <sup>2</sup> . Połysk j.w.	j.w.	j. w. pasowania wysokich klas, ruchowe i spoczynkowe wałki i otwory.
Superfinish	nie wpływa, zdjęta warstwa w granicach tolerancji wymiaru	niedostrzeżalny	osiągalne poniżej 0,1 $\mu$ normalnie 2-0,2 $\mu$	bez śladów	90	Struktura j.w. głębokość uszkodzeń do 0,01 $\mu$ nacisk roboczy 1-3 kg/cm <sup>2</sup> , połysk j.w.	Wzrost obciążenia zatarcia 2 1/2 x w stosunku do szlifowania. Styk, przewodnictwo	Płaszczyzny, wałki, otwory zastępuje docieranie w ruchu. Powtarzalna rozbierność połączeń wcisk. i wciącz. Korzystne warunki współpracy z minimalnymi luzami i spoczynkowej.

Diamentowanie wykazuje charakterystyczną równoległą kierunkowość, jak wynika z rys. 2 oraz dość wysoki udział nośny (40%). Obie te cechy nadają powierzchni diamentowanemu korzystne warunki do pracy tarciami pod obciążeniem (np. elementy układu korbowego, tuleje, panewki itp.).

Właściwym zakresem diamentowania jest toczenie i wytaczanie materiałów o małej wytrzymałości (żeliwa, stopy lekkie, metale łożyskowe i kolorowe), których obróbka ścierna jest mniej korzystna.

Docieranie między tarczami (lapping) jest sposobem obróbki powierzchniowej, w którym tarcze żeliwne i przedmiot pod działaniem luźnych ziarn ściernych zawieszonych w cieczy podlegają jednoczesnemu wzajemnemu docieraniu przesuwać się swobodnie po sobie, przy stałej zmianie kierunku ruchu.



Rys. 3

W wyniku tych warunków, powierzchnia obrabiana wykazuje wysoką gładkość oraz ślady nieregularne, krzyżujące się, wielokierunkowe (rys. 3). Lapping jest zatem jednocześnie obróbką wymiarową i gładkościową, która usuwa ślady oraz zgnioty z poprzedniej obróbki, wprowadza jednak nieznaczny zgniot wasny.

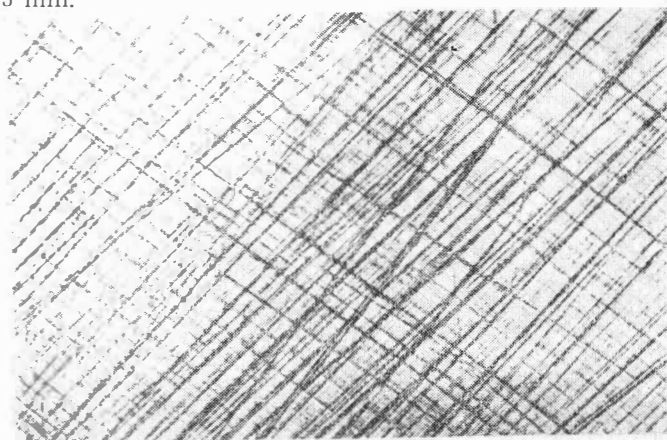
Zastosowanie docierania między tarczami obejmuje powierzchnie prawidłowe geometrycznie (płaszczyzny, wałki, kule itp.). Można docierać na matowo ( $H_{sr} > 0,2 \mu$ ) lub na lustro ( $H_{sr}$  od  $0,2 \mu$  do  $0,01 \mu$ ), można utrzymać w warunkach produkcyjnych wysokiej płaskości i cylindryczności do  $0,0005 \text{ mm}$ , a płaskorównoległości do  $0,0001 \text{ mm}$ , pozwala stosować tę metodę do wykańczania płytek wzorcowych, rolek i kulek łożysk tocznych, sprawdzianów itp. części najwyższej dokładności.

Własności użytkowe powierzchni docieranych między tarczami są następujące:

a) wysoka gładkość i nośność daje dobre warunki współpracy w styku i pozwala na pewne smarowanie, przy b. małej grubości błony smaru,

b) wysoka dokładność kształtów i wymiarów,

c) mikrostruktura metalu pozbawiona zgniotów i naprężeń nadawanych szlifowaniem. Jako obróbkę przygotowawczą przed docieraniem stosuje się dla paszczyn: frezowanie, walcowanie, aż do szlifowania b. gładkiego, zaś dla wałków toczenie wykańczające lub szlifowanie z nadładkiem  $0,3$  do  $0,005 \text{ mm}$ .



Rys. 4

Docieranie osełkami (honing) jest sposobem ścierną obróbki powierzchniowej, w której ziarno związane w postaci osełek ścierna w obecności chłodziwa nieruchomą powierzchnią walcową, poruszając się jednocześnie przymusowo ruchem obrotowym i posuwistym zwrotnym, pod odpowiednio regulowanym dociskiem do powierzchni obrabianej.

Powierzchnia docierana osełkami wykazuje wysoką gładkość i ślady regularne, prostoliniowe, krzyżujące się (rys. 4). Honing różni się od Lappingu tylko śladami obróbki i zastosowaniem głównie do otworów, rzadziej do wałków.

Celem Honingu jest szybka obróbka ścierna przy nieznacznym zużyciu osełki, usunięcie błędów kształtu poprzedniej obróbki, nadanie równomierności odchyłek wymiarowych w ciasnych granicach (ułatwienie montażu selekcyjnego), wreszcie wysoka gładkość, wysoki udział nośny i prawidłowa struktura powierzchni. Dokładność kształtów zależy od konstrukcji docieraka (docisk sprężysty lub przymusowy) i od rodzaju ziarna osełek ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  lub  $\text{SiC}$ , lub pył diamentowy).

Zakres docierania obejmuje otwory od średnicy kilkuset mm do kilku mm, te ostatnie w drobnych elementach mechanizmów precyzyjnych (aparatura, maszyny do rachowania, automatyka, przyrządy sterujące itp.).

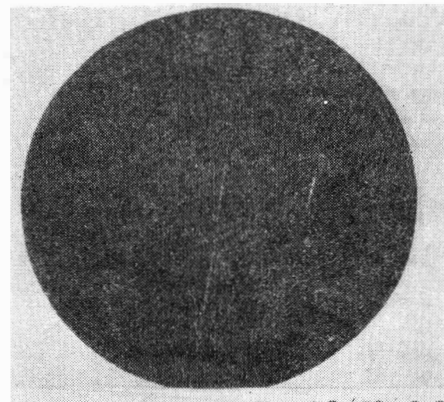
Niezmiernie ważne jest zastosowanie docierania do kół zębatach. Jest ono stosowane do boków zębów i do dna wrębu.

Docieranie boków zębów odbywa się luźnym ziarnem (Lapping). Ma ono na celu usunięcie zgniotów powierzchniowych wynikłych z obróbki skrawaniem i wytworzenie prawidłowego pola styku zębów współpracujących. Docieranie dna wrębów odbywa się osełkami (Honing). Ma ono spowodować korzystny układ naprężeń w czasie pracy zęba. Osiąga się to przez zwiększenie promienia nasady i wygładzenie rys i śladów obróbki we wrębie. Wzrost wytrzymałości zmęczeniowej koła obrabianego dowolnym sposobem skrawania i następnie docieranego na dnie wrębu wynosi ok. 250% w porównaniu z wytrzymałością zmęczeniową zębów koła starannie obrabianego tylko skrawaniem.

Docieranie oscylacyjne (superfinish) — jest sposobem obróbki powierzchniowej ścierną, w której osełki ścierną powierzchnie płaskie, walcowe (wałki lub otwory) lub kuliste, pozostając w nieprzerwanym styku z obrabianą powierzchnią, pod wpływem co najmniej trzech obrotowych i zwrotnych ruchów składowych przedmiotu i osełki, z których każdy posiada odmienną, regulowaną amplitudę, częstość i skok. Taki układ ruchów powoduje stałą zmianę kierunku ruchu wypadkowego zapobiegając powtórzeniu śladu ziarna w tym samym miejscu powierzchni.

Ten sposób jest obecnie szczytowy w obróbce ścierną pod względem osiągalnych gładkości, kształtu, wymiarów i usunięcia śladów obróbki. Wyniki te osiąga się po pierwsze dzięki tak dobranemu, regulowanemu dociskowi osełek do powierzchni, że ich styk zostaje przerwany z chwilą, gdy docisk osełki spadnie poniżej wielkości niezbędnej do przerwania błony chłodziwa, po drugie — dzięki stale zmiennej kierunkowi wypadkowego ruchu ziarn ściernych względem powierzchni obrabianej, co uzyskuje się przez nadawanie ruchom składowym częstości od 200 do 3000/min (najczęściej 400 do 1200) przy amplitudzie od 8 do 1 mm.

Struktura powierzchni dotartej oscylacyjnie może nie wykazywać żadnych śladów obróbki (rys. 5), przy czym struktura metalu jest nienaruszona, gdyż ten sposób obróbki nie wprowadza żadnych własnych odkształceń strukturalnych.



Rys. 5

Wysoka dokładność osiągalna docieraniem oscylacyjnym pozwala na selekcję wymiarów w granicach do 1  $\mu$ .

Gładkość w granicach klas 12—14 i udział nośny ponad 90% pozwala na stosowanie znacznie mniejszych luzów i znacznie większych nacisków jednostkowych w pasowaniach ruchomych.

Warunki współpracy w ruchu powierzchni docieranych oscylacyjnie są znacznie lepsze od wykończonych innymi sposobami, co wynika z ich porównania. Stosunek minimalnej grubości błon smaru do wysokości chropowatości powierzchni szlifowanych ma się jak 1:2000, zaś dla powierzchni docieranych oscylacyjnie jak 1:100. Wynika z tego, że niebezpieczeństwo przebicia błony smaru, mimo mniejszych luzów, jest w ostatnim przypadku znacznie mniejsze. Kilka przykładów obrazuje dodatni wpływ i korzyści wynikające z wykańczania docieraniem oscylacyjnym:

Powierzchnie docierane oscylacyjnie czopów łożyskowych na  $H_{sr} \sim 0,04 \mu$  wykazały wzrost temperatur ponad 40°C dopiero pod 6-cioкратно większym obciążeniem jednostkowym, a obciążenie zatarcia 2,5-krotnie wyższe, przy temperaturze o 30% niższej niż powierzchnie szlifowane na  $H_{sr} = 0,50 \mu$ .

Powierzchnie docierane oscylacyjnie pasowań włączanych narażonych na zginanie pozwalały na powtarzane rozłączanie i ponowne włączanie czopów i otworów bez spadku siły połączenia.

Odporność korozyjna i wytrzymałość zmęczeniowa powierzchni docieranych wzrasta w miarę wzrostu gładkości i braku uszkodzeń struktury. Np. stwierdzono, że szlifowanie odbywające się dociskiem  $p > 200 \text{ kg/cm}^2$  (t.j. w granicach normalnych) powodowało podczas obróbki chwilowe punktowe skoki temperatur rzędu 800—1600°C, w wyniku czego struktura metalu wykazała rozluźnienie do głębokości ok. 5  $\mu$ , a uszkodzenia krystaliczne do głębokości około 1,5  $\mu$ . Natomiast wykrywalne ślady docierania oscylacyjnego przy docisku osieki rzędu 1—3  $\text{kg/cm}^2$  sięgały tylko głębokości ok. 0,01  $\mu$ . Różnica wytrzymałości zmęczeniowej i odporności na korozję powierzchni w obu przypadkach jest jasna.

Ekonomiczny efekt omówionych trzech sposobów obróbki ścierniej wynika z następującego zestawienia:

Sposób obróbki	Sredni czas obróbki 1 dm <sup>2</sup> pow. obrabian.	Uzyskana srednia gładkość $H_{sr}$	Przygotowanie powierzchni
	minut/dm <sup>2</sup>	$\mu$	
Lapping	2,5	0,4	przeważnie szlifowaniem
Honing	0,3	2,0	
Superfinish	0,3 — 0,4	0,2	
	0,5 — 0,6	0,10 (lustro)	

Powyższe dane mają charakter orientacyjny tylko dla porównania wydajności różnych sposobów obróbki, są to bowiem średnie wartości z przedmiotów b. różnych wielkości i różnych gładkości początkowych i końcowych. Niemniej wynika z nich, że docieranie oscylacyjne pozwala na nadanie gładkości ponad 10-krotnie większej niż docieranie luznym ziarnem w jednakowym czasie oraz 2-krotnie wyższej gładkości niż lapping w czasie 6—8-krotnie krótszym. Należy dodać, że w porównaniu ze szlifowaniem, które zużywa 10—20 KW, docieranie oscylacyjne zużywa tylko ok. 100 W mocy na wrzecionie.

Omówione dwa pierwsze sposoby obróbki powierzchniowej ścierniej (tj. lapping i honing) nadają gładkość powierzchni wyrażoną przy pomocy  $H_{sr}$  w przybliżeniu w jednakowych granicach. Z tego też względu odporność powierzchni na korozję i na zmęczenie powierzchni są również prawie jednakowe. Natomiast odmienna kierunkowość śladów i różna wielkość udziału nośnego stwarza różnice we własnościach przeciwciernych i w warunkach smarowania każdego z tych sposobów obróbki. Trudno je określić jako lepsze lub gorsze, zależy to bowiem od gładkości i od kierunkowości struktury dwóch powierzchni współpracujących.

Superfinish jest sposobem obróbki nadającej własności użytkowe wyższe od innych z uwagi na dokładność geometryczną, zwłaszcza na płaskość i przyleganie, na własności przeciwcierne, własności smarowania i własności refleksyjne.

Stopień własności użytkowych i przydatność omówionych trzech sposobów obróbki należy rozumieć jako właściwy materiałowi, wynikający wyłącznie z gładkości i z nieobecności uszkodzeń strukturalnych. Natomiast dalsze podwyższenie

stopnia własności użytkowych zależy od innych sposobów obróbki powierzchniowej, mianowicie od powierzchniowego zgniotu lub od obróbki dyfuzyjnej cieplno-chemicznej. Sposoby te wpływają na dalsze podwyższenie własności przeciwciernych, przeciwciernych i przeciwcierozrywających, zwłaszcza jeśli są zastosowane w połączeniu z obróbką dyfuzyjnej z obróbką zgniotem lub ścierną.

Operacje diamentowania, lappingu, honingu i superfinishu są ustawione zawsze na końcu procesu technologicznego, m.in. z uwagi na niebezpieczeństwo uszkodzenia bardzo gładkich powierzchni.

Docieranie strumieniowe, zwane też hydropolerowaniem, stanowi obok honingu, lappingu, superfinishu, czwarty sposób obróbki powierzchniowej ścierniej.

Docieranie hydrauliczne polega na działaniu ściernym strumienia mieszaniny luźnych ziarn zawieszonych w cieczy, uderzającego z dużą szybkością o powierzchnię obrabianą. Czynnikiem powodującym ścieranie jest energia kinetyczna ziarna.

Struktura geometryczna powierzchni hydrodocieranych zależy m.in. od pochylenia strumienia względem powierzchni obrabianej i od odległości wylotu dyszy. Struktura ta może być bezkierunkowa, złożona z mikroskopijnych wgłębień lub o kierunkowości równoległej. W wyniku tej struktury powierzchni hydrodocierane mogą być matowe lub też wykazywać różny stopień połysku.

Bezpośrednie skutki obróbki hydrodocieraniem są następujące:

- zwiększenie gładkości, która powoduje wzrost odporności na korozję, przy zachowaniu dokładności wymiarowej,
- zmniejszenie działania karbu, tj. wzrost wytrzymałości zmęczeniowej,
- zwiększenie trwałości przeciwciernej przez usunięcie niekorzystnej kierunkowości śladów obróbki,
- podwyższenie własności kapilarnych (włoskowatości) powierzchni obrabianej; własność ta jest szczególnie ważna ze względu na podatność na zwilżanie powierzchni przez smary i chłodziwa, również w przypadku metalizowania zanurzeniem przedmiotu w ciekłym metalu itp.

Własności mikrogeometryczne hydropolerowania są wynikiem wyższej szybkości nadawania gładkości od szybkości uszkodzania kształtu, nieuniknionego przy tym sposobie obróbki. Stwierdzono, że początkowy błąd kształtu równy 1  $\mu$  wzrasta po 30 sekundach do 2—3  $\mu$ , zaś po 1 minucie do 0,02—0,04 mm. Dlatego czas 30 sek hydrodocierania należy uważać jako granicę ekonomiczną trwania obróbki. Z drugiej strony stwierdzono, że czas docierania wystarczający wynosi ok. 3 sek/1 cm<sup>2</sup> obrabianej powierzchni, jeśli nierówności nie mają przekroczyć 2  $\mu$ . Gładkość po docieraniu zależy od gładkości wstępnej i od wielkości ziarna. Np. gładkość wyjściowa  $H_{sr} = 6—7 \mu$  pozwala na nadanie gładkości hydrodocieraniem na  $H_{sr} = \text{ok. } 4 \mu$ , a gładkość wyjściowa  $H_{sr} = 0,7—0,3 \mu$  na gładkość końcową  $H_{sr} \text{ ok. } 0,2 \mu$ .

Nadanie własności kapilarnych nie wymaga natomiast wysokiej gładkości i w tym przypadku gładkość wyjściowa  $H_{sr} = 14—18 \mu$  jest wystarczająca.

Hydropolerowanie, zastosowane jako dodatkowa obróbka powierzchniowa, daje szereg korzyści pośrednich w odniesieniu do własności użytkowych, mianowicie:

- zastosowane przed polerowaniem skraca znacznie czas potrzebny na nadanie połysku,
- zastosowane po śrutowaniu podwyższa wytrzymałość zmęczeniową oraz podwyższa o 30—40% odporność na ścieranie w porównaniu do uzyskanej szlifowaniem i następnym polerowaniem,
- zastosowane po elektropolerowaniu podwyższa wytrzymałość zmęczeniową, gdyż ściera warstwę międzykrystalicznych rozluźnień struktury, usuwa rozwarstwienia powierzchniowe i w ten sposób odbiera powierzchni niekorzystny charakter struktury „rozrzedzonej”.

Wpływ hydrodocierania na własności użytkowe nie został dotychczas ostatecznie zbadany. M.in. związek między chropowatością wyjściową, wielkością ziarna ściernego, a gładkością końcową, wydajność na jednostkę powierzchni obrabianej, stopień przydatności jako obróbki przeciwciernej itp. nie są całkowicie ustalone. Mimo to korzyści hydrodocierania zarówno z uwagi na rodzaj i na stopień własności użytkowych obrabianej powierzchni, jak i na ekonomię obróbki, są wyraźne.

Tabela I podaje porównawczo charakterystykę sposobów obróbki powierzchniowej ścierniej, Tabela II ich wpływ na własności użytkowe.



TABELA II  
Wpływ sposobów obróbki powierzchniowej na własności powierzchni

Sposób obróbki powierzchniowej	Główne własności powierzchni					
	dokładność geometryczna	gładkość	udział nośny	Typ struktury		
				prawi- dłowa	zagęsz- czona	rozrze- dzona
Obróbka ścierna Lapping Honing Superfinish Docieranie strumieniowe Erozja ultradźwiękiem	+ ++ w +	+ ++ ++ +	+ ++ w +	+ ++ w +	+ ++ w +	
Obróbka zgniotem Rolowanie i kalibrowanie Śrutowanie	+ -	+ -	+ -		+ +	
Obróbka elektrochemiczna I lektropolerowanie Powłoki galwaniczne	o w	+ +	+ w			+ +
Obróbka kombinowana Polerowanie mechaniczne Bębnowanie	- -	+ +	- w		+ +	

Oznaczenia:  
wplyw obróbki powierzchniowej podwyższa własności powierzchni +  
wplyw obróbki powierzchniowej obniża własności powierzchni -  
warunkowy, zależnie od parametrów danej obróbki lub cyklu kilku sposobów obróbki W  
bez wpływu O

Obróbka powierzchniowa zgniotem zyskuje coraz bardziej na znaczeniu, gdyż oddziaływa ona bardzo wszechstronnie na własności użytkowe.

Warunkiem powstania zgniotu plastycznego jest, by energia uderzenia ziarna lub siła docisku były wystarczające do przekroczenia granicy sprężystości materiału obrabianego. Granica ta musi być niższa od granicy sprężystości elementu powodującego zgniot (śrut, rolka).

Do wspólnych skutków obróbki powierzchniowej zgniotem należy zaliczyć wyraźnie podwyższenie twardości powierzchniowej, wytrzymałości zmęczeniowej i wytrzymałości na powtarzające się uderzenia, przy równoczesnym obniżeniu odporności na korozję. Podwyższenie wytrzymałości zmęczeniowej w wyniku obróbki zgniotem następuje przez:

- dostosowanie przebiegu włókien do kształtu części i do przebiegu naprężeń,
- wprowadzenie naprężeń powierzchniowych ściskających.

Niektóre sposoby obróbki powierzchniowej zgniotem wpływają dodatnio na warunki pracy tarciami, gdyż nadają one również gładkość.

Nadawanie zgniotu może się odbywać drogą nacisku statycznego (rolowanie, kalibrowanie) lub przez działanie dynamiczne elementów zgniatających (śrutowanie, m'otkowanie). Istnieją również i inne sposoby wytwarzania zgniotu, należą one jednak do grupy sposobów obróbki powierzchniowej kombinowanej — zgniotem i ścierną (bębnowanie).

Stan warstwy powierzchniowej obrabianej zgniotem odznacza się w porównaniu z nie uszkodzoną mechanicznie mikrostruktura materiału następującymi cechami: kształt ziaren jest wydłużony w kierunku działania siły zgniotu, a orientacja ich ma charakter uporządkowany. Stopień zgniotu może osiągać prawie stan bezpostaciowy. Głębokość zgniotu, wielkość i rozkład naprężeń powierzchniowych zależą od docisku rolek przy rolowaniu, od wielkości śrutu oraz od gęstości i energii jego uderzeń przy śrutowaniu.

Wskutek istnienia spójności między zgniecioną warstwą a nie zgniecionym materiałem, włókna wewnętrzne materiału starają się zmusić warstwę zgniatającą do powrotu do pierwotnego położenia. Zgniot powoduje w zewnętrznej warstwie naprężenia ściskające, natomiast sprężystość wewnętrznych warstw materiału działa rozciągająco. Wypadkowe naprężenia powierzchniowe warstwy zgniotu są jednak ściskające, bowiem są one kilkakrotnie większe od naprężeń głębiej położonego materiału. Ponieważ ogniska pęknięć zmęczeniowych leżą na powierzchni lub tuż pod nią, a pochodzą od naprężeń rozciągających, przeto części wykazujące naprężenia powierzchniowe ściskające posiadają większą wytrzymałość zmęczeniową.

Przydatność materiału do obróbki powierzchniowej zgniotem zależy od jego wydłużenia, które powinno wynosić co najmniej 8%.

Ekonomiczną zaletę obróbki powierzchniowej zgniotem stanowi podwyższenie wytrzymałości zmęczeniowej bez

zwiększenia ciężaru części, co prowadzi do wyższego stopnia wykorzystania materiału w konstrukcji. Możliwości stąd wynikające nie zostały niestety omówione swego czasu na konferencji dotyczącej sposobów zaoszczędzenia materiałów w konstrukcjach.

Rolowanie jest sposobem powierzchniowej obróbki, która polega na okształceniu plastycznym powierzchni obrabianej skrawaniem. Rolowanie ma na celu nadanie gładkości i własności przeciwnym.

Zakresem rolowania jest obróbka wałków. Przebiega ona — podobnie jak szlifowanie — przy użyciu posuwu wzdłużnego lub wężbnie, tj. tylko posuwem poprzecznym rolek.

Mechanizm rolowania polega na stopniowym zgniataniu obracającego się wałka przy pomocy rolek wykonujących posuw. Pod wpływem zgniotu materiał płynie, podnosząc się przed rolką w postaci posuwającej się fali zgrubienia. Zgrubienie to powoduje wzniesienie się materiału w bruzdach nierówności, tak że bezpośredni nacisk rolki zgniata tylko ich wierzchołki.

Obrabiona rolowaniem powierzchnia posiada strukturę zgniotu kierunkową, zgodną z wypadkowym kierunkiem ruchu względnego rolki i wałka. Kierunek ten nie musi być zgodny z kierunkiem nierówności powierzchni.

Powierzchnia rolowana wykazuje wysoką gładkość rzędu 0,5—0,1  $\mu$  i udział nośny rzędu 50—70% przy starannym rolowaniu nawet 70—90%. Wskutek zgniotu wzrasta również twardość powierzchni rolowanej do wartości ( $H_v = 200 + 240(2 \text{ kG})$  dla stali). Są to zalety, które pozwalają na pominięcie okresu docierania maszyny w pracy.

Gładkość, a zwłaszcza równomierność zgniotu powierzchni rolowanych, zależy w dużym stopniu od nieobecności narostu ostroza przywarowej podczas poprzedzającej obróbki skrawaniem. Wgnieciono rolowaniem odłamki narostu na ostrzu powodują punktowe zwiększenie zgniotu i twardości, w których podczas pracy mogą zawsze wystąpić odpryski i stać się zarodkiem zatarcia.

Głębokość zgniotu osiągniętego rolowaniem zależy od rodzaju materiału, od siły zgniotu i od szeregu parametrów technologicznych. Głębokość ta jest znaczna i leży np. dla stali w granicach 2,5—3,8 mm.

Rolowanie zmniejsza średnicę wałka, natomiast zwiększa nieco jego długość. Jeśli rolowaniem osiągnięto całkowite spłaszczenie chropowatości, wówczas powierzchnia rzeczywista po rolowaniu będzie leżała w przybliżeniu w poziomie linii środkowej chropowatości powierzchni wyjściowej, przed rolowaniem (współczynnik wypełnienia profilu powierzchni toczonych wynosi  $K_h = 0,6—0,7$ ). Zmniejszenie średnicy wskutek rolowania zależy od siły docisku i wynosi ok. 16  $\mu$  przy

TABELA III

Wpływ elementów struktury powierzchni na własności użytkowe części maszyn

Własności używane części maszyn	Struktura geometryczna powierzchni				Typ struktury			
	Gładkość	Błąd kształtu	Kierunkowość struktury	Udział nośny	Zagęszczenie	Prawidłowa (nie uszkodzona)	Rozrzedzona	
1 Odporność na ścieranie i zatarcia zmęczeniowe	+	o	w	+	+	+	-	
2 Trwałość pasowania	+	o	w	+	+	+	w	
3 Wytrzymałość połączeń wprasowanych	+	o	w	+	+	w	-	
4 Przewodnictwo cieplne	+	o	nie zbad.	+	w	?	?	
5 Adhezja	w	o	w	o	w	w	?	
6 Warunki skraplania	w	o	nie zbad.	o	w	w	+	
7 Zmniejszenie koncentracji naprężeń powierzchniowych	+	w	w	+	+	+	-	
8 Tłumienie drgań	o	w	o	o	+	w	-	
9 Przyleganie	+	-	w	+	o	o	w	
10 Szczelność	+	-	w	w	o	o	w	
11 Opory przepływu	+	o	w	o	o	o	w	
12 Warunki smarowania	w	o	w	+	o	o	w	

Oznaczenia:  
wplyw obróbki powierzchniowej podwyższa własności powierzchni +  
wplyw obróbki powierzchniowej obniża własności powierzchni -  
warunkowy, zależnie od parametrów danej obróbki lub cyklu kilku sposobów obróbki W  
bez wpływu O

docisku 100 kG/mm do 40  $\mu$  przy docisku 300 kG/mm efektywnej szerokości rolki.

Naprężenia powierzchniowe spowodowane rolowaniem występują jako wzdluzne i styczne do powierzchni i mogą przekroczyć 55 kG/mm<sup>2</sup> w przekroju poniżej warstwy zgniotu nie przekraczając rzędu 10 kG/mm<sup>2</sup>.

Rolowanie jest obecnie stosowane w bardzo szerokim zakresie: np. od przeciwnaczeniowego rolowania czopów osi taboru kolejowego aż do gładkościowego rolowania drobnych sworzni i czopów narażonych na ścieranie w obrabiarkach, silnikach i w aparaturze.

Kalibrowanie otworów przetłaczaniem jest obróbką nadającą zgniot, gładkość i wymiar. Zasada mechaniczna kalibrowania jest ta sama co i rolowania. Kalibrowanie otworów jest znacznie kosztowniejsze od rolowania, bowiem wymaga osobnego narzędzia (kulki) o średnicy właściwej dla poszczególnych stopni zgniotu. Powierzchnia kalibrująca musi być wykonana z dokładnością odpowiadającą tolerancji zgniotu i średnicy końcowej i b. gładka.

Jako narzędzia stosuje się serię kul kalibrujących lub szereg węzłów kalibrujących umieszczonych za kalibrującymi zębami przeciągaczy, wreszcie jako osobne przepychacze kalibrujące. Wszystkie te narzędzia są b. kosztowne, a obróbka stosunkowo powolna.

Srutowanie polega na wprowadzeniu powierzchniowych zgniotów do obrabianej powierzchni przy pomocy nieprzerwanego uderzania o nią strumienia luźnych ziarn śrutu lub uderzenia kulek luźno umieszczonych na obwodzie wirującej tarczy. Zgniot śrutowaniem występuje przez wykorzystanie energii kinetycznej śrutu.

Wielkość zgniotu, średnica śladu zgniotu i jego głębokość zależy od energii uderzenia śrutu i od jego wielkości. Gładkość powierzchni śrutowanych może ulec podwyższeniu o 2—4 klas gładkości w zależności od gładkości powierzchni obrabianej wstępnie. Głębokość zgniotu i twardość powierzchniowa zależą od materiału śrutowanego i od parametrów śrutowania. Np. dla stali Cr—Ni—W głębokość zgniotu sięga do 1,2 mm, a wzrost twardości powierzchni do 50%.

Srutowanie luźnym śrutem nie zapewnia równomiernego zgniotu. Znacznie lepsze wyniki pod tym względem daje śrutowanie przy pomocy śrutu umieszczonego luźno na obwodzie wirującej tarczy. Ze znanej szybkości przedmiotu i tarczy oraz znanej średnicy i ilości kulek na jej obwodzie można obliczyć ilość uderzeń na 1 mm<sup>2</sup> powierzchni na każde przejście tarczy, a tym samym wielkość zgniotu.

Zaletą śrutowania luźnym śrutem polega na tym, że sposób ten nie jest ograniczony kształtem przedmiotu. Przy odpowiednim doborze wielkości śrutu można obróbić śrutowaniem wszelkie nieregularności, załomy i wnęki powierzchni. Podobną zaletę posiada hydrodocieranie i bębnowanie w porównaniu z lappingiem i honingiem.

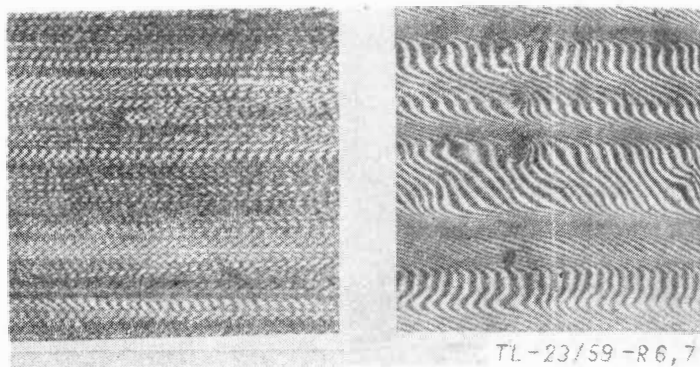
Wpływ śrutowania podwyższa twardość, wytrzymałość zmęczeniową na powtarzające się uderzenia i odporność na drgania. Wzrost tych własności zależy od rodzaju materiału, kształtu części (koncentracja naprężeń), od poprzedzającej śrutowanie obróbki cieplnej i od czasu i nasilenia śrutowania. Np. śrutowanie po normalizowaniu nie wywiera wpływu, podczas gdy śrutowanie części ulepszonych cieplnie powoduje w stali Cr—Ni—Mo—V ok. 3,5-krotny wzrost wytrzymałości na powtarzające się uderzenia.

Powierzchnie śrutowane wymagają nieraz obróbki wykańczającej w celu ich wglądzenia. Obróbka ścierna powierzchni śrutowanych zdejmująca warstwę 0,03—0,08 mm podwyższa wytrzymałość na uderzenia o ok. 7% i stwarza b. dobre warunki smarowania i nośności. Stosowane hydrodocieranie po śrutowaniu — prócz gładkości — wyrównuje również nierównomierne zgnioty.

Srutowanie bywa szeroko stosowane jako środek do poprawienia własności użytkowych niedostatecznie nadanych lub obniżonych inną obróbką powierzchniową. I tak, zastosowanie powłok w celu nadania odporności na ścieranie, na zmęczenie, na korozję itp. wpływa na obniżenie równoczesne wytrzymałości na powtarzające się uderzenia. Śrutowanie poprzedzające nałożenie powłoki podwyższa wytrzymałość na uderzenia przeszło dwukrotnie.

Wzrost twardości wskutek śrutowania wynosi dla stali niskowęglowych 60—80%, średniowęglowych 18—20%, a na węglanych 13—14%.

Srutowanie powoduje znaczny wzrost wytrzymałości zmęczeniowej. Dotyczy to nie tylko sprężyn i resorów (15-krotny), ale jest szeroko stosowane jako środek zapobiegawczy przeciwko naprężeniom rozciągającym spowodowanym skrawaniem oraz szlifowaniem stali wysokostopowych. Również śru-



Rys. 6

Rys. 7

towanie bywa stosowane do rozbitcia austenitu szczątkowego, który obniża własności przeciwnaczeniowe.

Srutowanie bywa również stosowane w celu wyrównania koncentracji naprężeń i podwyższenia wytrzymałości zmęczeniowej. Np. śrutowanie miejsca wprasowania wałka w otwór podwyższa jego wytrzymałość zmęczeniową o ok. 90% w porównaniu z wałkiem szlifowanym i wprasowanym. Śrutowanie wałów korbowych, korbowodów i kół zębatych zwiększa wytrzymałość zmęczeniową o 30—40%. Wytrzymałość na zmęczenie korozyjne zwiększa się dzięki śrutowaniu o 16% w powietrzu, zaś o ok. 250% w roztworze 3% NaCl.

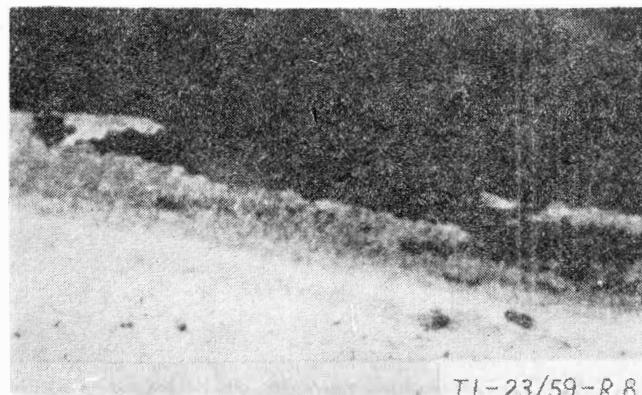
Jak wynika z przykładów, zastosowanie obróbki zgniotem jest niezmiernie szerokie, zwłaszcza w połączeniu z inną obróbką powierzchniową mechaniczną lub cieplno-chemiczną.

Elektropolerowanie polega na nadawaniu powierzchni gładkości przez usunięcie wierzchołków jej nierówności drogą elektrolityczną. Dzięki temu elektropolerowanie wydobywa na powierzchnię metal o nie uszkodzonej strukturze i usuwa wszelkie płytkie ślady obróbki i uszkodzenia powierzchniowe.

Porównanie obrazów interferencyjnych powierzchni szlifowanych i elektropolerowanych przedstawiają rys. 6 i 7, wskazują one na nieobecność chropowatości, a widoczne nierówności prążków stanowią obraz falistości powierzchni.

Osiągalna elektropolerowaniem najwyższa gładkość sięga  $H_{sr} = 0,1 \mu$ . Jest to wprawdzie rząd wielkości osiągalny przy pomocy lappingu, honingu i superfinishu, jednakże charakterystyka struktur geometrycznych w obu przypadkach jest wyraźnie odmienna. Na powierzchniach elektropolerowanych nie występują bowiem różnokolorowe zarysowania, natomiast charakterystyczny jest łagodny przebieg prążków świadczący o zupełnej płaskości, ewent. lekkiej falistości. Wskazuje to na b. wysoki udział nośny powierzchni elektropolerowanych.

Wpływ elektropolerowania na własności użytkowe wyraża się jako polepszenie warunków tarcia, wzrost odporności na ścieranie (zwłaszcza zębów), natomiast elektropolerowanie powoduje obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej. Wzrost gładkości i polepszenie warunków tarcia i ścierania zależy w wysokim stopniu od gładkości powierzchni przygotowanej do elektropolerowania, a zatem od sposobu obróbki. Wyjściową gładkość  $H_{sr} = 10 \mu$  do 1,5  $\mu$  można zmniejszyć elektropolerowaniem do 1/3, nawet do 1/5, tj. do 3—0,5  $\mu$ , natomiast współczynnik tarcia w granicach 0,6 do 0,08 przed polerowaniem spada do 0,10—0,08 po zdjęciu warstwy ok. 50  $\mu$ , bez względu na gładkość końcową.



Rys. 8

Ścieralność powierzchni zależy od sposobu jej obróbki i od gładkości wyjściowej. Największy wzrost odporności wskutek elektropolerowania (3—4-krotny) wykazują powierzchnie poprzednio toczone, oraz szlifowane, natomiast największą bezwzględną odporność na ścieranie wykazują powierzchnie docierane i następnie elektropolerowane. Dzięki temu elektropolerowanie jest środkiem zastępującym okres naturalnego docierania się maszyny w pracy.

W przypadku kół zębatych, zużycie zębów wykończonych polerowaniem wynosi 20—30% zużycia zębów szlifowanych. Zęby elektropolerowane mają cichszy bieg, a uszkodzenia wskutek ospowatości (pitting) występują dopiero po dwukrotnie większym zużyciu KWh.

Elektropolerowanie obniża wytrzymałość zmęczeniową o 15—20% w porównaniu z powierzchnią szlifowaną i wykończoną płótnem ściernym; spadek ten wzrasta z wytrzymałością materiału na rozerwanie. Elektropolerowanie „rozluźnia” strukturę, tworząc jamki, ryski itp. przerywające jej ciągłość (rys. 8). W celu usunięcia tej wady stosuje się po elektropolerowaniu hydropolerowanie, które złuszcza uszkodzenia względnie zagnięta je. Wyjątkiem są powierzchnie nawęglane, których trwałość wzrasta kilkakrotnie dzięki elektropolerowaniu.

Odporność powierzchni elektropolerowanych jest względna i zależy przede wszystkim od tego, czy powierzchnia posiada powłokę ochronną. Ochronę tę stanowi też pasywizacja powierzchni.

Następnym sposobem nadawania odporności na korozję są powłoki.

**Powłoki ochronne.** Istotnym zadaniem powłok jest: a) ochrona powierzchni przed uszkodzeniami jej struktury i własności wskutek działania mechanicznego, chemicznego, elektrochemicznego, cieplnego,

b) nadanie powierzchni trwałości przez stałe utrzymywanie powierzchni w stanie zdatności użytkowej,

c) nadanie lepszego wyglądu.

Rodzaje stosowanych powłok ochronnych są b. różnorodne pod względem ich budowy, sposobu wytworzenia i własności użytkowych.

Pod względem technologicznym należy rozróżnić trzy rodzaje powłok:

a) naturalne, powstałe samoczynnie i nagle wskutek zetknięcia świeżo utworzonej powierzchni z tlenem powietrza. Są to tlenki metali, twarde i szkliste, kruche i trudno topliwe, dzieki którym współczynnik tarcia przybiera znane ogólnie wartości;

b) dyfuzyjne, sztuczne, utworzone dyfuzją obcych ciał, głównie gazów, do wewnątrz struktury metalu. Są to powłoki utwardzające, przeciwkorozyjne, przeciwścierne itp. wytworzone nawęglaniem, azotowaniem, chromowaniem, fosforowaniem itp. Wywołują one wzrost twardości i wzrost objętości ziarn, przez co podwyższają wytrzymałość zmęczeniową, odporność na ścieranie, zdolność tłumienia drgań i odporność na korozję. Zagadnienie powłok dyfuzyjnych — jakkolwiek należy do sposobów obróbki powierzchniowej — wkracza w zakres obróbki cieplno-chemicznej, nie objętej zakresem referatu;

c) nałożone — powłoki te, w przeciwieństwie do dyfuzyjnych, nie są związane tak silnie z podkładem, jak wymienione wyżej.

Powłoki nałożone galwanicznie są związane z podkładem przyciąganiem molekularnym i zachowywać się powinny tak jak podkład. Powłoki galwaniczne nie są jednak jednorodne, ani ciągłe, lecz porowate (rys. 1). Wykazują one wysokie naprężenia własne i obniżają przez to wytrzymałość zmęczeniową materiału podkładu, zwłaszcza jeśli adhezja powłoki do podkładu jest silna.

Z tych względów należy stosować obróbkę zgniotem śrutowaniem przed nałożeniem powłoki galwanicznej lub po jej nałożeniu — rolowaniu. Obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej występuje szczególnie wyraźnie u powłok Cr, Ni oraz Cu, zaś obniżenie wytrzymałości na wielokrotne uderzenia występuje najsilniej u powłok Cr, Cd i fosfatyzowanych.

Polerowanie mechaniczne straciło ostatnio na znaczeniu wobec wprowadzenia do produkcji innych sposobów obróbki powierzchniowej, przy pomocy których można nadać gładkość znacznie wyższą (do 0,02  $\mu$ ) od osiągalnej polerowaniem (0,1  $\mu$ ) bez trudnego do uniknięcia dla polerowania mechanicznego pogorszenia dokładności kształtu i niemożności nadania równomiernej struktury warstwy powierzchniowej. Polerowanie obecnie stosowane ma charakter specjalny, a jego dawne wykorzystanie w celu nadania gładkości i ewentualnych nieznacznych zgniotów jest obecnie wy-

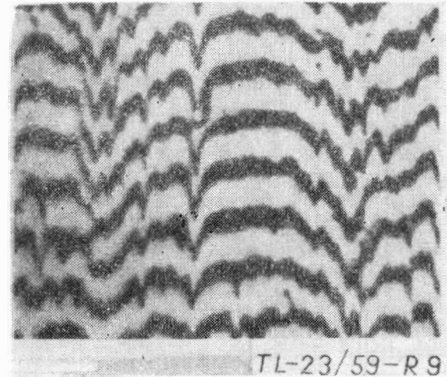
konywane innymi sposobami obróbki, z lepszym skutkiem dla własności użytkowych i bardziej ekonomicznie.

Sposoby obróbki powierzchniowej równorzędne co do własności użytkowych, a przewyższające gładkością polerowanie są: lapping, honing, superfinish, rolowanie, elektropolerowanie, wreszcie bębnowanie.

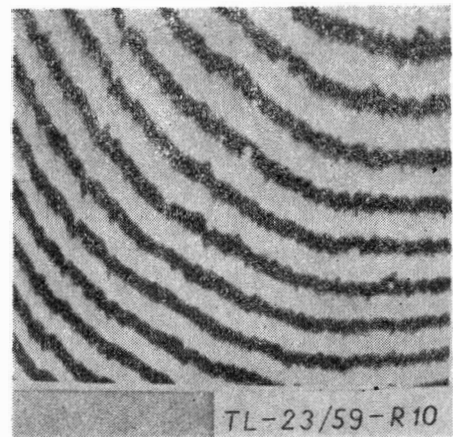
Powstaje więc pytanie, jaka obróbka polerska może być zaliczona do sposobów obróbki powierzchniowej wykańczających?

Polerowanie należy sobie wyobrazić jako proces złożony z kilku zjawisk, polegający na wypełnieniu wgłębień nierówności materiałem ich wierzchołków. Struktura krystaliczna wierzchołków nierówności pod naciskiem tarczy i środków polerskich i w obecności wysokiej temperatury zostaje zmiażdżona i pod wpływem ciepła tarcia doprowadzona do stanu plastycznego, następnie rozsmazana po powierzchni aż do zaniku jej nierówności. Zjawiskom polerowania towarzyszy wrywanie i usuwanie cząstek metalu, o czym świadczą zmiany wymiarów i kształtu przedmiotów. Kryterium prawidłowego polerowania jest zanik nierówności, który zależy od przebiegu ścierania, jako fazy wstępnej. Nie można jej rozgraniczyć od właściwego polerowania polegającego na rozmazywaniu plastycznym. Zjawiskom tym towarzyszy ew. dodatkowe działanie środków polerskich chemicznie aktywnych, stosowanych w celu przyspieszenia procesu.

Zgodnie z określeniem pojęcia obróbki powierzchniowej



Rys. 9



Rys. 10

można uważać polerowanie jako obróbkę powierzchniową tylko w takim przypadku, jeśli usuwając w minimalnym stopniu materiał nadaje się powierzchni gładkość poniżej 0,1  $\mu$  przy zachowaniu jej geometrycznej prawidłowości na większej przestrzeni. Znaczy to, że sam połysk nie stanowi kryterium polerowania jako obróbki powierzchniowej wykańczającej. Rys. 9 i 10 przedstawiają obrazy interferencyjne powierzchni niegładko ( $H_{sr} \infty 0,4 \mu$ ) i gładko ( $H_{sr} \leq 0,1 \mu$ ) spolerowanych.

Polerowanie mechaniczne powierzchni może być wykonane kilkoma sposobami:

polerowanie tarczami lub taśmami na gładkość i połysk, polerowanie w wymiar przy pomocy agatu, polerowanie zgniotem (bruniowanie), bębnowanie polerskie (kulowanie).

Podatność na polerowanie jest tym większa, im większą twardość, a im mniejszą porowatość wykazuje materiał polerowany i im mniej „maże się” on podczas polerowania. Gładkość powierzchni polerowanej zależy od podatności materiału na szlifowanie, od gładkiego, równomiernego oszlifowania bez rys i bez śladów drgań. Wynika stąd, że najbardziej podatne na polerowanie są stale, chrom i powierzchnie chromowane, średnio podatne są metale kolorowe, zwłaszcza odlewy (porowatość) i stopy miękkie (np. cynku), zaś najmniej podatne są stopy lekkie z powodu małej twardości, skłonności do mazania i porowatości odlewów. Dlatego stopy lekkie nadają się najbardziej do bębnowania (ostatnio stosuje się bębnowanie nawet do części dużych, jak podwozia samolotów i wręgi kadłubów).

Podatność na polerowanie materiałów pochodzenia ceramicznego leży między podatnością metali a minerałów. Materiały ceramiczne wykazują wysoką twardość, odporność na korozję i żaroodporność. Wykonywane z nich oczka do ciągników, części pieców narażone na wysokie temperatury i części mechaniki precyzyjnej są wykonywane polerowaniem.

Polerowanie mechaniczne tarczami filcowymi, sukienkami i przy użyciu typowych materiałów polerskich zostało ograniczone do nadawania połysku częściom o wymiarach dostatecznie dużych do obróbki ręcznej i tylko dla ilości zbyt małych dla ekonomicznego zastosowania sposobów masowych, np. bębnowaniem.

Polerowanie ręczne na wymiar na tarczach specjalnych przy użyciu agatu i nietypowych środków polerskich lub wyłącznie zgniotem jest stosowane tylko do niewielkich ilości drobnych części kosztownej aparatury i do polerowania kamieni stosowanych w konstrukcjach (kwarc, agat, granat, diament itp.). Nie wchodzi ono w rachubę w produkcji maszynowej, z wyjątkiem aparatury precyzyjnej.

Powierzchnie części maszynowych, polerowane mechanicznie wymienionymi sposobami, są gładkie i względnie odporne na korozję, tj. o tyle o ile na to wpływa gładkość, gdyż zgniot i ewent. bezpostaciowość struktury obniża tę odporność.

Bębnowanie polerskie, stosowane głównie do miękkich materiałów, polega na zastosowaniu kulek stalowych jako środka polerującego. Gładkość powierzchni uzyskuje się tylko toczeniem kulek, natomiast uderzenia o powierzchnie obrabiane nie są tu dopuszczalne.

Struktura powierzchni kulowanej wykazuje zbiorowisko mikroskopijnych zagłębień o kształcie kulistym, przy równoczesnej płaskości powierzchni.

Ten sposób obróbki podpada pod bębnowanie jako sposób obróbki powierzchniowej o szerszych możliwościach niż polerowanie.

Pod względem własności użytkowych, poza gładkością i ewent. połyskiem, polerowanie ręczne na tarczach nie zapewnia własności użytkowych geometrycznych lub strukturalnych w takim stopniu, by można było tym sposobem wykańczać powierzchnie pasowane, pracujące w styku. Dlatego polerowanie mechaniczne ogranicza się do powierzchni swobodnych.

Bębnowanie jest sposobem obróbki powierzchniowej rozwiniętym z polerowania miękką tarczą i z kulowania polerskiego. Celem jego jest wprowadzenie tańszej obróbki masowej zastępującej kosztowne sposoby indywidualnej obróbki wykańczającej, jak polerowania miękką tarczą, szlifowania taśmą ścierną oraz niekiedy docieranie między tarczami.

Zastosowanie bębnowania jest coraz szersze. Obecnie jest ono stosowane do odlewów i do odkuwek w stanie surowym lub obrobionym oraz do części obrobionych skrawaniem z pręta, stali, metali kolorowych i lekkich. Cele bębnowania są również wielorakie: usunięcie zgorzeliny, zbędnych lub szkodliwych powłok (rdza, farby), podwyższenie dokładności kształtów przez usunięcie zadziorów lub zaokrąglenie ostrych występów, krawędzi itp., podwyższenie gładkości m.in. wygładzenie pod powłoki galwaniczne, polerowanie na połysk, nadanie zgniotów, np. w celu usunięcia porowatości powłok galwanicznych, utwardzenie powierzchni, uodpornienie przeciwko korozji itp.

Bębnowanie ściernie polega na jednoczesnym ścierniu dużej ilości przedmiotów masą środków ściernych, w której są zanurzone. Czynność ta odbywa się w bębnach obracających się z małą szybkością dokoła poziomej, lub skośnej osi. Masa ścierna jest mieszaniną bardzo różnorodnych środków ściernych (mineralnych, ceramicznych, metalowych itp. zmieszanych ze środkami chemicznymi i z wodą). Bębnowanie ściernie atakuje przede wszystkim ostre krawędzie i występy

przedmiotów dzięki wysokim naciskom jednostkowym, mniej zaś gładkie powierzchnie.

Gładkość powierzchni bębnowanych sięga  $H_{sr} = 0,3 \mu$ , w korzystnych przypadkach osiągalne jest nawet  $0,2 \mu$  przy płaskości powierzchni do  $0,5 \mu$ . Charakter struktury zależy od stosowanych środków. Powierzchnie te mogą wykazywać ślady rys, być matowe lub lustrzane.

Bębnowanie, w przeciwieństwie do innych sposobów obróbki, obejmuje wszystkie powierzchnie przedmiotu, łącznie z otworami, wnękami i zagłębieniami. Dlatego do bębnowania nadają się przede wszystkim przedmioty o skomplikowanych kształtach, a o niewielkich stosunkowo płaszczyznach i przedmioty małe i okrągłe, niewygodne do ręcznego polerowania.

Jako zalety bębnowania należy wymienić: równomierność wykończenia wszystkich przedmiotów, czas obróbki na 1 sztukę znacznie mniejszy niż przy zastosowaniu obróbki indywidualnej, oszczędności na robociznie, możliwość użycia robotników niewykwalifikowanych, wreszcie znacznie korzystniejsze warunki pod względem zdrowotnym (nieobecność pyłu). Przejście z masowej produkcji drobnych części z polerowania na bębnowanie pozwala zaoszczędzić nawet 80% kosztów, gdyż wydajność jednego bębna osiąga wydajność 12 polerowników.

Bębnowanie nie jest stosowane do obróbki powierzchni styku, raczej do powierzchni swobodnych.

Bębnowanie należy stosować w razie możliwości uzyskania wykończenia równoważnego z polerskim. W innych przypadkach obydwa te sposoby obróbki uzupełniają się: jeśli wymagana gładkość nie jest osiągalna w sposób ekonomiczny bębnowaniem, należy stosować bębnowanie jako operację wstępną, a wykończyć na gładkość polerowaniem mechanicznym lub elektropolerowaniem i odwrotnie, jeśli zadziory na przedmiotach są duże, należy je zdjąć taśmą, a następnie powierzchnie wygładzić bębnowaniem.

Czas bębnowania nie da się sprecyzować, bowiem zależy on od wielu zmiennych parametrów i wymagań. Jednakże orientacyjnie można określić granice czasu bębnowania z tym, że poszczególne przypadki stosowania go zależą od warunków obróbki: np. usuwanie zadziorów 1—4 godzin, obróbka ścierna surowych odlewów 5—12 godzin, polerowanie na połysk 1—2 godzin, usuwanie powłok lakieru lub farb 1—2 godzin.

Bębnowanie jest szeroko stosowane w przemysłach: samochodowym, rowerowym, motocyklowym, łożysk tocznych, maszyn biurowych i rachunkowych, aparatury elektrycznej, optycznej i precyzyjnej, galanterii metalowej i sprzętu domowego.

## WNIOSKI

Z podanego przeglądu sposobów i metod obróbki powierzchniowej wynikają liczne możliwości nadawania własności użytkowych obrobionym przedmiotom przy zastosowaniu szerokiego doboru pojedynczych lub zespołowych sposobów obróbki zarówno z uwagi na główną, jak i na uboczne własności użytkowe części.

Jasne jest, jak szczegółowa i szeroka powinna być znajomość tych sposobów, z których doboru wynikają duże różnice w kosztach inwestycji i w kosztach samej obróbki. Znajomość sposobów obróbki powierzchniowej powinna wiązać się ze znajomością wymaganej obróbki przygotowawczej, w niej bowiem leży również źródło osiągnięcia ekonomicznych.

Zastosowanie obróbki powierzchniowej może być m. in. środkiem do potania produkcji, pod warunkiem stosowania następujących zasad:

1. Nadawanie własności użytkowych obrobionym przedmiotom należy uważać jako zagadnienie kompleksowe z kilku względów. Obróbka powierzchniowa:
  - nadaje więcej niż jedną własność wymaganą dla danej części,
  - wykazuje dołatni wpływ na jedne własności, ujemny na inne,
  - wymaga kompensowania ujemnego wpływu dodatkową obróbką powierzchniową.
2. Określoną własność użytkową można nadać różnymi sposobami obróbki. Spośród nich obróbka nadająca wysoką gładkość przy równoczesnym usunięciu powierzchniowych zgniotów doprowadza własności do maksymalnego stopnia stanu „naturalnego” danego materiału, inne sposoby obróbki mogą spotęgować te własności powyżej stanu „naturalnego”, co osiąga się obróbką wprowadzającą odpowiednie zmiany mikrostruktury warstewki powierzchniowej.

3. Gładkość powierzchni, zwłaszcza wyrażona jej podstawowymi parametrami, jest sposobem oddającym własności użytkowe powierzchni w niewystarczającym zakresie. Dlatego jest nieodzowne ustalenie dalszych sposobów określania własności użytkowych.
4. Wprowadzenie obróbki powierzchniowej do produkcji powinno — niezależnie od podwyższenia trwałości maszyn — spowodować w końcowym efekcie obniżenie kosztów produkcji, głównie z uwagi na krótkotrwałość procesów powierzchniowych i na możliwość racjonalnego obniżania wymagań w stosunku do części mniej narażonych na ujemne wpływy w warunkach pracy.
5. Z uwagi na nowość zagadnień powierzchniowych i technologii związanej z ustalaniem i z nadawaniem własności

użytkowych, konieczne jest zastosowanie wszystkich środków szkolenia i popularyzacji tych zagadnień w celu zaznajomienia konstruktorów, technologów i nadzoru technicznego z tym zagadnieniem.

6. O własnościach użytkowych decydować powinni zespoły konstruktorzy i technolodzy w oparciu o wyniki długofalowych badań przy współpracy fizyko-chemików i fizyków. Dlatego zacieśnienie współpracy między instytutami badawczymi i katedrami jest warunkiem nieodzownym rozwoju nowoczesnej technologii.
7. Wskazane jest umożliwienie szerokiego prowadzenia prac badawczych nad nie poznanymi dotąd własnościami użytkowymi i warunkami zużycia części maszyn, przez odpowiednie inwestycje i dotacje na tego rodzaju prace.

(dok. art. T. Wiślickiego ze str. 133)

Nie mniejszą rolę w zakresie zabezpieczenia wymienności odgrywa opracowanie technologiczne produkcji. Sprowadza się ono zarówno do założeń koncepcyjnych w zakresie przyjęcia odpowiedniej metody odtwarzania, jak również w dokonaniu prawidłowego rozrzutu tolerancji na komplet oprzyrządowania służącego do wykonania wymiennych zespołów. To istotne zagadnienie należy do najtrudniejszych w przygotowaniu produkcji biorąc pod uwagę wysokie wymagania konstruktora — a więc wąskie tolerancje — i dużą ilość pośrednich stadiów produkcji, a więc dużą ilość pozycji oprzyrządowania, charakteryzujących wytwarzanie płatowców począwszy od najdrobniejszych podzespołów aż do gotowego produktu. Można tu dodać, nie rozwijając tego tematu, że możliwość spełnienia określonych wymagań konstrukcji zależy w zasadniczym stopniu od sposobu jej opracowania, który w miarę możliwości zakładać powinien jak najmniejszą ilość podzespołów o zacieśnionych tolerancjach, uzyskując żadaną dokładność w montażu zespołu. Takie podejście pozwala na przydzielenie dysponowanego zakresu odchyłek najmniejszej ilości przyrządów przez co na każdy z nich przypadnie większa część ułatwiająca rozwiązanie zagadnienia taniego ich zaprojektowania i wykonania. Drugim nie mniej ważnym założeniem, pozornie tylko kolidującym z powyższym, jest dążenie do zawężenia zakresu tolerancji dla elementów małych, przy pozostawieniu szerszego dla dużych. Tak postawione zagadnienie daje największe prawdopodobieństwo przygotowania produkcji i samego wytwarzania przy minimalnych kosztach.

Ostatnie wreszcie słowo w omawianym temacie ma do powiedzenia wykonawca, tj. warsztat produkcyjny oraz kontrola techniczna. Od nich zależy bowiem, czy spełnione zostaną warunki narzucone przez konstruktora i zabezpieczone przez technologa w wyposażeniu produkcji.

Zagadnienie zabezpieczenia wymienności technologicznej elementów konstrukcji, niezbędnej przy wytwarzaniu seryj-

nym, leży całkowicie w zakresie czynności technologa i zabezpieczane jest przez wprowadzenie odpowiedniego systemu oprzyrządowania produkcyjnego i kontrolno-pomiarowego.

Największym problemem w zakresie przygotowania produkcji przy dużych wymaganiach dokładności jest budowa oprzyrządowania montażowego ze względu na wielkość poszczególnych przyrządów. Są to zagadnienia nie spotykane i nie znane w innych gałęziach przemysłu maszynowego i jako takie doczekały się w lotnictwie rozwiązań wybitnie specyficznych. Trudności podstawowe, polegające na zapewnieniu wysokiej dokładności rozstawów punktów określających położenia okuć a rozmieszczonych najczęściej w dużej odległości, zostały ostatnio rozwiązane najbardziej racjonalnie przez wprowadzenie metod mocowania odpowiednich ustalaczy (ustalających elementów przyrządu montażowego) przez zalewanie stopem bezskurczowym czy też tworzywem sztucznym o podobnych własnościach.

W zakresie metrologii najbardziej właściwe wydaje się wprowadzenie optycznych metod kontroli. Niechęć personelu naszych zakładów produkcyjnych w tym względzie, wynikająca z tradycjonalizmu, należy przełamać, ponieważ są to jedyne najtańsze metody pomiarowe gwarantujące możliwość spełnienia wymagań produkcji nowoczesnych płatowców, przy czym nie bez znaczenia pozostaje fakt, że odpowiednie wyposażenie ma charakter całkowicie uniwersalny.

Całość zagadnienia wymienności w budowie płatowców leżeć powinna bezwzględnie w kompetencji technologa, mimo iż opracowania technologiczne są tylko fragmentem tego problemu. Uzasadnieniem kierowniczej roli technologa w tym względzie jest fakt, że jest on ogniwem łączącym projekt z wykonawstwem, przy czym znając praktyczne możliwości warsztatowe zakładu powinien zapewnić jak najbardziej ekonomiczną realizację zamierzeń konstruktora.

Mgr inż. P. KIJKOWSKI

# Praktyczne sposoby wyznaczania parametrów przepływu gazu ściśliwego w przewodach

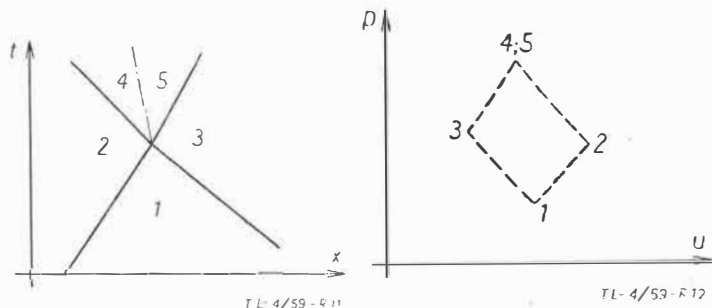
## Część II

4. Wykresy do graficznego rozwiązywania wzajemnych oddziaływań fal uderzeniowych, fal prostych i płynnych powierzchni nieciągłości w jednowymiarowych przepływach powietrza.

4.1. Przy spotkaniu dwóch silnych fal uderzeniowych powstają dwie nowe fale uderzeniowe oraz powierzchnia płynnej nieciągłości.

Dane są natężenia dwóch spotykających się fal. Natężenie wychodzących fal zależy od stanu gazu za tymi falami, a z kolei stan gazu zależy od natężenia tych fal. Otrzymujemy zależności uwikłane, które można rozwiązać metodą kolejnych przybliżeń lub metodą graficzną. Zależności te można znaleźć w [1] p. 3.7.2.1.

Aby powyższe zadanie rozwiązać wykreślnie posługujemy się płaszczyzną (u, p).



Parametry gazu w każdym z obszarów oznaczonych cyframi na rys. 11 będą odpowiadały jednemu punktowi płaszczyzny (u, p). Parametry gazu z dwóch stron płynnej powierzchni nieciągłości będą odpowiadały temu samemu punktowi (rys. 12). Korzystając z tego wykreślimy z pkt. 2 i 3 linie odpowiadające wszystkim możliwym stanom gazu za falą. Na przecięciu tych linii znajdziemy punkt odpowiadający stanom gazu w obszarach 5 i 4. Punkty tych linii wyznaczmy dla

kilku wartości  $\frac{V_1}{a_1}$  według wzorów:

$$\frac{u_2 - u_1}{a_1} = \frac{2}{k + 1} \left( \frac{a_1}{V_1} - \frac{V_1}{a_1} \right) \dots \text{wg [1] [3.59a]}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{2k}{k - 1} \frac{V_1^2}{a_1^2} - \frac{k - 1}{k + 1} \dots \text{wg [1] [3.62b]}$$

We wzorach tych u są to prędkości bezwzględne, V zaś prędkości mierzone w układzie związanym z czołem fali. Znaczek 1 oznacza parametry przed falą, znaczek 2 oznacza parametry za falą. Można raz na zawsze wykonać wykresy zależności:

$$\frac{p_2}{p_1} = f_1 \left( \frac{V_1}{a_1} \right); \quad \left( \frac{u_2 - u_1}{a_1} \right) = f_2 \left( \frac{V_1}{a_1} \right)$$

Można również, rugując z powyższych równań V, określić

$$u_2 - u_1 = f_3 \left( \frac{p_2}{p_1} \right) \text{ dla różnych } a_1.$$

4.2. Wprowadzimy układ współrzędnych, na którego jednej osi będziemy odkładali stosunki ciśnień w skali logarytmicznej, a na drugiej bezwzględne wielkości prędkości.

W tym układzie linie  $(u_2 - u_1) = f_1(\lg p_2)$  dla  $a_1 = const$  będą miały ten sam kształt dla różnych  $p_1$  (linie te dla  $k = 1,4$  są przedstawione na wykresie W15).

$$\lg p_2 = \lg \left( \frac{p_2}{p_1} \right) + \lg p_1; \quad u_2 = (u_2 - u_1) + u_1$$

Powróćmy do spotkania dwu fal uderzeniowych. Zadanie będziemy rozwiązywać na przezroczystej kalce. Na tej kalce współrzędna prędkości musi być w tej samej skali co na wykresie W15, zaś współrzędna ciśnienia musi być w skali logarytmicznej. Przykładając kalkę do wykresu W15 w ten sposób, że punkt odpowiadający obszarowi przepływu przed falą uderzeniową pokryje się z początkiem układu współrzędnych wykresu W15, osie zaś na kalce będą równoległe do osi współrzędnych W15, możemy dla znanej prędkości dźwięku przed falą bezpośrednio odrysować lub wypośredkować linię, na której będą leżały wszystkie możliwe stany gazu za falą uderzeniową.

Wykres W15 wykonany jest dla fal poruszających się w jednym kierunku osi x. Chcąc wyznaczyć parametry gazu za falą poruszającą się w przeciwnym kierunku, musimy obrócić kalkę na drugą stronę i odrysować krzywą podobnie jak poprzednio dla znanej prędkości dźwięku przed falą (rys. 13).

Wyznaczyliśmy z punktów 2 i 3 linie, na których mogą leżeć punkty odpowiadające parametrom gazu w obszarach 4 i 5 (rys. 11). Na przecięciu tych linii znajdziemy parametry gazu w obszarach 4 i 5.

Na wykresie W15 naniesione są linie  $a_2 = const$ , które pozwalają odczytać prędkość dźwięku za falą uderzeniową. Naniesione są też linie  $V_1 = const$ , pozwalające określić prędkość czoła fali uderzeniowej  $U = u \cdot V$ . W ten sposób znajdziemy linie oddzielające obszary 2 i 3 od obszarów odpowiednio 4 i 5 na płaszczyźnie (x, t).

4.3. Przypadek doganiania się silnych fal uderzeniowych. Z miejsca, w którym fale się dogonią wychodzi fala uderzeniowa o większym natężeniu, fala rozrzedzeniowa oraz płynna powierzchnia nieciągłości (wg. [1] 3.7.2.2.).

Załóżmy, że znamy parametry gazu w obszarach 1, 2 i 3. W płaszczyźnie (u, lg p) określimy linię, na której mogą leżeć punkty odpowiadające parametrom gazu w obszarze 5 nakładając kalkę na wykres W15 i odrysowując odpowiednie punkty (rys. 14).

Aby można było określić w tejsze płaszczyźnie punkty odpowiadające parametrom gazu w obszarze 4, czyli za falą rozrzedzeniową, wykonamy odpowiedni wykres.

Następujące równanie odpowiada fali rozrzedzeniowej lub zgęszczeniowej, poruszającej się w dodatnim kierunku osi x.

$$s = \frac{a}{k - 1} - \frac{u}{2} = const$$

gdzie s jest jednym z niezmienników Riemanna. Porównujemy stany gazu przed falą i za falą:

$$\frac{a_1}{k - 1} - \frac{u_1}{2} = \frac{a_2}{k - 1} - \frac{u_2}{2}$$

Ponieważ entropia się nie zmienia w fali rozrzedzeniowej lub zgęszczeniowej, możemy zamiast  $a_2$  podstawić:

$$a_2 = a_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{2k}}$$

Otrzymamy wzór:

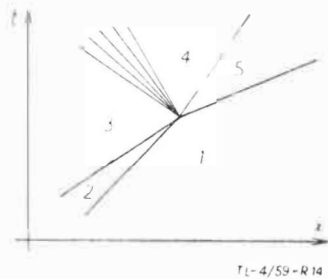
$$\frac{2}{k - 1} a_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{2k}} \right] = u_1 - u_2 \dots [25]$$

Według tego wzoru w układzie (u, lg p) wykonany został dla  $k = 1,4$  wykres W16, na którym górny pęk linii odpowiada fali zgęszczeniowej, a dolny fali rozrzedzeniowej poruszającym się w dodatnim kierunku osi x.

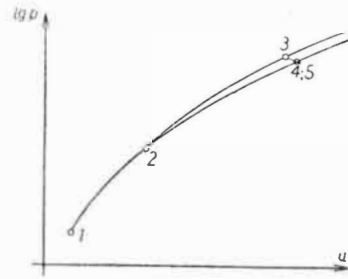
W naszym konkretnym przypadku fala rozrzedzeniowa porusza się w ujemnym kierunku osi  $x$ . Należy dla narysowania krzywej, odpowiadającej parametrom za falą, rysować punkty na lewej stronie kalki, przykładając tę kalkę punktem 3 do początku układu współrzędnych wykresu W16 i ustawiając osie ciśnienia wykresu i kalki równoległe do siebie (rys. 15).

Punkt 4,5 znajdujemy na przecięciu linii 1—5 dla fali uderzeniowej z linią 3—4 (dla fali rozrzedzeniowej) narysowaną po drugiej stronie kalki.

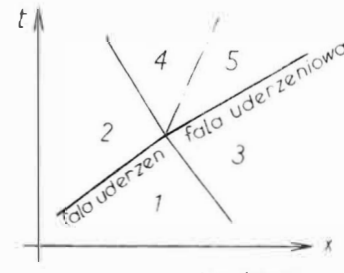
4.4. Oddziaływanie płynnej powierzchni nieciągłości na falę uderzeniową można rozwiązać sposobem podanym w p. 4.1. jak spotkanie fal uderzeniowych lub sposobem podanym w p. 4.2. jak doganianie fal uderzeniowych, zależnie od tego, z której strony płynnej powierzchni nieciągłości panuje wyższa temperatura (patrz [1] 3.7.4.).



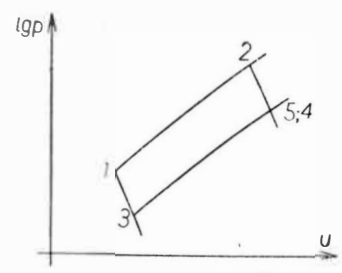
TL-4/59-R14



TL-4/59-R15



TL-4/59-R18



TL-4/59-R19

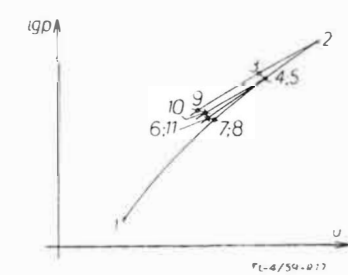
4.5. Zajmiemy się rozwiązywaniem przy pomocy wykresów W15 i W16 przypadków oddziaływania fal prostych na fale uderzeniowe.

Cały szereg przykładów można znaleźć w [1] p. 3.7.1. lub w [2]. Każdą falę rozrzedzeniową lub zgęszczeniową możemy w przybliżeniu zastąpić szeregiem nieciągłości parametrów gazu, zachowując siatkę niezmienników Riemanna.

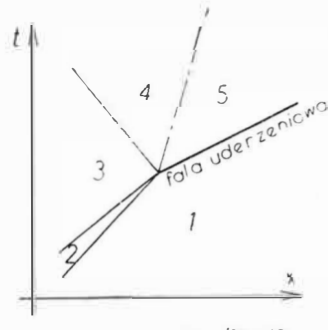
Rozpatrzmy oddziaływanie takiej pojedynczej fali prostej (izentropowej) z falą uderzeniową.



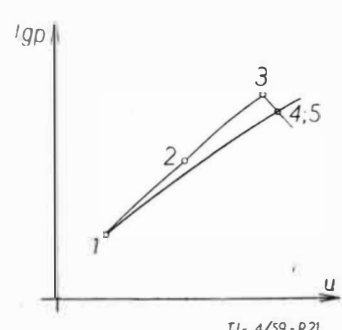
TL-4/59-R16



TL-4/59-R17



TL-4/59-R20



TL-4/59-R21

Gdy pojedyncza fala prosta dogoni falę uderzeniową, z punktu ich zejścia wyjdzie fala uderzeniowa o nieco zmienionym natężeniu, fala prosta odbita oraz linia odpowiadająca płynnej powierzchni nieciągłości (rys. 16).

W płaszczyźnie  $(x, t)$  narysujemy po odpowiedniej stronie kalki linie 1—2—5 według wykresu W15, linie 2—3 i 3—4 na punkcie 4, 5 (rys. 17). Na przecięciu linii 1—5 i 3—4 znajdzie-

Jeżeli za tą pojedynczą falą izentropową 2—3 idzie następna fala izentropowa 3—9 trzeba rozwiązać najpierw oddziaływanie tej fali z drugą falą prostą 3—4, a następnie z płynną powierzchnią nieciągłości 4—5. Z miejsca spotkania dwu pojedynczych fal prostych wychodzą dwie pojedyncze fale proste. Ze spotkania pojedynczej fali prostej z płynną powierzchnią nieciągłości wejdą dwie pojedyncze izentropowe fale rozdzielone płynną powierzchnią nieciągłości. Oddziaływanie powyższe można rozwiązać rysując przy pomocy wykresu W16 (dla znanych prędkości dźwięku przed każdą falą) linie odpowiadające stanom gazu za falą. Na przecięciu tych linii znajdujemy odpowiednie punkty i odczytujemy za każdym razem parametry za falą. Oddziaływanie fali 5—6 na falę uderzeniową znajdziemy podobnie jak poprzednio (rys. 17).

Oddziaływanie fali prostej na falę prostą i płynnej powierzchni nieciągłości na falę prostą można też łatwo rozwiązać (rozbijając te fale na szereg drobnych nieciągłości gazu) przy pomocy współrzędnych  $a, u$  według wykresu W3, a nawet obliczeniowo — obliczenia w tym przypadku są stosunkowo proste.

W ten sposób możemy rozwiązywać również przypadki ruchów nieustalonych w płynie, w którym entropia jest zmienna, lecz jest stała wzdłuż każdej linii ruchu. Zastępujemy ciągłą zmianę entropii szeregiem drobnych nieciągłości. Obszary o stałej entropii będą ograniczone dwoma blisko siebie leżącymi liniami ruchu.

Powyższa metoda pozwala rozwiązywać przypadki, gdy fala uderzeniowa spotyka falę prostą lub gdy ją dogania.

a szereg drobnych nieciągłości

Przy spotkaniu drobnej izentropowej fali nieciągłości z falą uderzeniową zmienia się nieco natężenie fali uderzeniowej, powstaje izentropowa fala przechodząca i płynna powierzchnia nieciągłości (rys. 18 i rys. 19).

Należy tylko pamiętać, że dogonienie się dwu drobnych izentropowych fal zgęszczeniowych spowoduje wytworzenie się fali uderzeniowej (rys. 20 i rys. 21).

W powyższej metodzie, im głębiej podzielimy falę prostą na drobne nieciągłości parametrów przepływu gazu (im wię-

cej będzie tych nieciągłości, a skok parametrów gazu na każdej z nich będzie mniejszy), tym nasze rozwiązanie będzie bliższe rzeczywistego przebiegu oddziaływań fal.

4.6. Można podać podobną metodę rozwiązywania wzajemnych oddziaływań skośnych fal izentropowych, uderzeniowych i powierzchni nieciągłości w ustalonym naddźwiękowym przepływie dwuwymiarowym. Wykonalibyśmy wtedy wykresy we współrzędnych logarytmu stosunku ciśnień

$$\lg \frac{p_2}{p_1} \text{ i przyrostu kąta } \theta \text{ pochylenia kierunku ruchu}$$

gazu względem ustalonego układu odniesienia (w płaszczyźnie  $x, y$ ). Mielibyśmy pęk linii dla różnych liczb Macha  $M_1$  przed falą. Na ten wykres można by też nanieść linie odpowiadające stałym liczbom Macha za falą. Parametry gazu z dwóch stron powierzchni nieciągłości gęstości, temperatury, entropii i składowej prędkości stycznej do powierzchni, odpowiadałyby na tej płaszczyźnie  $(\theta, \lg p)$  jednemu punktowi. Omówione zależności przedstawiają wykresy W13 i W14.

Rozwiązanie oddziaływań fal będziemy robić w dwu płaszczyznach:  $(x, y)$  i  $(\lg p, \theta)$ ; odrysujemy na kalce według wyżej omówionych wykresów siatkę linii dla przepływu w dwóch kierunkach (patrzac od opływającego ciała w kierunku płynu) odpowiednio po jednej lub drugiej stronie kalki. W ten sposób możemy rozwiązywać dowolne oddziaływanie fal całkowicie wykreślić, bez uciekania się do metody kolejnych przybliżeń.

5. Przejście fali uderzeniowej przez miejsce gwałtownej zmiany poprzecznego przekroju przewodu.

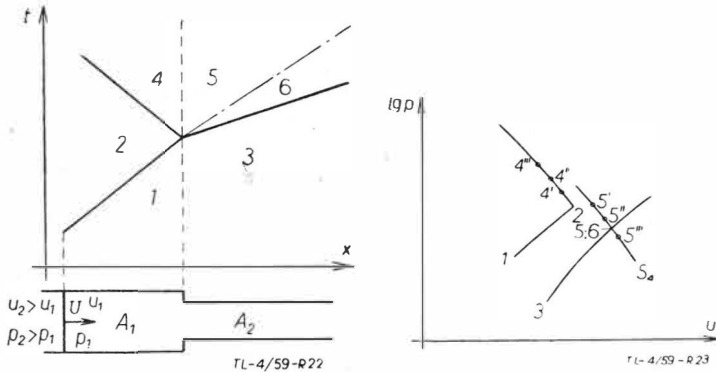
Różne przypadki powyższych przejść fali uderzeniowej można znaleźć w [1] p. 3.7.6. Są tam zależności, według których można obliczyć parametry gazu za falą przechodzącą i odbitą, a stąd obliczyć natężenie tych fal. Zależności te są uwikłane, rozwiązanie trzeba prowadzić metodą kolejnych przybliżeń lub wykreślić przy pomocy szeregu skomplikowanych obliczeń.

Zajmiemy się zastosowaniem poprzednio ułożonych nomogramów do wyznaczenia fali przechodzącej i odbitej.

Musimy sobie najpierw zdać sprawę, jaki w przybliżeniu będzie układ fal, przyjmując pewien układ i dla niego wykonując rozwiązanie. Jeżeli nie ma rozwiązania, to znaczy, że przyjęliśmy zły układ. Trzeba założyć inny układ fal i powtórzyć rozwiązanie. Do wyboru mamy najwyżej kilka możliwości. Może się zdarzyć, że będzie kilka rozwiązań, wtedy tylko doświadczenie może pokazać, które z nich jest słuszne.

5.1. Rozpatrzmy przypadek przejścia fali uderzeniowej przez miejsce gwałtownego zwężenia przewodu.

Założmy, że skutkiem dojścia fali uderzeniowej z punktu zmiany przekroju wychodzą dwie fale uderzeniowe w przeciwnych kierunkach i płynna powierzchnia nieciągłości (rys. 22).



Rozwiązanie wykonamy wykreślić na kalce w układzie współrzędnych  $(\lg p, u)$  (rys. 23).

Linie 1—2 rysujemy przykładając kalkę do wykresu W15. Punkt 3 znajdujemy odkładając parametry obliczone według zmiany prędkości i zmiany entropii (przy stałym  $a$ ) wziętych z wykresu W10.

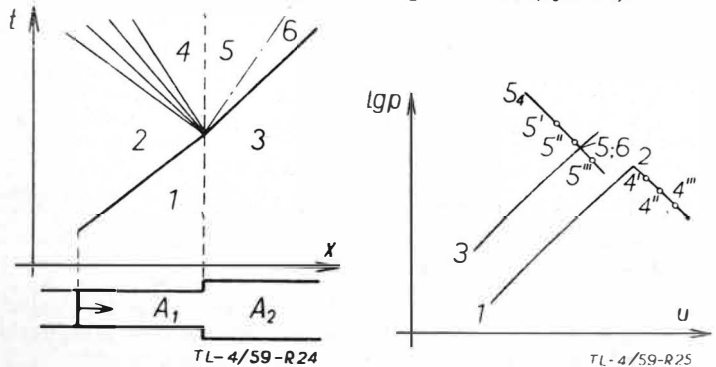
Linie 2—4 i 3—6 narysujemy według wykresu W15. Obszary 4 i 6 oddzielone są zmianą przekroju, obszarem 5 i płynną linią nieciągłości.

Zakładając kilka położeń punktu 4 na krzywej 3—4: 4', 4'', 4''' odczytujemy z wykresu  $(u, \lg p)$  parametry w tych punktach. Przy pomocy wykresu W10 (wykonując odpowiednie przeliczenia) znajdziemy parametry gazu w punktach 5', 5'', 5''', za zmianą przekroju odpowiadające parametrom gazu w punktach 4', 4'', 4''', przed zmianą przekroju.

Przez punkty 5', 5'', 5''' rysujemy linię 5<sub>4</sub> i na przecięciu tej linii z linią 3—6 znajdujemy punkt 6. Parametry przepływu w obszarze 4 obliczymy znowu według wykresu W10 dla znanych parametrów przepływu ze zmianą przekroju.

Przepływ przez zwężenie przewodu nie może być naddźwiękowy. Jeżeli by nam taki wyszedł z rozwiązania, musimy uzupełnić założony układ fal o falę uderzeniową, stojącą przed miejscem zwężenia przewodu.

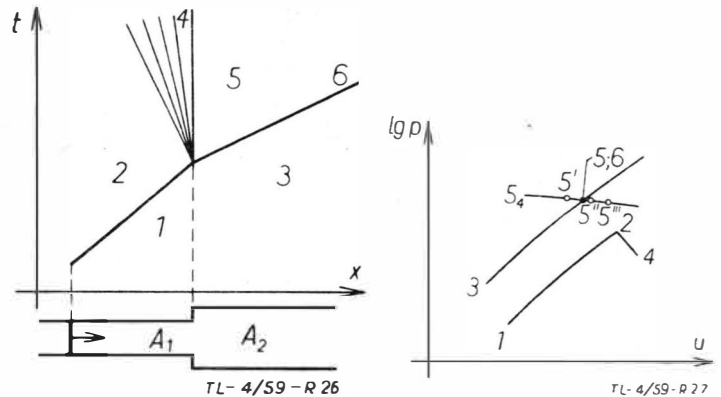
5.2. Podobnie możemy rozwiązać przejście fali uderzeniowej przez gwałtowne rozszerzenie przewodu (rys. 24).



Jeżeli prędkość przepływu gazu za falą padającą jest poddźwiękowa, falą odbitą będzie fala rozrzedzeniowa. Do wyznaczenia parametrów za tą falą korzystamy z wykresu W16, poza tym całe rozwiązanie prowadzimy tak samo jak w punkcie poprzednim (rys. 25).

Gdy prędkości za falą padającą są poddźwiękowe lub naddźwiękowe, lecz bliskie prędkości dźwięku, po przejściu fali w miejscu rozszerzenia przewodu może powstać stojąca prostopadła fala uderzeniowa. Jeżeli prędkość za falą padającą jest poddźwiękowa lub krytyczna, po odbiciu przepływ tuż przed rozszerzeniem przewodu jest krytyczny. Po przejściu rozszerzenia przepływ przechodzi w naddźwiękowy, nieco dalej jest stojąca fala uderzeniowa i przepływ przechodzi znowu w poddźwiękowy. Nie znamy przestrzennego układu fal i linii prądu, nie znane są więc straty w tym procesie.

Jeżeli prędkość za falą padającą jest mniejsza (ale bliska) prędkości dźwięku, parametry gazu za tą odbitą falą rozrzedzeniową znajdziemy łatwo z wykresu W16 zakładając, że parametry te muszą odpowiadać pionowej charakterystyce, a więc  $u = a$  (rys. 26).



Rozwiązanie wykonamy w układzie  $(\lg p, u)$  na kalce (rys. 27).

Zakładając pewną wielkość zmiany entropii między obszarami 4 i 5 możemy według wykresu W2 znaleźć parametry w obszarze 5. Na wykresie W2 odszukamy punkt na krzywej  $u = a$  (odpowiadający parametrom gazu przed rozszerzeniem), od tego punktu odłożymy w lewo wielkość  $\Delta A^*$  (obliczoną według danej zmiany przekroju i założonej zmiany entropii) i znajdziemy  $u_5$  oraz  $a_5$ . Mając  $a_4$ ,  $a_5$  i  $\Delta S$ , obliczymy  $p_5$ . Powtarzając obliczenie dla kilku różnych założonych zmian entropii znajdziemy kilka punktów 5', 5'', 5''', przez które przeprowadzimy linię 5<sub>4</sub>.

Parametry przepływu w obszarze 3 obliczamy według wykresu W10. Nanosimy na naszą kalkę punkt odpowiadający parametrom przepływu w obszarze 3. Przykładamy kalkę punktem 3 do początku układu współrzędnych wykresu W15 i odrysowujemy linię 3—6. Na przecięciu linii 5 z linią 3—6 znajdziemy punkt 6. Teraz możemy obliczyć parametry gazu w punktach 5 i 6.

Otrzymane rozwiązanie słuszne jest oczywiście tylko w założeniu, że po przejściu fali tworzy się ustalony przepływ przez miejsce rozszerzenia przewodu.

Może się okazać, że w rzeczywistości obszar prędkości naddźwiękowej zanika, przepływ jest nieustalony. Gdybyśmy wtedy znali czas zaniku odcinka naddźwiękowej prędkości, moglibyśmy założyć, że zanikanie tego odcinka spowoduje wysłanie fali rozrzedzeniowej lub zgęszczającej w jedną i drugą stronę. Wtedy obszar 5 będzie obszarem nieizentropowym. Stosując metodę różnic skończonych można by w tym przypadku określić parametry przepływu według wykresów W16 i W15.

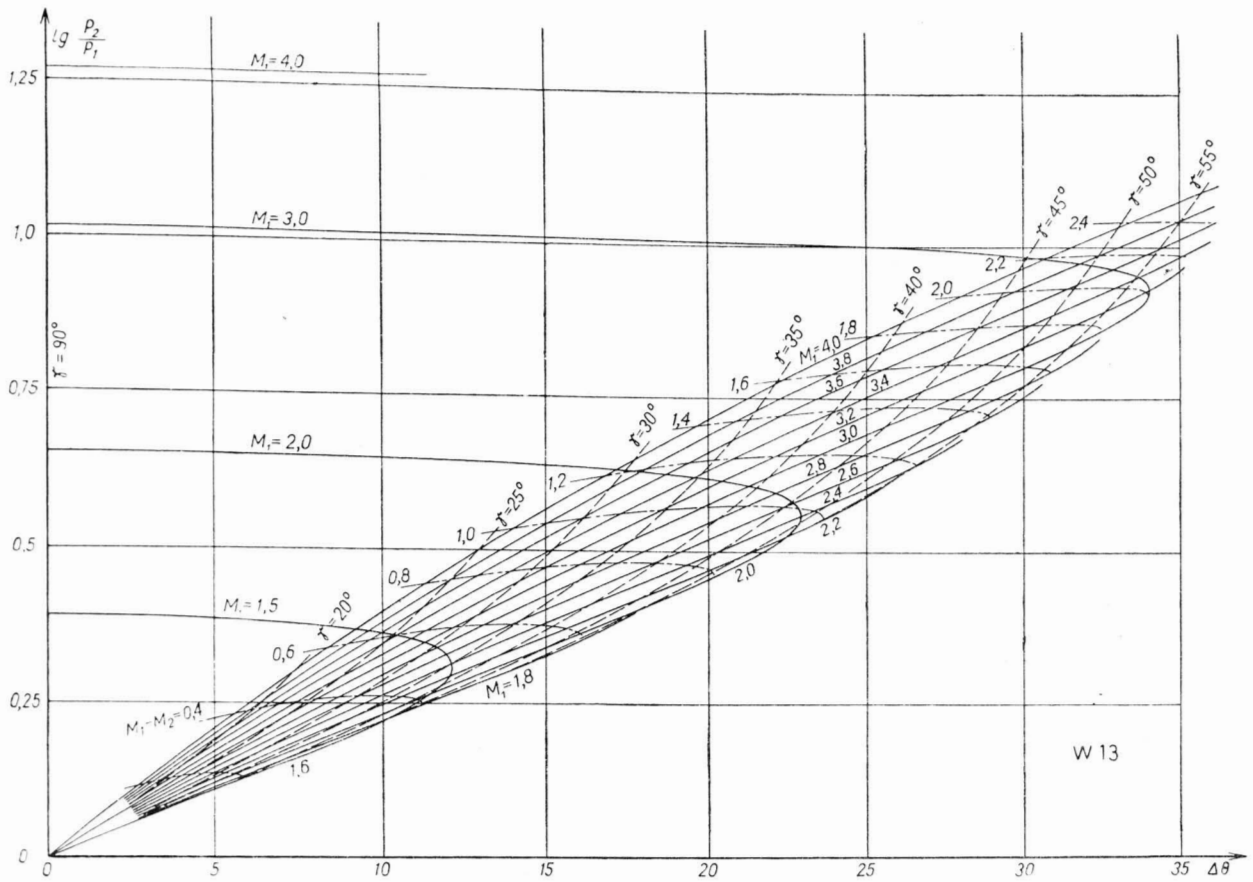
5.3. Jeżeli prędkość przepływu za falą uderzeniową dochodzącą do miejsca rozszerzenia przewodu jest dużo większa od prędkości dźwięku, powstają dwie fale przechodzące i między nimi płynna powierzchnia nieciągłości. Można by ściśle rozwiązać zadanie, gdybyśmy znali funkcję występującą przy obliczeniu przepływu naddźwiękowego przez gwałtowne rozszerzenie przewodów.

Łatwo możemy ten przypadek rozwiązać, nakładając izentropowość przepływu przez miejsce zmiany przekroju przewodu (rys. 28).

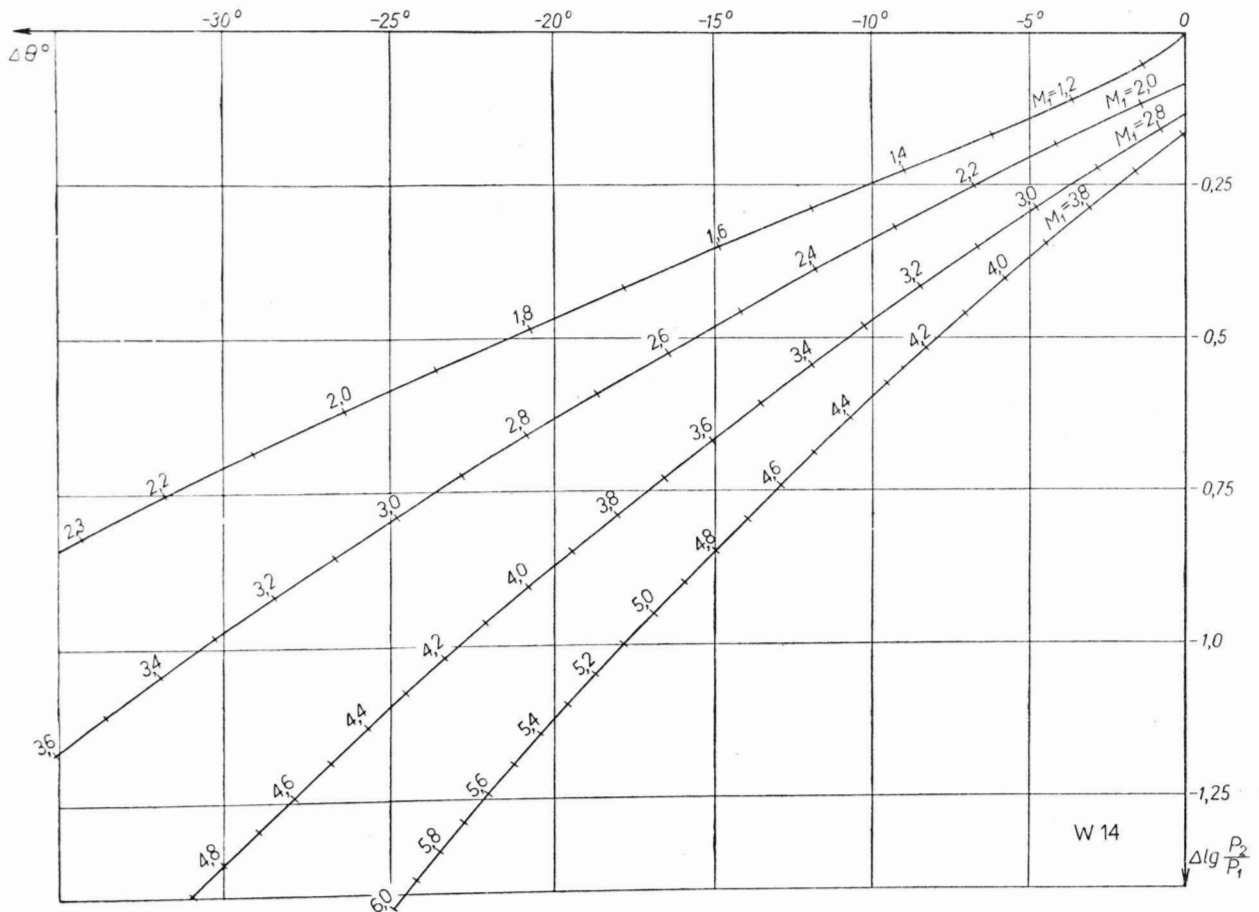
Parametry przepływu w punktach 3 i 5 obliczymy z równania energii.

Przejdźmy do układu współrzędnych  $(\lg p, u)$  (rys. 29).

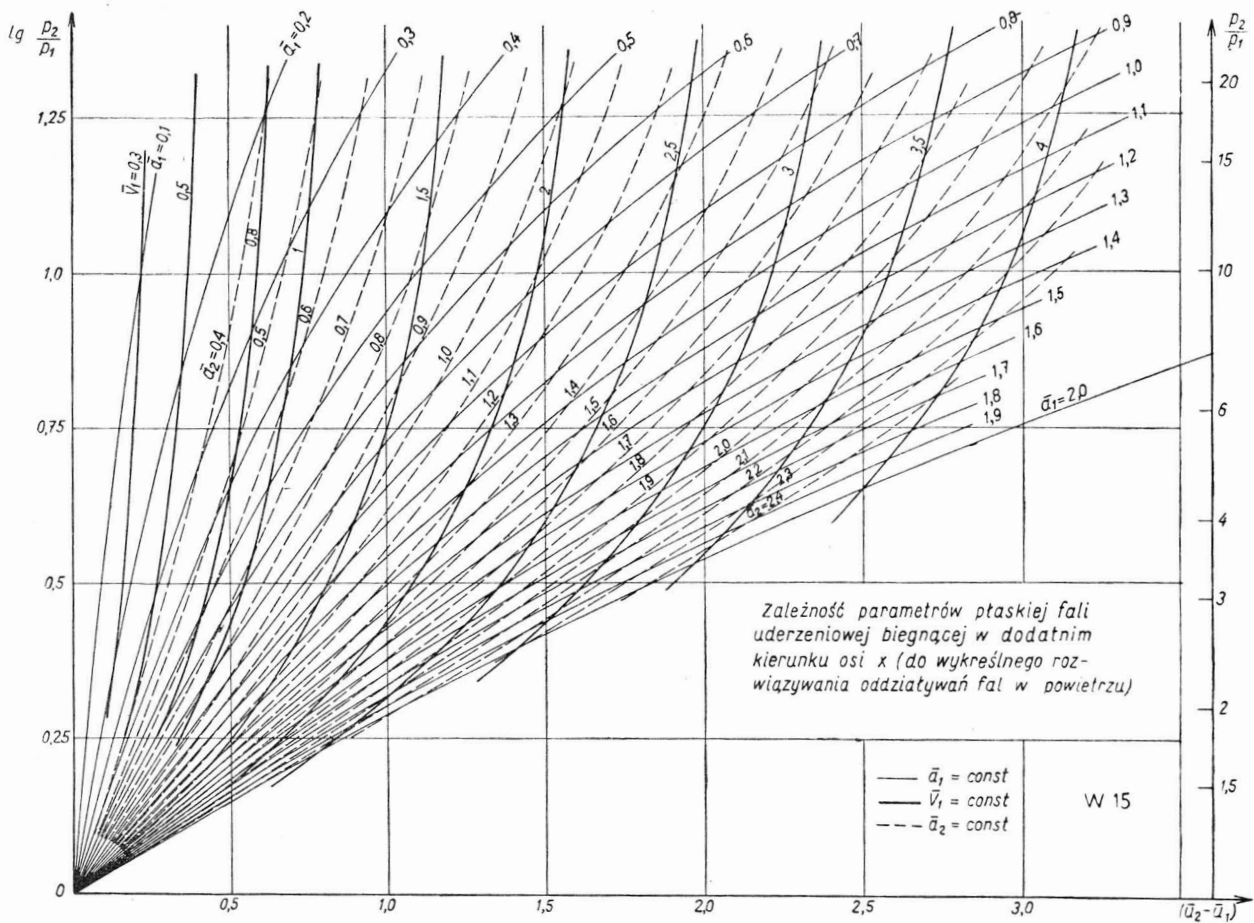




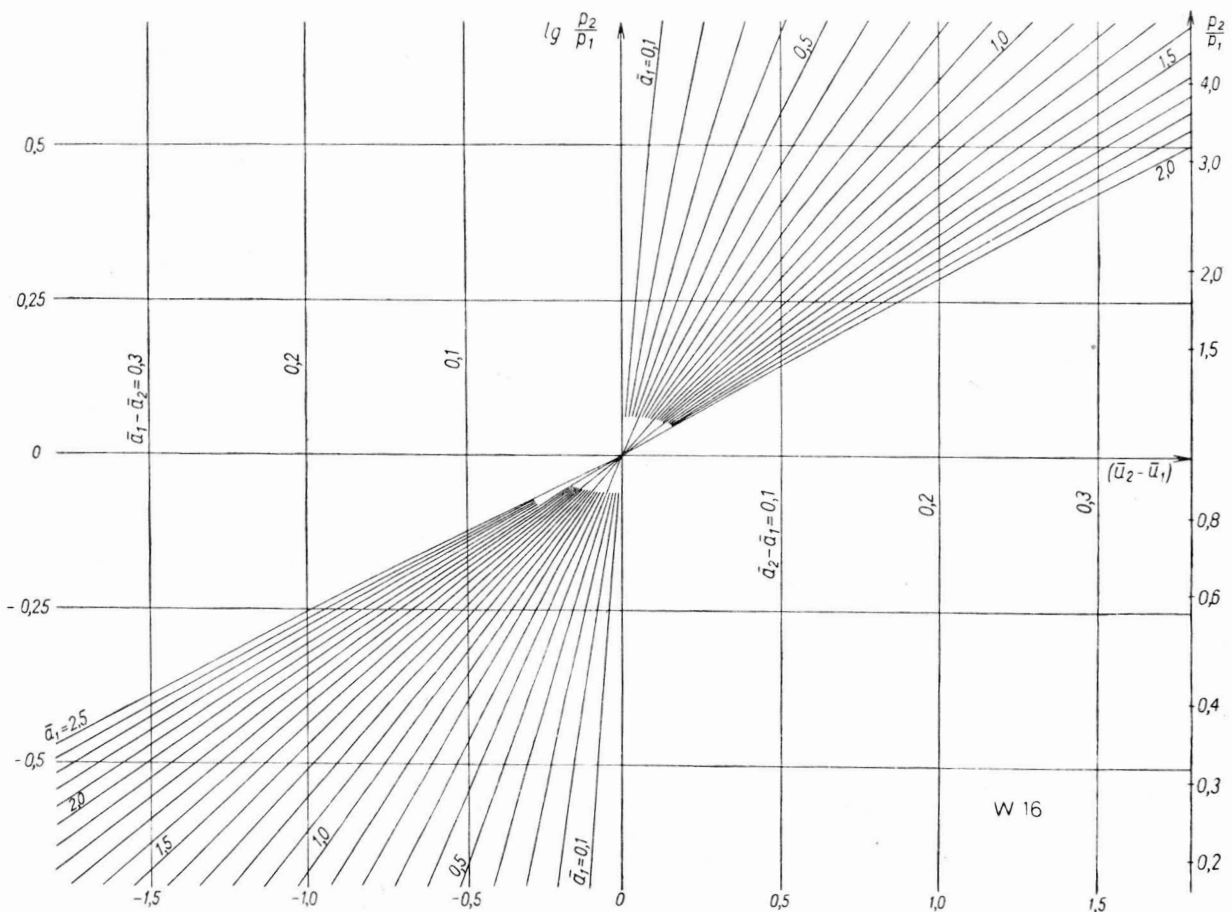
Rys. W13. Zależność parametrów fal uderzeniowych w dwuwymiarowym ustalonym naddźwiękowym przepływie powietrza (do wykresnego rozwiązywania oddziaływań fal)



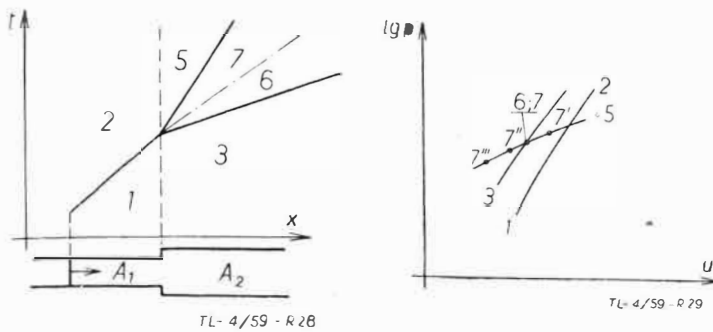
Rys. W14. Zależność parametrów fal rozrzedzeniowych i zgęszczeniowych w dwuwymiarowym ustalonym naddźwiękowym przepływie powietrza (do wykresnego rozwiązywania oddziaływań fal)



Rys. W15. Zależność parametrów płaskiej fali uderzeniowej, biegnącej w dodatnim kierunku osi x (do wykresnego rozwiązywania oddziaływań fal w powietrzu)



Rys. W16. Zależność parametrów fali prostej, biegnącej w dodatnim kierunku osi x (do wykresnego rozwiązywania oddziaływań fal w powietrzu)



Narysujemy na kalce linię 3—6 (dla znanej prędkości dźwięku przed falą) według wykresu W15. Przykładamy punkt 3 do początku układu współrzędnych tego wykresu i rysujemy odpowiednią linię.

Linię 5—7 znajdziemy dla znanej prędkości dźwięku za falą też z wykresu W15, lecz punkt kalki 5 będziemy przykładali do różnych punktów krzywej  $a_2$ , odrysowując punkty leżące nad początkiem układu współrzędnych  $7'$ ,  $7''$ ,  $7'''$ . Na spotkaniu linii narysowanej przez te punkty z linią 5—6 znajdziemy punkty 6; 7. Parametry gazu w obszarze 7 określimy przykładając kalkę punktem 7 do początku układu współrzędnych wykresu W15 i odczytując  $a_2$  w punkcie 5.

### Przykład 5

Spotkanie fali uderzeniowej z falą rozrzedzeniową.

Na obszar stojącego powietrza napływa fala uderzeniowa. Parametry gazu przed falą:  $\bar{a}_1 = 1$ ;  $u_1 = 0$ , intensywność fali

scharakteryzowana jest przez stosunek:  $\frac{V_1}{a_1} = 4,0$ , z drugiej

strony nadbiega fala rozrzedzeniowa, po której przejściu prędkość przepływu wzrasta do  $\bar{u} = 0,4$ . Rozbijamy falę rozrzedzeniową na dwie mniejsze fale, za pierwszą z tych fal bę-

dzicie:  $\frac{u_2}{a_1} = 0,2$ . Każdą z tych mniejszych fal będziemy trak-

tować jak drobną zmianę parametrów gazu i zastąpimy ją charakterystyką. Z miejsca spotkania takiej charakterystyki z falą uderzeniową wyjdzie nieco zmieniona fala uderzeniowa, fala rozrzedzeniowa oraz płynna powierzchnia nieciągłości (rys. 18).

Rozwiązanie wykonujemy w układzie współrzędnych ( $\lg p, u$ ) (rys. 19) na kalce technicznej. Nanosimy najpierw punkty 1 i 2 na tę kalkę przykładając ją do wykresu W15, odrysowując osie współrzędnych i wyszukując odpowiednie wartości. Punkt 2 znajdziemy na siatce wykresu W15 na przecięciu krzywych  $\frac{v}{a_1} = 4$  i  $\bar{a}_1 = 1$ . Możemy odczytać współ-

$$\frac{p^2}{p_1} = 18,9; \quad \bar{u}_2 = 3,123; \quad \bar{a}_2 = 2,014$$

rzędne punktu 2:

Teraz przyłożymy kalkę odwróconą na lewą stronę punktem 1 do początku układu współrzędnych wykresu W16 i odrysujemy punkt odpowiadający obszarowi 3 za falą rozrzed-

zeniową. Możemy znowu odczytać:  $a_3 = 0,96$ ;  $\lg \frac{p_3}{p_1} = -0,248$ .  
Na wykresach W15 i W16 wszystkie parametry gazu przed falą znaczone są 1, parametry za falą znaczone są 2. Oznaczenia w naszym zadaniu nie zgadzają się więc z tymi oznaczeniami. Przykładamy teraz kalkę (znowu prawą stroną) punktem 3 do początku układu współrzędnych wykresu W16, pamiętając o równoległym ustawieniu osi współrzędnych kalki i wykresu (najwygodniej narysować zawczasu na kalce linie równoległe do pierwotnych osi z punktu 3, a potem z każdego nowo nanoszonego punktu). Odrysowujemy część krzywej (w okolicy pkt. 1), na której leżą wszystkie możliwe parametry gazu za falą uderzeniową dla prędkości dźwięku przed falą  $a_3 = 0,96$ . Odwracamy znowu kalkę na lewą stronę i z punktu 2 rysujemy według wykresu W15 krzywą możliwych pa-

rametrów gazu za falą rozrzedzeniową dla  $\bar{a}_2 = 2,014$  przed falą. Na przecięciu dwóch ostatnich linii znajdziemy punkt 4, 5, o współrzędnych:

$$\bar{u}_4 = 3,378; \quad \lg \frac{p_4}{p_1} = 1,0186. \text{ Możemy teraz odczytać:}$$

$$\bar{a}_4 = 2,09 \text{ oraz } \bar{a}_5 = 2,01.$$

Można za każdym razem odczytywać wiele parametrów gazu, ale do dalszego rozwiązywania zadania potrzebny jest tylko odczyt  $\bar{a}$ .

Odwracamy kalkę na lewą stronę i nanosimy pkt. 6, odpowiadający obszarowi gazu za drugą nadbiegającą falą rozrzedzeniową. Nanosimy go na krzywej  $a = 1,0$  dla  $u_6 = 0,4$ .

Możemy odczytać:  $\lg \frac{p_6}{p_1} = 0,258$ ;  $\bar{a}_6 = 0,92$ . Odwracamy kal-

kę i z punktu 6 rysujemy według wykresu W15 linię dla  $\bar{a}_6 = 0,92$ . Odwracamy kalkę na lewą stronę i według wykresu W16 odrysowujemy linię dla  $\bar{a}_5 = 2,01$ . Na przecięciu tych

linii znajdujemy punkt o współrzędnych:  $\bar{u}_7 = 3,637$ ;  $\lg \frac{p_7}{p_1} =$

$$= 1,104. \text{ Możemy odczytać } \frac{V_6}{a_1} = 3,752, \text{ narysować przebieg}$$

fali uderzeniowej korzystając z zależności:  $U = u + V$ .

Obliczamy:

$$U_1 = V_1 = 4,0; \quad \bar{U}_3 = 0,2 + 3,88 = 4,08; \quad \bar{U}_6 = 0,4 + 3,752 = 4,152$$

### Przykład 6

Przejsie silnej fali uderzeniowej przez miejsce raptownej zmiany przekroju przewodu.

Niech do miejsca rozszerzenia przewodu o wielkości  $\ln \frac{A_2}{A_1} = 0,3$  nadbiegnie fala o intensywności  $\frac{V}{a_0} = 2,5$ . Przed

tą falą:  $\bar{u}_1 = -0,5$ ;  $\bar{a}_1 = 1,0$ .

Rysujemy na kalce technicznej układ współrzędnych ( $\lg p, u$ ) i nanosimy pkt. 1. Przykładając kalkę punktem 1 do początku układu współrzędnych wykresu W15 na przecięciu linii  $\bar{V} = 2,5$  i  $\bar{a}_1 = 1,0$  znajdujemy pkt. 2. Jego współrzędne

na kalce będą:  $\lg \frac{p_2}{p_1} = 0,855$ ;  $\bar{u}_2 = 1,253$ . Możemy jeszcze

odczytać  $\bar{a}_2 = 1,463$ , obliczamy  $M_2 = \frac{u_2}{a_2} = \frac{1,253}{1,465} = 0,855$ .

Przepływ za falą padającą jest poddźwiękowy, z miejsca zmiany przekroju wychodzi odbita fala rozrzedzeniowa i przechodząca uderzeniowa (porównaj rysunek 24). Mając  $M_1 =$

$= 0,5 = \frac{|u_1|}{a_1}$  odczytamy z wykresu W4 odpowiadający mu

współczynnik prędkości:  $\lambda_1 = 0,538 = \frac{u_1}{a_*}$ . Przed nadejściem

fali gaz przepływał w kierunku od większego przekroju do mniejszego, czyli w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu padającej fali. Prędkość przepływu jest duża, więc możemy skorzystać z wykresu W11, zakładając, że  $\lambda_3 > 0,3$  i odczy-

tać:  $\frac{\Delta S}{c_p - c_v} = 0,0548$  dla  $\frac{A_2}{A_1} = 0,3$ . Aby znaleźć  $\lambda_3$  mo-

żemy posłużyć się wykresem W7 (dla  $k = 1,4$ ). Odkładamy w lewo od punktu odpowiadającego  $\lambda_1 = \hat{u}_1 = 0,538$  wiel-

kość:  $\Delta A' = -\ln A + \frac{\Delta S}{c_p - c_v} = 0,3548$  odczytujemy:

$$\lambda_3 = \hat{u}_3 = \left| \frac{u_3}{a_*} \right| = 0,382; \quad \hat{a}_3 = \frac{a_n}{a_*} = 1,085 \quad \lambda_3 \text{ okazało się większe}$$

od 0,3, czyli nasze założenie było słuszne. Obliczymy teraz

prędkość i ciśnienie w obszarze 3.  $a$  jest w obszarach 1 i 3 jednakowe, możemy więc napisać:

$$\bar{u}_3 = \lambda_3 \cdot \frac{a_*}{a_0}; \quad \bar{a}_3 = \hat{a}_3 \cdot \frac{a_*}{a_0} \quad \text{gdzie} \quad \frac{a_*}{a_0} = \frac{\bar{u}_1}{\lambda_1} = \frac{0,5}{0,538} = 0,93$$

$$\bar{u}_3 = 0,382 \cdot 0,93 = 0,3554; \quad \bar{a}_3 = 1,085 \cdot 0,93 = 1,009$$

$$\frac{p_3}{p_1} = \left(\frac{a_3}{a_1}\right)^{\frac{2k}{k-1}} \cdot \frac{s_1 - s_3}{e^{c_p - c_v}}$$

$$\lg \frac{p_3}{p_1} = \frac{2k}{k-1} \lg \frac{a_3}{a_1} + \frac{S_1 - S_3}{c_p - c_v} \lg e = 7 \lg 1,009 + \frac{0,0548}{2,3} = 0,0518$$

Przyłożymy kalkę punktem 3 do początku układu współrzędnych wykresu W15 i odrysujemy dla  $a_3 = 1,009$  (przed fa-  
łą linię, na której mogą leżeć wszystkie możliwe parametry z wykresu W4-5 dla  $\lambda_3''' = 0,796$  znajdujemy:  $\hat{a}_3''' = 1,0361$ .  
Z wykresu W16 znajdziemy linię dla  $a_2 = 1,465$ , na której leżą wszystkie możliwe parametry gazu za odbitą falą rozrzedzeniową. Na tej linii oberzemy punkt 4' (porównaj rys. 25), zakładając, że odpowiada on parametrom gazu za falą odbitą.

Niech  $\bar{u}_4' = 1,753$ ;

$$\text{Odczytujemy: } \lg \frac{p_1'}{p_1} = \lg \frac{p_1'}{p_2} + \lg \frac{p_2}{p_1} = 0,639; \quad \bar{a}_4' = \bar{a}_2 - 0,2(\bar{u}_4' - \bar{u}_2) = 1,365$$

$$\text{Obliczamy } M_4' = \frac{u_4'}{a_1'} = \frac{1,753}{1,365}; \quad \text{otrzymaliśmy przepływ}$$

naddźwiękowy za falą odbitą, co jest niemożliwe, ponieważ wytworzyć się tam może co najwyżej przepływ krytyczny, któremu odpowiada pionowa charakterystyka w układzie  $(x, t)$ . Wynika z tego, że założona przez nas fala odbita była zbyt wielka.

Niech teraz:  $\bar{u}_4'' = 1,403$ . Odczytujemy według wykresu W15:  $\bar{a}_4'' = 1,435$   $\lg \frac{p_1''}{p_0} = 0,791$ ; Obliczamy:  $M_4'' = \frac{1,403}{1,435} = 0,978$ .

Z wykresu W4 bierzemy  $\lambda_4'' = 0,974$ ; Zmianę entropii między obszarami 4'' i 5'' odczytamy z wykresu W10 dla  $\lambda_4'' = 0,974$  i  $\Delta \ln A = 0,3$  (po odejściu fali przechodzącej i odbitej przepływ jest znowu ustalony).

$$\text{Odczytaliśmy: } \frac{\Delta S}{c_p - c_v} = 0,139; \quad \lambda_5'' - \lambda_4'' = -0,182$$

$$\text{Obliczamy: } \lambda_5'' = 0,852$$

$$\text{Z wykresu W4-5 dla } \lambda_5'' = 0,852 \text{ znajdujemy: } \hat{a}_5'' = 1,0262$$

$$\text{Obliczamy: } \bar{a}_5'' = \hat{a}_5'' \cdot \frac{\bar{u}_1''}{\lambda_4''} = 1,478$$

Ciśnienie w punkcie 5'' obliczymy ze wzoru:

$$\lg \frac{p_5''}{p_1} = \lg \frac{p_5''}{p_1''} + \lg \frac{p_1''}{p_1} = \lg \frac{p_1''}{p_1} + \left( \frac{2k}{k-1} \lg \frac{a_5''}{a_1''} + \frac{S_1'' - S_3''}{c_p - c_v} \lg e \right)$$

$$\lg \frac{p_5''}{p_1} = 0,791 + 7 \lg \frac{1,478}{1,453} - \frac{0,139}{2,303} = 0,8217$$

Nanosimy na naszą kalkę punkt 5''. Okazuje się, że leży on poniżej krzywej stanów gazu za przechodzącą falą uderzeniową. Znaczy to, że założona przez nas prędkość w obszarze 4'' jest zbyt wielka, a ciśnienie zbyt małe (w przeciwnym przypadku musielibyśmy dalsze obliczenia prowadzić według schematu przedstawionego na rys. 26 i rys. 27).

Założmy, teraz, że  $\bar{u}_4''' = 1,303$ ; odczytujemy:  $\bar{a}_4''' = 1,455$ ;

$$\lg \frac{p_1'''}{p_1} = 0,833; \text{ obliczamy: } M_4''' = \frac{1,303}{1,455} = 0,895$$

Z wykresu W4-5 bierzemy:  $\lambda_4''' = 0,912$ . Z wykresu W10

$$\text{dla } \Delta \ln A = 0,3 \text{ odczytujemy: } \frac{\Delta S}{c_p - c_v} = 0,128; \quad \lambda_5''' - \lambda_4''' = -0,116$$

$$\text{Obliczamy: } \lambda_5''' = 0,912 - 0,116 = 0,796; \quad u_5''' = \lambda_5''' \frac{\bar{u}_1'''}{\lambda_4'''} =$$

Obliczamy:  $\bar{a}_5''' = \hat{a}_5''' \cdot \frac{\bar{u}_1'''}{\lambda_4'''} = 1,478$

$$\lg \frac{p_5'''}{p_1} = 0,833 + \left( 7 \lg \frac{1,480}{1,455} - \frac{0,128}{2,3} \right) = 0,8285$$

Nanosimy na kalkę pkt. 5'''. Okazuje się, że leży on ponad krzywą stanów gazu za przechodzącą falą uderzeniową.

Jeżeli pokryjemy początkiem układu współrzędnych wykresu W15 z punktem 3 kalki, wtedy punkty 5'' i 5''' będą miały współrzędne:

$$\bar{u}_5'' - \bar{u}_3 = 1,5844; \quad \lg \frac{p_5''}{p_3} = 0,77$$

$$\bar{u}_5''' - \bar{u}_3 = 1,4944; \quad \lg \frac{p_5'''}{p_3} = 0,7767$$

według siatki wykresu W15. Na przecięciu linii łączącej punkty 5'' i 5''' z linią dla  $\bar{a}_3 = 1,009$  (na której tylko leżeć mogą parametry gazu za przechodzącą falą uderzeniową) znajdziemy punkt 5,6 o współrzędnych  $\bar{u}_6 - \bar{u}_3 = 1,548$ ;

$$\lg \frac{p_6}{p_3} = 0,774.$$

Zadanie zostało rozwiązane, możemy teraz poodczytywać lub poodliczać parametry gazu we wszystkich obszarach. Na przykład:

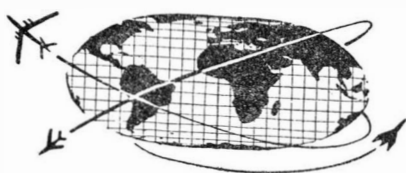
$$\bar{u}_6 = 1,1926; \quad \lg \frac{p_6}{p_1} = 0,8258; \quad V_3 = 2,295$$

Prędkość rozchodzenia się przechodzącej fali uderzeniowej obliczymy ze wzoru:

$$U = V_3 + \bar{u}_3 = 2,295 + 0,3554 = 1,9396$$

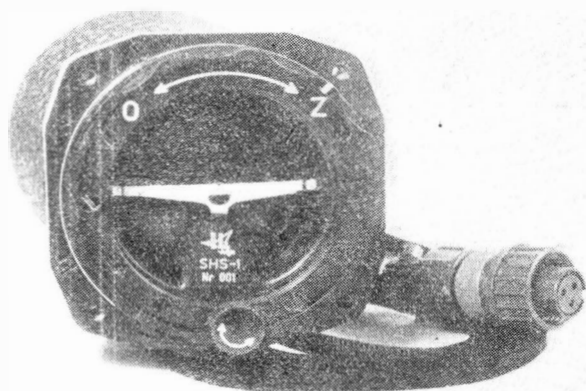
#### WYKAZ LITERATURY

- [1] J. Rościszewski: Aerodynamika stosowana. 1957 r.
- [2] J. Rościszewski: O metodach obliczania wzajemnego oddziaływania fali rozrzedzeniowej i fali uderzeniowej (Rozprawy Inżynierskie, nr 2, 1957 r.)



## NOWOŚCI TECHNICZNE

W Zakładzie Osprzętu Samolotów Instytutu Lotnictwa opracowano nowy małowymiarowy sztuczny horyzont typu S. H. S.—1 dla celów szybownictwa i lotnictwa słabosilnikowego. Przyrząd oparty jest na zasadzie konwencjonalnego układu sztucznego horyzontu nieakrobacyjnego, pozwalającego na kontrolę kątów przechylenia i pochylenia w zakresie  $\pm 70^\circ$  względem pionu. Napęd, który stanowi silnik asynchroniczny, klatkowy, zasilany jest prądem zmiennym trójfazowym o napięciu 36 V i częstotliwości 400 Hz. Taki rodzaj napędu zapewnia wysokie obroty wirnika giroskopu.



Przyrząd posiada pneumatyczny system korekcji, pozwalający na stosowanie przyrządu w zakresie wysokości lotu od 0 do 7000 m. Strumień powietrza w systemie korekcji wytworzony jest przez turbinę odśrodkową, stanowiącą konstrukcyjną całość z wirnikiem giroskopu. System korekcji jest wyłączany w czasie krążenia przy kątach przechylenia większych niż  $14^\circ$ , co ogranicza błąd przyrządu w czasie krążenia. Wyłączanie korekcji odbywa się dzięki oryginal-

nemu ukształtowaniu zasłonek korekcyjnych, co pozwala na bezpośrednie reagowanie wyłącznika korekcji na przyspieszenie odśrodkowe, powodujące błędy w krążeniu. Blokiowanie ramek zawieszenia giroskopu odbywa się przez obrót pierścienia blokującego na czołowej części przyrządu z położenia „G” (odblokowany) do położenia „Z” (zablokowany). Oryginalna również jest konstrukcja urządzenia blokującego, pozwalająca na maksymalne zmniejszenie średnicy puszek przyrządu.

Wygląd zewnętrzny sztucznego horyzontu S. H. S.—1 przedstawia zamieszczona fotografia. A oto podstawowe dane techniczne przyrządu:

Zakres pomiarowy wychyleń —

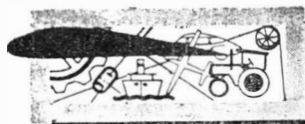
dla kątów pochylenia . . . . .	$\pm 70^\circ$
dla kątów przechylenia . . . . .	$\pm 70^\circ$
kąt nieczułości . . . . .	$\pm 1^\circ$
kręt wirnika . . . . .	750 Gcm/sek
obroty wirnika . . . . .	23 tys. obr/min
napęd elektryczny . . . . .	$\sim 3f, 36 V, 400 Hz$
pobór prądu . . . . .	130 mA na fazę
czas rozruchu . . . . .	2 min
zakres temperatur pracy . . . . .	od $-60^\circ C$ do $+50^\circ C$
zakresy wysokości lotu . . . . .	od 0 m do 7000 m
ciężar . . . . .	800 G

Wymiary zewnętrzne —

średnica puszek . . . . .	$\phi 83$ mm
średnica przedniej części puszek (otworu w tablicy przyrządów) . . . . .	$\phi 80$ mm
długość przyrządu . . . . .	138 mm

Przyrząd S. H. S.—1 przeznaczony jest do współpracy z przetwornicą tranzystorową, zasilaną z sieci pokładowej o napięciu 12 V. Opracowania przetwornicy podjęła się Katedra Podstaw Telekomunikacji Politechniki Warszawskiej. Przyrząd może również współpracować ze stosowanymi dotychczas przetwornicami wirującymi.

*Mgr inż. JANUSZ MORAWSKI*

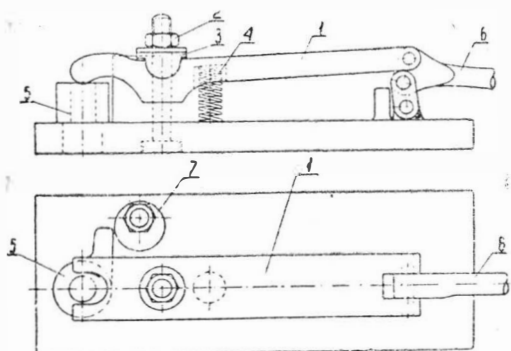


## PRZEGLĄDAMY USPRAWNIENIA

### Uchwyt do szybkiego mocowania obrabianych przedmiotów podczas wiercenia

(Kl. 49 a; Nr OU-1153; Z. Nr 41) Kurt Mueller (NRD)

Dotychczasowy sposób mocowania małych odlewów z piastami do wiercenia lub rozwiercania w nich otworów polegał na stosowaniu podkładek, płytek i śrub. Wadą tego sposobu mocowania była pracochłonność wynikająca z konieczności doboru odpowiednich podkładek, stosownie do wysokości piasty mocowanego odlewu, oraz nakręcania nakrętek.



W celu skrócenia do minimum czasu mocowania wierconych przedmiotów zastosowano w myśl udoskonalenia uchwyt

umożliwiający szybkie mocowanie przedmiotów, zaopatrzonych w piasty o wysokości 20—60 mm.

Ustawienia na potrzebną wysokość ramienia dociskowego płytki 1 dokonuje się nakrętką 2 i ruchomą podkładką półkulistą 3, przy czym dociskający koniec płytki 1 przy odkręcaniu nakrętki jest podnoszony ku górze sprężyną 4. Mocowany przedmiot 5 wkłada się do uchwytu po uprzednim podniesieniu wolnego końca dźwigni 6. Przez lekkie dokręcenie nakrętki 2 dokonuje się mocowania wstępnego. Zamocowanie ostateczne uzyskuje się przez naciśnięcie w dół dźwigni 6. Zapadka 7 regulowana mimośrodowo służy do zabezpieczenia wierconego przedmiotu przed obracaniem się.

### Sposób wytwarzania mieszanek polichlorowinyłowych

(Kl. 21 c; Nr OU-1191; Z. Nr 43) mgr Henryk Roznerski, mgr Józef Zak

Plastyfikat polichlorowinyłowy plastyfikowany ftalanami cechuje się dużą wodochłonnością, sięgającą do 20%. Właściwość ta jest niepożądana szczególnie w wyrobach izolacyjnych, przeznaczonych dla kablownictwa.

Do mieszanek stosowane są również stearyna i воск syntetyczny działające jako smary. Według udoskonalenia opracowano sposób wytwarzania mieszanek polichlorowinyłowych, według którego zastępuje się woskiem lanolinowym dotychczas używane woski syntetyczne i stearynę, a częściowo również ftalany.

Stwierdzono, że воск lanolinowy zmniejsza kilkakrotnie wodochłonność mieszanki. Produkty otrzymane z mieszanki

w skład której wchodzi wosk lanolinowy, mają ładny wygląd zewnętrzny i dobre właściwości mechaniczne.

Poniżej podano przykłady wytwarzania mieszanek polichlorowinyłowych sposobem według udoskonalenia, przy czym receptura podana została w proporcjach ciężarowych.

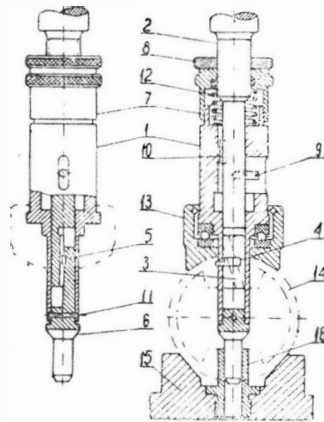
Przykład 1 : 60 części polichlororku winylu, 37 części ftalanu AH i 0,01 części mocznika miesza się ze sobą przy jednoczesnym dodawaniu wosku lanolinowego w liczbie 3 części, po czym mieszaninę walcuje się w temperaturze 160°C.

Przykład 2 : 64 części polichlororku winylu, 33 części palatolu, 3 części wosku lanolinowego i 0,01 części mocznika podaje się przeróbce jak w przykładzie 1.

### Przyrząd do wytaczania na wiertarce rowków w otworach tłoków

(Kl. 49 a; Nr OU-1200; Z. Nr 43) Gerhard Schneider (NRD)

Przy seryjnej produkcji tłoków, rowki do osadzania pierścieni zabezpieczających sworzeń tłokowy przed przesuwaniem się w otworze wykonywano dotychczas na tokarce, co wymaga dużo czasu na ustawienie i zamocowania tłoka; sprawność obrabiarki była przy tym tylko w małym stopniu wykorzystana. W celu odciążenia tokarki i skrócenia czasu obróbki zastosowano w myśl udoskonalenia przedstawiony na rysunku przyrząd, umożliwiający wytaczanie wspomnianych rowków na wiertarce.



Przyrząd składa się z kadłuba 1 w kształcie tulei z podłużnym rowkiem na wpust i z przesuwnej sworzni 2, posiadającego na górnym końcu uchwyt do zamocowania w wiertarce, a na dolnym końcu podłużne ścięcie; na tym ścięciu znajduje się pod kątem względem osi występ 3, służący do przesuwania noża 4. Nóż ten, osadzony suwliwie w rowku 5, prostopadłym do osi, wykonanym na płaszczyźnie ścięcia czopa 6, jest przesuwany w tym rowku występem 3 podczas przesuwania się w otworze kadłuba 1 sworzni 2 względem czopa 6, przy czym ostrze noża wysuwa się z otworu w ścianie kadłuba. Wielkość wysuwania się noża z kadłuba, odpowiadająca głębokości wytaczanego rowka, nastawia się za pomocą nakrętki 7 i przeciwnakrętki 8. Nakrętka 7, przesuwając się wraz ze sworzniem 2 do oparcia o kadłub, ogranicza dalszy posuw sworzni wraz z nożem. Podłużny ruch sworzni w kadłubie ogranicza wkręt 9.

Sworznię jest zaopatrzony we wpust 10 zabezpieczający go przed obracaniem się w kadłubie. Czop 6 jest zamocowany w kadłubie wkretem 11. Sprężyna 12 służy do cofania noża. Na kadłubie 1 jest osadzony w kulkowych łożyskach przycisk 13, który podczas pracy przyrządu opiera się o boczną powierzchnię tłoka i utrzymuje stałą odległość wytaczanego rowka od tej powierzchni.

Obrabiany tłok 14 umieszcza się w pryzmie 15, zaopatrzonej w tulejkę prowadzącą 16 i nie wymaga dodatkowego umocowania. Przyrząd zamocowuje się we wrzecionie wiertarki, które nadaje mu ruch obrotowy. Nacisk wrzeciona pokonywujący opór sprężyny 12 i przesuwający sworznię 2 w kadłubie powoduje posuw noża 4 podczas wytaczania rowka.

Czas wytaczania rowka za pomocą przyrządu na wiertarce jest o 65% krótszy niż czas zużywany dotychczas.

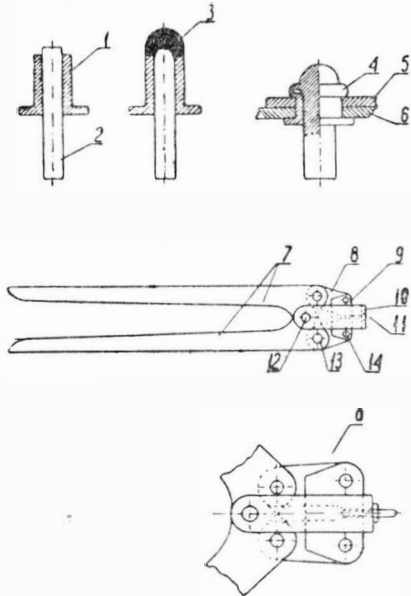
### Sposób nitowania w miejscach trudno dostępnych

(Kl. 49 g; Nr OU-1202; Z. Nr 43) inż. Wilhelm Gibalka

W razie potrzeby nitowania w miejscach trudno dostępnych lub niedostępnych, np. przy wykonywaniu płatów i usterzeń samolotów krytych blachą, zakładanie zwykłych nitów i roz-

klepywanie ich dla uformowania łba najczęściej jest niewykonalne.

Sposób nitowania według udoskonalenia, polegający na zastosowaniu przedstawionych na rysunku specjalnych nitów i przyrządu do nitowania, nie wymaga przyproru nitowniczego, gdyż wkładanie nitu do otworu oraz zanitowywanie go jest dokonywane od strony zewnętrznej. Nit do nitowania bez przyproru składa się z dwóch części: rurki 1 z kołnierzem i rdzenia 2 w postaci odcinka drutu stalowego odpowiedniej grubości i długości. Końce obydwóch części są ze sobą połączone spoiną 3. Nitowanie, polegające na formowaniu łba 4 na części rurkowej nitu od niedostępnej strony nitowanych blach 5 i 6, następuje wskutek poosiowego zginięcia rurkowej części nitu przez odpowiednią siłę nacisku wywołwanego wyciągnięciem rdzenia 2 za pomocą przyrządu do nitowania, przy jednoczesnym odpowiednim nacisku na kołnierz nitu od strony zewnętrznej.



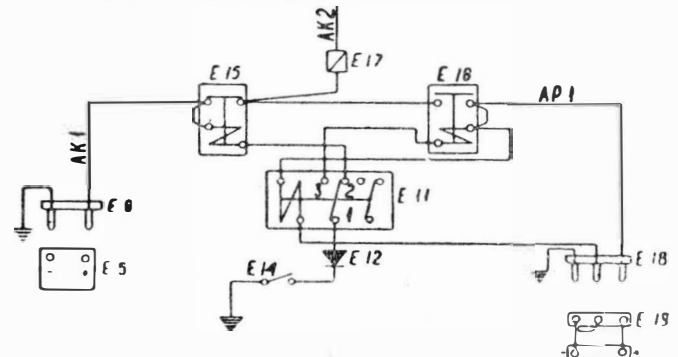
Przyrząd do nitowania składa się z dwóch dźwigni 7, dwóch szczęk 8, dwóch płytek 9, przyproru 10 zaopatrzonego w otwór 11 dla przejścia rdzenia nitu oraz sworzni 12, 13 i 14 łączących elementy przyrządu w jedną całość.

Podczas rozchylania dźwigni 7 następuje rozwieranie się szczęk 8 i wysuwanie ich do oparcia o ściankę przyproru 10, jak to uwidoczniło na rysunku, szczegół a. Zwieranie dźwigni 7 powoduje zwieranie się szczęk 8 i cofanie ich od czoła przyproru. Dzięki takiemu ruchowi szczęk, rdzeń nitu zostaje mocno uchwycony przez szczęk przyrządu, a następnie wyciągany za pomocą cofających się szczęk podczas zwierania ramion dźwigni 7. Wyciąganie nitu przy jednoczesnym nacisku od zewnątrz przyproru 10 na kołnierz rurki 2, dokonuje spęcznienia tej rurki i formowania na niej łba 4.

Po zanitowaniu i zdjęciu przyrządu wystający rdzeń nitu obcina się. Długość nitu powinna być dostosowana do grubości nitowanych elementów.

### Skrzynka przekaźnikowa o uproszczonym układzie do dołączania akumulatora pokładowego i lotniskowego

(Kl. 21 c; Nr 1216; Z. Nr 44) Zdzisław Jurek



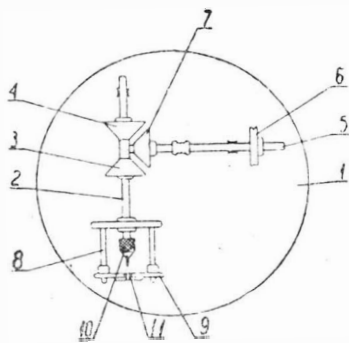
Skrzynka przekaźnikowa służy do włączania i odłączania akumulatora pokładowego samolotu lub akumulatora lotni-

skowego. W przypadku błędnego połączenia biegunów akumulatora pokładowego lub lotniskowego, akumulator nie zostanie włączony do instalacji samolotu. Poza tym jest wykluczona praca jednoczesna obu tych akumulatorów. Udoskonalenie polega na zastosowaniu w układzie zamiast trzech przełączników typu RP2 — tylko jednego przełącznika tego typu, przy czym przeznaczenie i cel zastosowania skrzynki pozostają te same. Układ pozwala również na zastosowanie tylko jednego prostownika. Na rysunku przedstawiono ten uproszczony układ skrzynki przełącznikowej, zawierający przełącznik E 11 typu RP2, wyłącznik E 14, dwa zwieracze E 15 i E 16, bezpiecznik E 17 (na przewodzie prowadzącym do głównego obwodu sieci pokładowej) oraz wtyczki E 6 i E 18, służące do dołączania układu do akumulatora pokładowego E 5 lub do akumulatora lotniskowego E 19.

Po włożeniu wtyczki do gniazda akumulatora pokładowego E 5 i włączeniu wyłącznika E 14 popłynie prąd od bieguna dodatniego przez przewód AK 1, uzwojenie zwieracza E 15, styki 1 i 2 przełącznika E 11, prostownik E 12, wyłącznik E 14 i masę samolotu do ujemnego bieguna akumulatora E 5. Prąd przepływający przez uzwojenie zwieracza E 15 spowoduje jego zadziałanie, na skutek czego styki tego zwieracza zostaną zwarte, a więc biegun dodatni akumulatora pokładowego zostanie połączony za pośrednictwem przewodu AK 2 z obwodem zasilającym instalację pokładową.

Po włożeniu wtyczki E 18 do akumulatora lotniskowego E 19, popłynie prąd przewodem AK 1 przez zaciski zwieracza E 16 i uzwojenie przełącznika E 11 do drugiego bieguna akumulatora, przez co styki 1 i 2 przełącznika zostaną rozłączone (odłączenie akumulatora pokładowego), a połączone ze sobą styki zostaną 1 i 3 przełącznika, a więc zostanie zamknięty obwód cewki zwieracza E 16. Zwieracz E 15 rozłączy swe styki. Zwieracz E 16 natomiast przyciągając zworek zewzrze swoje styki i połączy akumulator lotniskowy z głównym obwodem sieci pokładowej.

W przypadku nieodpowiedniego włączenia wtyczki akumulatora pokładowego lub lotniskowego (zmienna biegunów), włączony do układu prostownik nie pozwoli na włączenie akumulatorów.



#### Gwinciarka pozioma o napędzie wrzeciona za pomocą stożków ciernych

(Kl. 49 a; Nr OU — 1252; Z. Nr 45) Kazimierz Raab

Wobec nieposiadania przez Zakłady gwinciarki do masowego nacinania gwintów na częściach metalowych oddawano je do gwintowania innym zakładom, co związane jest ze stratą czasu i znacznymi kosztami.

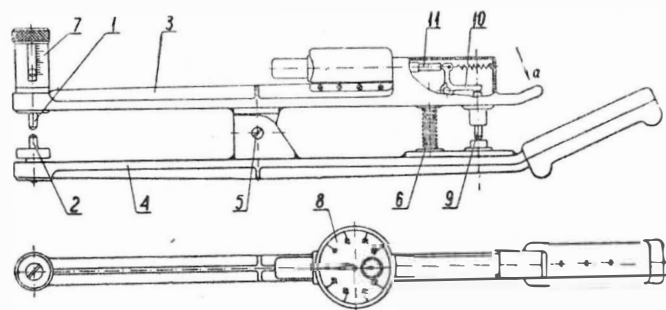
W celu uniezależnienia się od innych zakładów wykonano według udoskonalenia, przedstawioną na rysunku schematycznie, gwinciarkę poziomą do nacinania gwintów zewnętrznych i wewnętrznych od 2 do 6 mm.

Gwinciarka składa się ze zmontowanego na płycie 1 w odpowiednich łożyskach wrzeciona 2 z osadzonymi na nim przesuwnie stożkami 3 i 4, z wałka 5 z kołem pasowym 6 i stożkiem 7 oraz z prowadnicy 8 z przesuwym uchwytem 9. Końiec wrzeciona jest przystosowany do mocowania w nim uchwyty wiertarskiego 10 lub oprawki z narzynką. Gwintowany przedmiot 11 zamocowuje się w uchwycie przesuwnym. Wałek 5 jest napędzany silnikiem elektrycznym. Zmianę kierunku obrotów wrzeciona uzyskuje się przez przełączenie styków stożków 3 lub 4 ze stożkiem 7.

#### Przyrząd do dokładnego pomiaru grubości blach

(Kl. 42 b; Nr OU-1272; Z. Nr 46) Franciszek Grosner

Dotychczas przy dokładnym pomiarze grubości blach posługiwano się mikromierzami. Sposób ten był bardzo uciążliwy przy mierzeniu grubości blachy znajdującej się w ruchu podczas walcowania, ponieważ dokonując pomiaru trzeba było śrubę mikrometryczną dokręcić ręką, co przedłużało czas pomiaru, parzyło przeprowadzającego pomiar, zakleszczało mikromierz, jak również powodowało niedokładność pomiaru. Zdarzało się, że dokonujący pomiaru nie zdążył odkręcić mikromierza, który porwany przez blachę dostawał się między walce, ulegał on przy tym całkowitemu zniszczeniu oraz powodował uszkodzenie walcowanej blachy i zniszczenie części agregatu.



Wobec niedogodności i wad dotychczasowego sposobu mierzenia, do pomiaru grubości blach zastosowano według udoskonalenia przedstawiony na rysunku przyrząd z czujnikiem.

Za pomocą tego przyrządu walcowana blacha w ruchu może być bardzo dokładnie i szybko zmierzona przez wprowadzenie jej między kowadełka 1 i 2 zamocowane na końcach ramion 3 i 4 połączonych wzajemnie przegubowo sworzniem 5, a zwieranych sprężyną 6. Ustawianie kowadełek na zasadniczy wymiar dokonuje się śrubą mikrometryczną 7 oraz ustawieniem czujnika 8 na zero. Wynikające z pomiaru odchyłki od zasadniczego wymiaru odczytuje się na czujniku. Przekazywanie pomiaru z kowadełek na czujnik odbywa się za pomocą trzpienia 9 i dźwigni kątowej 10, która oddziałując na stopkę 11 czujnika powoduje zmianę położenia wskazówek na tarczy czujnika.

Rozwieranie kowadełek odbywa się przez nacisk w punkcie a na koniec górnego ramienia.

S. M.



## na półkach księgarskich

**Szlifowanie i polerowanie łopatek gazoturbinych dwigателей.**  
W. A. Szalnow, Oborongiz, 1958 r., stron 350.

W książce opisany jest obecny stan budowy specjalnych obrabiarek do obróbki pióra i krawędzi łopatek silników odrzutowych, włącznie z obrabiarkami pracującymi za pomocą taśm ściernych. Podane są zagadnienia obrabialności przy szlifowaniu różnych stopów i stali, metody wykonania łopatek, obrabiarki do szlifowania pióra łopatki ze stali i stopów ognioodpornych, szlifowanie taśmami ściernymi, szlifowanie zamków łopatek, polerowanie łopatek, zapobieganie przepaleniom powierzchniowym i pęknięciom oraz nowoczesne metody kontroli łopatek. W uzupełnieniu podana jest tabela twardości materiałów ściernych, instrukcje przysycania płótna ściernego oraz metoda obliczania położenia środka ciężkości łopatki. Treść uzupełniona jest 295 rysunkami, fotografiami, wykresami, schematami i tabelami (rozpatrzone są perspektywy wprowadzenia wysokowydaj-

nych metod szlifowania, polerowania i sprawdzania). Książka przeznaczona jest dla inżynierów zakładów produkcyjnych i pracowników instytutów.

L. S.

**Lotnicze elektroenergetyczne urządzenia pokładowe.** W. Kulebakin, W. Morozowski, J. Sindiejew, tłum. z ros. mgr inż. Lesław Będkowski, mgr inż. Józef Krus, inż. Janusz Dombrowicki, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, 1958 r., stron 546.

Niniejsza książka powinna wypełnić — w myśl założeń Wydawnictwa, zawartych w przedmowie „Od Redakcji wydania polskiego” — lukę istniejącą w naszej literaturze z dziedziny techniki lotniczej. „Awionika”, wyposażenie elektryczne samolotów, przybrała niebywale nasilenie w ostatnich latach (w samolocie: 50 km przewodów elektrycznych, 5000 sztuk lamp elektronowych, 100 000 sztuk oporników i kondensatorów). Treść zawarta jest w 21 rozdziałach, które zawie-

rają omówienia następujących tematów: chemiczne źródła prądu, prądnicę prądu stałego, ich podstawowe charakterystyki elektryczne i magnetyczne, regulacja napięcia oraz stabilizacja napięcia za pomocą regulatorów węglowych i wibracyjnych, praca równoległa pokładowych prądnic lotniczych i prądnic z akumulatorem, zabezpieczenie prądnic lotniczych prądu stałego, wytwarzanie prądu zmiennego na samolocie, regulacja napięcia i równoległa praca prądnic prądu zmiennego, zwarcia i zabezpieczenia pokładowych prądnic synchronicznych, przekształtniki napięcia prądu, wykresy obciążeń elektrycznych i dobór źródeł energii elektrycznej na samolocie, podstawowe wiadomości o układach przesyłowo-rozdziałczych energii elektrycznej i ich elementy, obliczanie elektrycznej sieci pokładowej, uszkodzenie warunki pracy w sieciach samolotowych, obliczanie prądów zwarciovych, zabezpieczanie samolotowych sieci elektrycznych, podstawowe zagadnienia z teorii komutacji samolotowych sieci elektrycznych, eksploatacja układów przesyłowo-rozdziałczych energii elektrycznej w samolotach. Książka zawiera 415 rysunków i schematów, 19 tablic, wykaz literatury obejmujący 43 pozycje oraz wykaz umownych oznaczeń graficznych z 179 pozycjami sporządzony na podstawie norm fabrycznych Ministerstwa Przemysłu Lotniczego ZSRR. Przy szczegółowym wertowaniu książki znalazłem szereg usterek, które obciążają tłumaczy i redaktorów książki. Podaję niektóre z nich: szkoda, że nie podano przy wykazie umownych oznaczeń, czy i jakie są podobne oznaczenia polskie; trymery, rurka Pito, światła aeronawigacyjne, sposób prowadzenia przewodów w pończosze, 1 M (na oznaczenie liczby Macha  $Ma = 1$ ), Hg (ale jest i dobrze: Hg) jako oznaczenie rtęci, KW (na rys. 8.17 i 8.18) chociaż w tekście jest kW, BPWL zamiast właściwego i powszechnie stosowanego BPWŁ, obr/min. i km/godz. zamiast obr/min i km/h, itp.: rys. 16.4 w podpisie jest błąd — tam nie ma śruby, rys. 16.24 — zawiera tylko wycinek ze schematu półmontażowego, w tekście na str. 72 błędnie podano (ale jest także dobrze), że prądnicę napędza śmigło (powinno być wiatrak). Wskazane usterki nie umniejszają wartości pracy przyswojonej pracownicy przez tłumaczy i wydanej w języku polskim ku pożytkowi szerokiej rzeszy studentów i pracowników lotniczych.

L. S.

**Przekładnie obiegowe (planetarne)**, mgr inż. Wiktor Surowiak, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1959 r., stron 483.

Omawiana książka może być z dużą korzyścią pomocna w pracy zawodowej pracowników lotnictwa oraz podczas studiów na wydziale lotniczym, zawiera bowiem zasady obliczeń i konstruowania przekładni obiegowych (szerzej znanych pod nazwą: planetarnych). Treść dzieli się na pięć części. Część pierwsza — Mechanizmy obiegowe i ich klasyfikacja — w dwóch rozdziałach podaje klasyfikację i oznaczenia przekładni obiegowych i omawia przekładnie te jako mechanizmy. W części drugiej — Analiza kinematyczna przekładni obiegowych — w dwóch rozdziałach omówiono metody wyznaczania kątów obrotu, prędkości i przyspieszeń kątowych oraz przełożeń i podano analizę kinematyczną typowych przekładni obiegowych. Część trzecia — Analiza dynamiczna przekładni obiegowych — omawia w trzech rozdziałach metody wyznaczania sił, momentów i mocy przekładni bez strat o stałej prędkości członów, wyznaczanie sprawności przekładni oraz wyznaczanie przyspieszeń kątowych, sił i momentów z uwzględnieniem bezładności członów w przekładni bez strat. W części czwartej — Obliczanie przekładni ciernych i zębatych — omówiono w dwóch rozdziałach przekładnie ciernie i zębate. Część piąta — Zastosowanie przekładni obiegowych — obejmuje w czterech rozdziałach przykłady zastosowania przekładni obiegowych w ogólnej budowie maszyn, w budowie maszyn technologicznych i dźwignic oraz przenośników i w transporcie dalekim, gdzie znalazł się ustęp o zastosowaniu w budowie samolotów i śmigłowców. Książkę poprzedza wykaz najważniejszych oznaczeń. Zestawienie literatury obejmuje 118 pozycji. Książka posiada 360 rysunków i schematów, 82 zadania i 19 ćwiczeń oraz 25 tablic. Na zakończenie zamieszczono skrócony alfabetyczny. W lotniczym ustępie książki dostrzegłem pewne usterki słownictwa lotniczego: śmigło nośne śmigłowca, śmigło tylne, startery, smar dopływa itp. Na uznanie zasługuję podanie dużej liczby zadań i przykładów, ułatwiających przyswojenie obfitego materiału zawartego w książce.

S. M.

**Katalog składowy książek technicznych i podręczników zawodowych, Rocznik 1958, Tom I — Spis autorski, tytułowy, serii wydawniczych i podręczników zawodowych, Tom II — Spis przedmiotowo-zagadnieniowy**, praca zbiorowa, wyd. tomu I — PPH „Dom Książki” Warszawa, Dział Propagandy i Wydawnictw, tomu II — P. P. „Składnica Księgarska” Warszawa, Dział Reklamy, 1958 r., stron 318 + 241.

Katalog obejmuje książki i podręczniki wydane do końca listopada 1957 r. przez następujące wydawnictwa: PWT, PWSZ, „Arkady”, WK, WPLS, WGH, Wyd. Morskie, Wyd. MON, oraz szereg innych zestawionych w wykazie skrótów nazw wydawców. Tom pierwszy obejmuje podstawowy spis autorski (uszeregowanie według nazwisk autorów), spis serii wydawniczych zawierający 59 różnych bibliotek, bibliotek-czek, poradników, tek i tym podobnych serii, spis podręczników zawodowych, podzielony na dwa układy — dla zasadniczych szkół zawodowych i techników, spis tytułowy (według tytułów), wykaz skrótów, spis działów, poddziałów i podpoddziałów bibliograficznych opublikowanych książek oraz uzupełnienia do spisów. Tom drugi zawiera spis przedmiotowo-zagadnieniowy, obejmujący w alfabetycznym układzie hasła przedmiotowych podane informacje o książkach omówionych w tomie pierwszym. Na zakończenie podano spis księgarń prowadzących wydawnictwa techniczne i gospodarcze. Tematyka lotnicza jest reprezentowana niezbyt obficie. Na przykład: hasło Lotnictwo — 18 pozycji, Samoloty — 15 pozycji (większość powtórzona), Śmigłowce — 1 pozycja, Komunikacja lotnicza — 1 pozycja, Silniki turbinowe — 1 pozycja. Wśród tych znalazłem jednak kilka pomyłek, nie wykazanych w dwóch erratach (dość obszernych): str. 94/II — Samolot C 55.13 zamiast właściwego CSS 13, str. 174/II — Obłamowicz zamiast właściwego: Ablamowicz. Szkoda, że nie podano wydawnictw PWN, wtedy liczba pozycji lotniczych wzrosłaby o liczne skrypty z dziedziny lotnictwa, które — nie wątpię — znajdują się na składzie w hurcie księgarskim. Wśród prac wielu instytucji nie znalazłem Prac Instytutu Lotnictwa.

S. M.

**Od sztucznego satelity do stacji kosmicznej**, mgr inż. Olgierd Wołczek, mgr inż. Janusz Thor, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, 1958 r., stron 148.

W omawianej książce, przeznaczonej dla szerokiej rzeszy czytelników interesujących się astronautyką, objaśniono zagadnienia dotyczące wypuszczenia w przestrzeń sztucznych satelitów i budowy stacji kosmicznych. Treść książki podzielona jest na dziewięć rozdziałów, które mają tytuły dobrane tak, aby pobudzić ciekawość czytelnika. Podaje je: Na niebieskich szlakach, Narodziny pomysłu, W jakim celu?, W walce z potęgą ciążenia, W polu strumieni sił, „Oczy i uszy” sztucznych satelitów, Człowiek w przestrzeni, Stacje w pustce, Wokół dalekich globów. Zestawienie literatury obejmuje 24 pozycje książkowe i 18 czasopism. Książka jest ilustrowana 93 rysunkami, schematami i fotografiami. Szereg danych zawarto w 12 tablicach. Książka jest popularnie ujętą relacją pomysłów i projektów z dziedziny astronautyki oraz szczegółowym sprawozdaniem z przeprowadzonych w ostatnim okresie udanych prób wprowadzenia na orbitę sztucznych satelitów, a zwłaszcza pierwszego Sputnika radzieckiego w dniu 4 października 1957 r. i drugiego, niosącego żywego pasażera — Łajkę — wyrzuconego w przestrzeń 3 listopada 1957 r. Przyszłość astronautyki pozwalają Autorzy śledzić na podstawie materiałów naukowych, przedstawianych na międzynarodowych kongresach astronautycznych, na które Polskie Towarzystwo Astronautyczne wysłała liczne delegacje. Książka ma możliwość spełnienia poważnej roli upowszechnienia zagadnień astronautyki. Można się spodziewać szybkiego jej zniknięcia z półek księgarskich i należy oczekiwać rychłego wznowienia. W związku z tym notuję uchybienia znalezione podczas przeglądania książki: na rys. 24-KM jako oznaczenie kilometrów, na rys. 19 — oprócz omówionych orbit zaznaczono jakieś nie objaśnione linie o podobnym charakterze, propozycje do poprzednich, na rys. 23 brak oznaczeń cali i centymetrów, co utrudnia określenie wielkości; siła ciągu, szybkość (choć jest i właściwie: prędkość), ilość statków, km/godz. i wiele pomyłek drukarskich, nie ujawnionych w skromnej erracie (tylko trzy pozycje).

S. M.

**Samolot w opasności**, Ch. D. Kajsor, Izdatelstwo Inostronnoj Literatury, 1958 r., stron 502.

Jest to tłumaczenie pracy H. D. Kysor, a wydanej w Filadelfii w roku 1956. Tłumaczyła z języka angielskiego N. F. Krawcowa. W książce rozpatrzone są zagadnienia zapewnienia bezpieczeństwa lotów samolotów i śródk stosowane w tym zakresie w Stanach Zjednoczonych Ameryki. Składa się ona z siedmiu rozdziałów. W pierwszym rozdziale podane są zagadnienia ogólne i charakter działalności lotniczej służby ratowniczej, jej zadania i obowiązki, zasady i porządek przygotowania lotów oraz utrzymania łączności z samolotem w warunkach normalnych i awaryjnych. W rozdziałach dalszych omówiono zagadnienia wpływu meteorologicznych czynników na bezpieczeństwo lotów, przyczyny powstawania pożarów na samolotach na ziemi i w powietrzu, zasad działania załogi i pasażerów samolotu w wypadku uszkodzenia na ziemi lub wodzie, zasad działania samolotu służby ratowniczej, czynności załogi w czasie przymusowego lądowania i różne okoliczności przymusowego lądowania, przymusowego wodowania na morzu oraz pierwszej pomocy dla załogi i pasażerów, jak i czynności po przymusowym lądowaniu w różnych warunkach klimatycznych. Książka przeznaczona jest dla załóg samolotów oraz załóg inżynierjno-technicznych lotnisk w lotnictwie wojskowym i cywilnym oraz pewnych kategorii pracowników przemysłu lotniczego.

L. S.

**Proizwodstwo swincowych akumulatorow**, F. F. Tomaszewskij, A. G. Gierszman, Je. M. Szwarcman, Gosenergoizdat, 1958 r., stron 284.

W książce opisana jest produkcja ołowianych akumulatorów w różnych jej stadiach. Rozpatrzone również zostały różne typy i konstrukcje akumulatorów oraz surowce stosowane w produkcji. Podane są niezbędne wiadomości o procesach technologicznych w poszczególnych wydziałach i ich wyposażeniu w zakładach produkcji akumulatorów. W osobnym rozdziale opisano sprawdzanie akumulatorów oraz metody przeprowadzania badań. W jednym z rozdziałów opisane są akumulatory lotnicze. Książka przeznaczona jest jako pomoc w przygotowaniu pracowników produkcyjnych zakładów wykonujących akumulatory.

L. S.

**Elektropriwod samolotnych agriegatow i mechanizmow**, W. S. Kulebakin i W. D. Nagorskij, Oborongiz, 1958 r., stron 388.

Jest to jedna z prac z cyklu „Elektryfikacja samolotów”. Daje ona przegląd naukowych podstaw stosowania napędu elektrycznego agregatów i mechanizmów znajdujących się na samolotach oraz opis konstrukcyjnych własności poszczególnych układów i ogólne wskazówki stosowania energii elektrycznej do napędów. Treść podzielona jest na dwie części. W części pierwszej, dającej podstawy napędów elektrycznych, omówione są: budowa napędów elektrycznych, teoretyczne i eksploatacyjne charakterystyki silników elektrycznych i elektromagnesów, podstawy dynamiki napędów, metody regulacji obrotów napędów z silnikami prądu stałego i silnikami asynchronicznymi, układy synchronizacyjne, sterowanie napędami oraz stan cieplny i moc silnika. W części drugiej, dającej opis zelektryfikowanych układów samolotowych urządzeń napędowych, są opisy rozruszników elektrycznych do silników spalinowych, napęd sterownic samolotu, napędy elektryczne podwozi oraz napęd elektryczny uzbrojenia. Książka ta jest jedną z pierwszych tego rodzaju prac, dającą usystematyzowany przegląd podstaw teorii i praktyki napędów elektrycznych lotniczych.

L. S.

**Tocznioje litje po wyplawlajemych modielam**, B. S. Kurczman, Oborongiz, 1958 r., stron 173.

Jest to jedna z prac z cyklu „Biblioteki pracownika przemysłu lotniczego”. W książce opisany jest proces wykonywania dokładnych odlewów metodą wytapianych modeli, gatunki mas oraz wykonywanie z nich modeli, formy do wykonywania wytapianych modeli, metody wykonania samych modeli, układy odlewnicze oraz odlewanie grupowe i blokowe, wykonanie zewnętrznych warstw form, formowanie wytapianych modeli, odlewanie modeli i suszenie form, przegląd materiałów i stopów stosowanych do wykonywania odlewów metodą wytapianych modeli, topienie metali i zalewanie w formy oraz czynności wybijania, oczyszczania i wykańczania odlewów, zgodnie z podanymi w dokumentacji wymiarami. Książka w sposób przystępny i praktyczny daje całokształt zagadnień wykonywania tego typu odlewów. Treść uzupełniona jest 75 rysunkami i wykresami, 19 tabelami oraz wykazem literatury. Książka przeznaczona jest dla pracowników odlewni przemysłu lotniczego, treść jej uzupełniona jest więc licznymi przykładami praktycznymi.

L. S.





nich dla konstrukcji dysz tego rodzaju tunelu. Ponadto stwierdzono możliwość dokonywania pewnych pomiarów w zakresie nagrzewania modeli i oporu ciała w tunelu o bardzo krótkim czasie pracy.

A. Jakubowski  
Ilot  
94\* 533.69.15:533.6.07  
Brenckmann M. E.: Experimental investigation of the aerodynamics of a wing in a slipstream. **Doświadczalne badania aerodynamiczne skrzydła w strumieniu zaśmigłowym.** J. Aeronaut. Scien., 1958, t. 25, nr 5, A4, s. 324—328, rys. 10, poz. bibl. 7.

W tunelu aerodynamicznym Uniwersytetu w Toronto przeprowadzono pomiary aerodynamiczne skrzydła w opływie dwuwymiarowym, przy czym środkowa część skrzydła była dodatkowo odmuchiwana przez śmigielko o napędzie pneumatycznym. Wielkość i rozkład sił aerodynamicznych mierzono przy różnych kątach natarcia oraz przy różnych wartościach stosunku prędkości powietrza do prędkości strumienia zaśmigłowego. Wyniki doświadczeń wykazują, że przystość siły nośnej na skrzydle spowodowany strumieniem zaśmigłowym jest większy od obliczonego na podstawie teorii przepływu potencjalnego. Ta dodatkowa siła nośna jest spowodowana wpływem zwiększonej prędkości opływu środkowej części skrzydła na warstwę przyścienną partii zewnętrznych. Zaobserwowane zjawisko może być wykorzystywane w samolotach krótkiego startu i lądowania.

J. Sandauer  
95\* 533.69.132  
Truckenbrodt E., Feindt, E. G.: Untersuchungen über das Abreissverhalten von Deltaflügeln in inkompressibler Strömung. **Badanie zachowania się płatów delta w przepływie nieściśliwym.** Z. Flugwissenschaften, 1958, t. 6, nr 4, A4, s. 97—102, tabl. 1, rys. 10, poz. bibl. 7.

Zbadano zachowanie się przy oderwaniu symetrycznie opływanych płatów delta w cieczy nieściśliwej przy liczbach Reynoldsa do  $Re = 1,7 \cdot 10^6$ . Pomiary wykonano dla czterech płatów o profilu NACA 0012 o różnych wydłużeniach i dla jednego płata o profilu NACA 0005. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów określono rozkład krytycznych kątów natarcia wzdłuż rozpiętości, to znaczy kątów, przy których zaczyna się oderwanie strumienia. Okazało się, że oderwanie strumienia zaczyna się dla płatów delta o małym wydłużeniu przy większych kątach natarcia niż dla płatów delta o dużym wydłużeniu, jak również, że płat gruby jest mniej narażony na oderwanie niż cienki. Oderwanie zaczyna się na końcach płatów i postępuje ze wzrostem kąta natarcia ku środkowi. Wyniki uzyskane zostały przede wszystkim z pomiarów rozkładów ciśnień. J. Stasiak  
96\* 533.691.155:629.13.014.5

Ilot  
Morelli A.: **Badania tunelowe nowego typu usterzenia szczelinowego.** Techn. Lotn., 1958, r. 13, nr 5, A4, s. 131—134, rys. 6.

Artykuł omawia główne charakterystyki aerodynamiczne profilu usterzenia ze specjalnie ukształtowaną szczeliną pomiędzy statecznikiem a sterem. Profil tego kształtu przedstawia pewne korzyści przy użyciu go na usterzenie pionowe. Badania, które są tu podane, zostały przeprowadzone przez autora w Ośrodku Szybownictwa przy Politechnice w Turynie — Włochy. Praca była przedstawiona na VII Kongresie OSTIV, Leszno 1958 r. (a)

### MECHANIKA LOTU

Ilot  
97\* 629.135.15.071.5:629.139.611.2  
Gedeon J.: **Pomiar obciążeń podczas startu szybowca za wyciągarką.** Technika Lotnicza, 1959, r. 14, nr 2, s. 41—46, rys. 21.

Omówienie metodyki oraz wyników pomiarów obciążeń szybowca podczas startu za wyciągarką. Jak wiadomo, obciążenia podczas tego rodzaju startu są znaczne i mało uchwytne dla pilota. Dlatego też jest rzeczą bardzo cenną zdobywanie materiału doświadczalnego z pomiarów tego rodzaju, co pozwoli lepiej dostosować konstrukcję szybowca do wymogów startu za wyciągarką, jak też doskonalić technikę tego rodzaju startu. Seria pomiarów w locie została przeprowadzona w ramach prac Katedry Lotnictwa na Politechnice w Budapeszcie, pracującej pod kierunkiem profesora Eleméra Ráczy. Koncepcja, przeprowadzenie pomiarów i wyciągnięcie wniosków zostało przeprowadzone przez inż. dypl. Desideriusa Györgyalvy. Praca została zreferowana przez inż. Jozsefa Gedeona na VII Kongresie OSTIV w Lesznie 1958 r. (a)

Ilot  
98\* 629.135.15:533.6.013.42  
Gedeon J.: **Pomiary obciążeń występujących podczas lądowania szybowca.** Technika Lotnicza, 1958 r., r. 13, nr 6(54), s. 168—173, rys. 17, tabl. 2.

Podano metodę i wyniki pomiarów dokonanych na czterech węgierskich szybowcach. Określono prawo rozrzutu obciążeń i określono prawdopodobieństwo wystąpienia obciążenia o określonej wielkości. Praca dotyczy szybowców, których podwozie stanowi płoza lub nie zamortyzowane koło z oponą. Autor dochodzi do wniosku, że podczas lądowania tego typu szybowców występują dość często w czasie dobiegu znaczne obciążenia spowodowane faktem, że częstość impulsów pochodzących od nierówności terenu jest tego samego rzędu co częstość drgań szybowca na podwoziu. Praca była przedstawiona na VII Kongresie OSTIV, Leszno 1958 r. (a)

Ilot  
99\* 533.6.013.644:629.135.035.5  
Rác E., Varga L.: **Najkorzystniejsze warunki wznoszenia myśliwskich samolotów odrzutowych.** Techn. Lotn., r. 13, 1958, nr 3, A4, s. 78—82, rys. 8.

Zdolność wznoszenia nowoczesnych samolotów odrzutowych ma zasadnicze znaczenie w ich eksploatacji a dla określenia najlepszych warunków wznoszenia niezbędna jest dokładna analiza parametrów lotu. Metoda uproszczona, zupełnie dostateczna w przypadku samolotów o mniejszych prędkościach i wysokościach lotu, nie daje optymalnych warunków wznoszenia samolotów odrzutowych. Autorzy posługują się rachunkiem wariacyjnym, podają sposób określenia najlepszego wznoszenia, zapewniający najbardziej celowe wykorzystanie sprzętu. (a)

Ilot  
100\* 551.557.2:533.6.015.7  
Reynolds P. R. J., Chandler C. L.: **Flying the jet stream.** Lot w prądzie „jet stream”. Canad. Aeronaut. J. 1958, t. 4, nr 3, A4, s. 86—93, rys. 9.

Samoloty amerykańskiej linii lotniczej PAA obsługujące trasę N. York—London wykorzystują w miarę możliwości zjawisko „jet stream” często występujące nad północnym Atlantykiem. „Jet stream” oznacza prąd powietrza o bardzo dużej prędkości rzędu 200—400 km/h występujący w górnych warstwach troposfery wzdłuż powierzchni styku mas powietrza o różnych temperaturach. Charakterystyczne dla prądu „jet stream” jest przede wszystkim nagłe obniżenie się tropopauzy oraz jednokowy układ izoterm i izobar wzdłuż powierzchni frontowej. Ze względu na bardzo duże prędkości prądu, wykorzystanie go w przelotach transatlantyckich pozwala na skrócenie czasu przelotów w kierunku zachód—wschód, przy równoczesnym zwiększeniu ciężaru handlowego kosztem ciężaru paliwa, co w sumie znacznie polepsza ekonomię transportu. Przy przelotach powrotnych konieczne jest oczywiście unikanie strefy objętej prądem. Technika przechwytywania prądu „jet stream” nie jest łatwa; konieczna jest dobra znajomość sytuacji meteorologicznej oraz dokładna obserwacja zmian temperatury, ciśnienia i innych objawów sygnalizujących zjawisko tzn. turbulencji i chmur.

J. Sandauer

### ZAGADNIENIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE W KONSTRUKCJACH LOTNICZYCH

Ilot  
101\* 629.135.15:533.6.013.42  
Szempińska W., Aleksandrowicz R., Maryniak J.: **Próby rezonansowe szybowców.** Techn. Lotn., 1958, r. 13, nr 6(54), s. 162—167, rys. 11, tabl. 1.

Opis prób rezonansowych szybowców, które były prowadzone przez zespół pracowników Katedry Mechaniki Lotu Wydziału Lotniczego Politechniki Warszawskiej równoległe z pomiarami sztywności szybowców. Próby te prowadzono w ramach prac naukowych Katedry w okresie dwu ostatnich lat. Praca była przedstawiona na VII Kongresie OSTIV, Leszno 1958 r. (a)

Ilot  
102\* 629.135.15:533.6.013.42  
Aleksandrowicz R., Łucjanek W.: **Pomiary sztywności szybowców.** Technika Lotnicza, 1958, r. 13, nr 6(54), s. 158—162, rys. 7, tabl. 5.

Opis pomiarów sztywności szybowców, które przeprowadzone były przez zespół pracowników Katedry Mechaniki Lotu Wydziału Lotniczego Politechniki Warszawskiej w ramach prac naukowych Katedry, przy czym obejmują one okres od połowy 1956 r. do połowy 1958 r. Ponadto dokonano próby ustalenia kryteriów sztywności dla szybowców. Praca była przedstawiona na VII Kongresie OSTIV, Leszno 1958 r. (a)

### AERODYNY

621.431.75  
103\* Ernst. G.: „L'Atar volant” appareil expérimental de décollage et atterissage à la verticale. **Atar volant — doświadczalny silnik latający o pionowym wlocie i lądowaniu.** Flugwehr Technik, 1958, nr 1, A4, s. 18—20, rys. 6.

Poszczególne etapy budowy silnika latającego „Atar volant” ze szczególnym uwzględnieniem problemów, jakie należało rozwiązać i jakie zostały rozwiązane przy projektowaniu takiego silnika. Są to problemy stateczności i sterowania silnikiem w locie pionowym, przy małych prędkościach. M. Rabenda

Ilot  
104\* 623.746.3:629.135.2  
Schulz R. W.: Saab „Draken”. **Samolot Saab „Draken”.** Luftfahrt-technik, 1958, t. 4, nr 2, A4, s. 22—27, rys. 11.

Zasadnicze warunki postawione przed projektantami określały zadanie samolotu Saab „Draken” jako przechwytywanie samolotów nieprzyjacielskich przy niewielkim wyprzedzeniu czasowym, wynikającym z krótkiego „przedpola” szwedzkiej radiolokacyjnych stacji ostrzegawczych. Wymagana maksymalna prędkość została ustalona w granicach 1,7 ÷ 1,8 Ma. Saab „Draken” charakteryzuje się przede wszystkim niekonwencjonalnym obrysem skrzydła przedstawiającym podwójną deltę, tzn. deltę o załamanej krawędzi natarcia, której skos w partii przykadłubowej wynosi 80°, a w partii zewnętrznej — 57°. Trzy prototypy samolotu „Draken” znajdują się w próbach od r. 1955; obecnie bieżnie już produkcja seryjna, a biuro konstrukcyjne zakładów Saab pracuje nad dalszymi udoskonalonymi wersjami. J. Sandauer

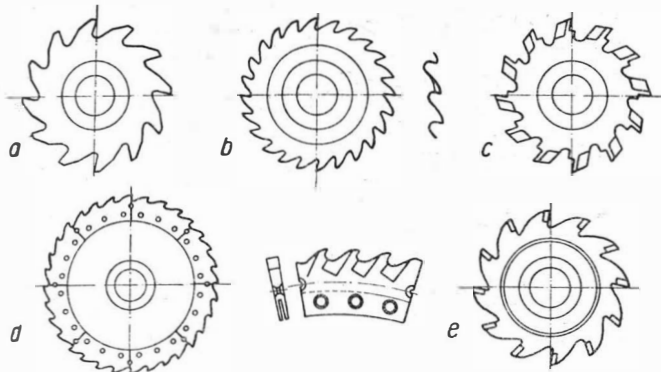
Ilot  
105\* 629.135.9  
Kozłowski J.: **Maszyny pionowego startu i lądowania.** Techn. Lotn., 1958, r. 13, nr 1, A4, s. 6—16, rys. 26, poz. bibl. 13.

Autor niniejszego artykułu postawił sobie za cel możliwie syntetyczne ujęcie zagadnień lotnictwa startu pionowego (przy jednoczesnym omówieniu wszystkich typów). Celowo zostały pominięte takie problemy, jak stateczność, mechanika przechodzenia z lotu pionowego do poziomego i z powrotem, bezpieczeństwo itp., ponieważ wymagają one rozważań odnoszących się do maszyny określonego typu. (a)

Ilot  
106\* 629.135.15:679.5  
Nagele H.; Eppler R.: **Kunststoffsegelflugzeug FS 24 Phönix. Szybowiec z tworzywa sztucznego FS 24 Phönix.** Aero-Rev. Suisse, 1958, nr 3, A4, s. 140—143, rys. 8, poz. bibl. 5.

Grupa akademików konstruktorów lotniczych w Stuttgarcie zbudowała szybowiec wyczynowy FS 24 Phönix przy zastosowaniu nowych materiałów i nowej technologii. Dążąc do uzyskania szybowca o bardzo dobrych właściwościach lotnych w słabych warunkach termicznych konstruktorzy postawili przed sobą zadanie maksymalnego obniżenia ciężaru konstrukcji. W tym celu wybrali oni konstrukcję warstwową (sandwiczową) opartą na całym nietypowych materiałach — do zewnętrznych warstw użyto poliestrowej żywicy zbrojonej tkaniną szklaną, a jako wypełniacz balse. Zastosowane materiały pozwoliły na opracowanie prostych i łatwych metod formowania i klejenia. Zarówno kadłub jak i skrzydło zostały wykonane na szablach. J. Sandauer

Niniejszy Przegląd Dokumentacyjny zawiera jedynie część analiz dokumentacyjnych publikacji z zakresu lotnictwa. Pełna dokumentacja ukazuje się w postaci kart dokumentacyjnych wydawanych przez Centralny Instytut Dokumentacji Naukowo-Technicznej (Warszawa, Al. Niepodległości 188). CIDNT przyjmuje prenumeratę kart dokumentacyjnych, która może obejmować zarówno całą dokumentację naukowo-techniczną, jak i oddzielne jej działy lub poszczególne zagadnienia i tematy techniczne. Cena karty dokumentacyjnej wynosi w prenumeracie ok. 20 gr. CIDNT wykonuje (za zwrotem kosztów) fotokopie i mikrofilmy publikacji objętych zarówno Przeglądem Dokumentacyjnym, jak i kartami dokumentacyjnymi.



Rys. 19. Pily tarczowe do cięcia stóp lekkich.  
 a. Gruboziębna piła do cięcia grubych przekrojów przy małych wymaganiach precyzji.  
 b. c. Piły drobnoziębne do cięcia precyzyjnych i cienkościennych profili.  
 d. Piła dużej średnicy z segmentami zębowymi.  
 e. Piła z ostrzami ze speków twardych.

Pily tarczowe nadają się wyłącznie do cięcia po linii prostej. Wykonuje się je z jednej blachy ze stali szybkoobrotowej przy mniejszych średnicach, przy większych natomiast słowia się zęby w postaci oddzielnych segmentów. Do obróbki stóp z grupy 3 stosuje się ostrza z „widli”. Przy cięciu grubych bloków, zachodzącym przy wyważaniu elementów integralnych, używa się często pił z zębami ze speków twardych.

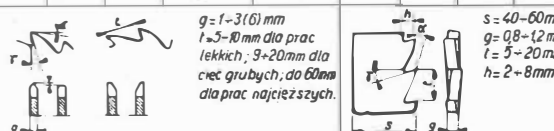
Pily tasmowe znajdują szerokie zastosowanie zarówno przy cięciach prostoliniowych blach, rur, profili o małym przekroju oraz obrabianiu odlewów, jak również przy wszelkiego rodzaju wycinaniach kształtowych. W tym ostatnim przypadku posiadac muszą niewielką szerokość i nieznaczną grubość.

Cięcie tytanu wymaga bardzo intensywnej chłodzenia oraz obracania przedmiotu. Zęby powinny być duże. Przy cięciu pilami tarczowymi zalecane jest wprowadzenie wibracji narzędzia.

Warunki obróbki węgla piłą stóp lekkich zebrane są w tabeli 7.

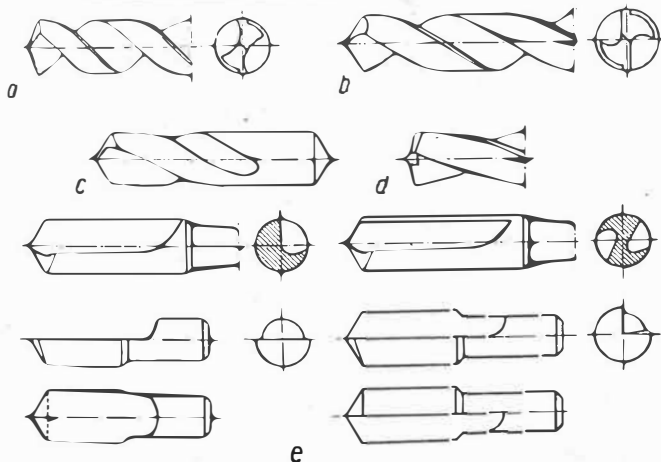
Tabela 7 Warunki obróbki metodą cięcia piłą

Grupa materiałowa	Narzędzie	Pily tarczowe				Pily tasmowe				
		Kąty narzędzia		Posuw mm/zab	Szybkość skrawania m/min dla podziałki zębów		Kąty narzędzia		Posuw mm/zab	Szybkość skrawania m/min.
		$\alpha^\circ$	$\delta^\circ$		5-10	10-20	$\alpha^\circ$	$\delta^\circ$		
1	SS	8	25	0,02-0,03	800-2000	400-600	30	7-10	0,02-0,03	2500
	ST	9-7	10		-	2500				
2	SS	8	25	0,02-0,03	300-500	200-300	30	7-10	0,02-0,03	1700
	ST	9-7	8		-	1500				
3	SS	8	15	0,02-0,03	120-200	80-150	30	7-10	0,02-0,03	1000
	ST	7	6		-	1000				



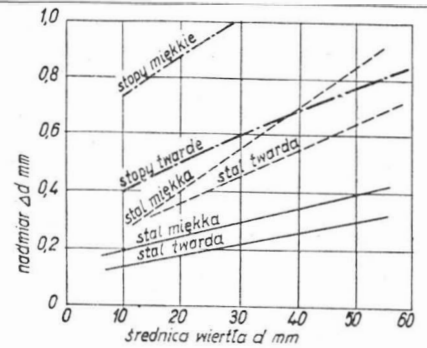
### Wiercenie

Wiercenie stóp lekkich wymaga narzędzi specjalnych pozwalających przy głębokich otworach na łatwe usuwanie znacznej ilości wiórów. Do tego nadają się narzędzia z łopatkami wlotniczymi wiertniczymi, które stosować należy wiertła krotkie posiadające jedynie 1,5 do 2 zwojów. Konstrukcja wiertła (rys. 20) puźo narzucającym geometrii własności z uwagi na skrawanie omawianych materiałów charakteryzujące się złazowaniem krawędzi tnącej (1-4 mm) dla zmniejszenia tarcia w otworze oraz zmniejszeniem średnicy nominalnej w kierunku trzono (1/20 mm na 100 mm długości) dla zapobieżenia zakleszczeniu się w otworze.



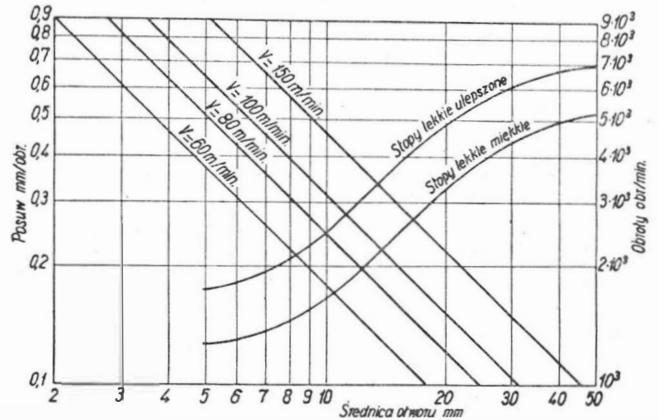
Rys. 20. Przykłady wiertel do obróbki stóp lekkich.  
 a. Normalne wiertło dla stóp lekkich.  
 b. Normalne wiertło dla stóp twardych i niewielkich głębokości wiercenia.  
 c. Wiertło specjalne do wiercenia blach.  
 d. Wiertło z zakończeniem centrującym do dokładnych wierceń.  
 e. Specjalne wiertła do bardzo dokładnych wierceń.

Przy wierceniu stóp lekkich występuje zjawisko „rozbijania” otworów, którego wielkość zależy od stanu użytej obrabiarki, rodzaju narzędzia, gatunku obrabianego materiału i średnicy otworu. Należy podkreślić, że przy stosowaniu tulei wiertniczych „rozbijanie” otworów jest prawie o połowę mniejsze (rys. 21). Całkowicie uniknięcie tego zjawiska możliwe jest przy zastosowaniu specjalnych wiertel z zakończeniem centrującym.



Rys. 21. Wykres charakteryzujący zjawisko „rozbijania” otworu w przy wierceniu stóp lekkich w zależności od dokładności obrabiarki i rodzaju materiału.  
 — wartości dla starych gorzej ułożonych obrabiarek  
 - - - wartości dla dobrze ułożonych obrabiarek

Jakość powierzchni wierconych otworów zależy od typu użytego narzędzia oraz barażniej może niż dla innych metod obróbki od właściwego doboru parametrów skrawania, które w warunkach warsztatowych przyjmują się z odpowiednich wykresów (rys. 22).



Rys. 22. Zależność posuwu od średnicy wierconego otworu i założonej szybkości skrawania.

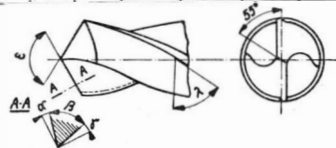
Przy użyciu specjalnych wiertel z „piórem” o przekroju półkola lub 3/4 koła uzyskać można otwory o bardzo gładkiej powierzchni i dokładności do 0,02 mm, nawet bez potrzeby wiercenia wstępnego.

Do wiercenia stóp tytanu stosuje się narzędzia o kącie  $\epsilon = 100-180^\circ$  pracując przy małych szybkościach skrawania i dużych posuwach. Dla zapobieżenia zapiekaniu się wiórów na wiertle korzystne jest jego chromowanie lub stosowanie specjalnie wykonanych wiertel ze stali wysokokobaltowych. Szczegółowe wyliczenia ustalania parametrów obróbki wierceniem zebrane są w tabeli 8.

Tabela 8 Warunki obróbki metodą wiercenia

Grupa materiałowa	Narzędzie	Kąty narzędzia				Posuw mm/obr. przy wierceniu otworu o średnicy mm.				Szybkość skrawania m/min. przy wierceniu otworu o średnicy mm.			
		$\alpha^\circ$	$\delta^\circ$	$\epsilon^\circ$	$\lambda^\circ$	5	5-10	10-25	25-50	5	5-10	10-25	25-50
		1	SS	27							120-180	80-120	60-80
	ST	12-17	20						150-200	120-150	80-120	60-80	
2	SS			130-140	35-45	0,01-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	100-120	80-100	50-80	30-50
	ST		15						120-150	100-120	70-100	50-70	
3	SS	4-8							60-80	40-60	30-40	<30	
	ST		10-12						80-100	60-80	40-60	30-40	
4	SS			100-120	12-45	0,03-0,8	<0,32	<0,55	<0,7	200	-	-	80
	ST					0,06	<0,1	<0,22	<0,3	250	-	-	125

Uwagi: Ekonomiczna szybkość skrawania już w zakresie 40-90 m/min. Przy wierceniu przez tuleje wiertnicze szybkość skrawania dochodzi do 400 m/min.



### Pogłębianie

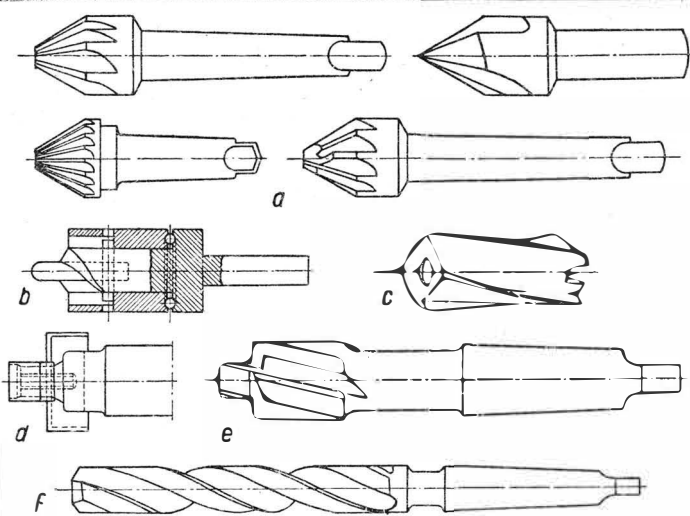
Pogłębianie traktować należy jako uzupełnienie obróbki wierceniem celem ukształtowania otworów pod łby śrub, nitów itp. W odlewach obrabiamy w ten sposób płaskie powierzchnie prostopadłe do osi otworów bazujących.

W budownictwie najwięcej zastosowanie znajduje pogłębianie otworów pod łby nitów krytych. Używa się do tego celu pogłębiaczy stożkowych o znormalizowanym kącie wierzchołkowym  $\epsilon = 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  i  $120^\circ$ .

Pogłębiacze spiralne i nasadkowe stosowane do rozwiercania otworów na mniejszej głębokości pracują lepiej, niż wiertła dając dokładniejszy wymiar i gładszą powierzchnię ze względu na lepsze prowadzenie wiórow, ilością oszty.

Przykłady najczęściej stosowanych narzędzi do pogłębiania zebrane są na rys. 23. Zasady pracy są, takie same, jak przy wierceniu z tym, że dla większych otworów można zwiększyć szybkość skrawania i posuw. Jako wartości orientacyjne można przyjąć: dla stali narzędziowych  $v = 10-25$  m/min,  $s = 0,4-1,0$  mm/obr dla stali szybkoobrotowych  $v = 20-30$  m/min. przy tych samych posuwach. Dla narzędzi ze speków twardych  $v = 30-80$  m/min,  $s = 0,05-1,0$  mm/obr. dla stóp twardych oraz  $v = 150-250$  m/min,  $s = 0,2-0,5$  dla stóp miękkih.

Dalszy ciąg na str. II okł.



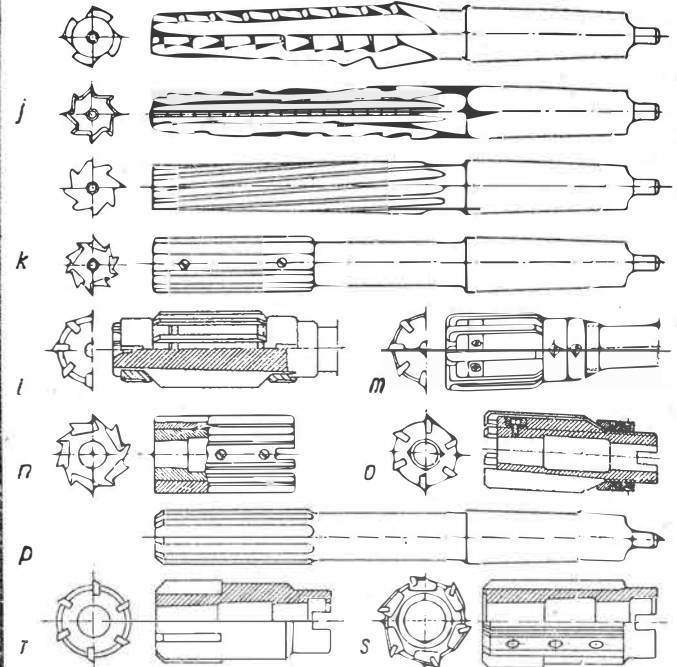
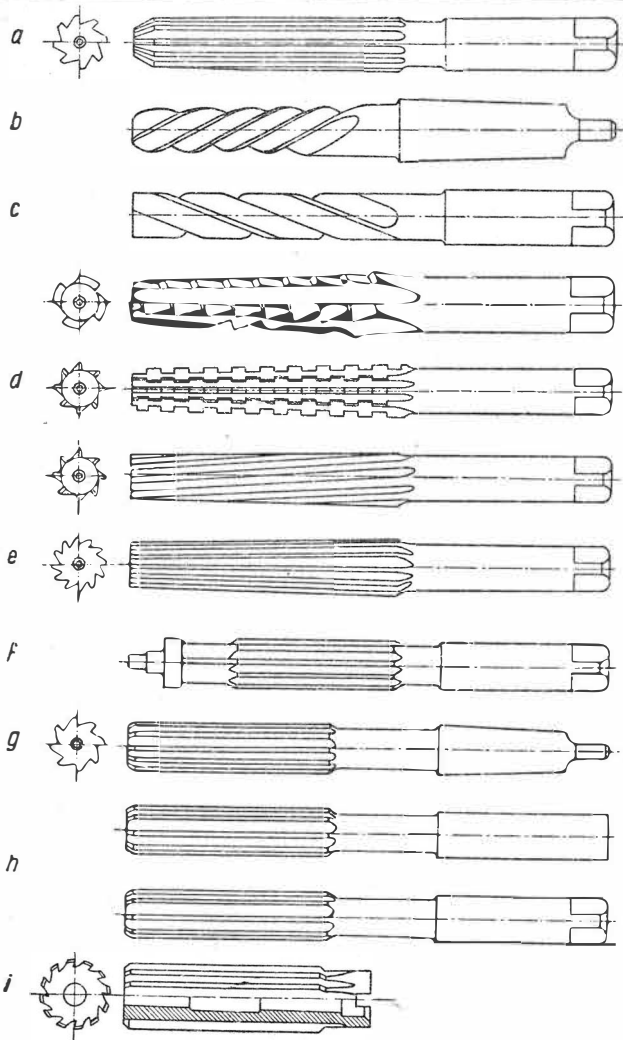
Rys. 23. Przykłady pogłębiaczy.  
 a - Pogłębiacze stożkowe stosowane najczęściej do kształtowania otworów pod łby nitów krytych.  
 b - Schemat budowy pogłębiacza stożkowego z prowadzeniem.  
 c - Pogłębiacz nasadkowy.  
 d - Pogłębiacz czopowy.  
 e - Pogłębiacz czolowy.  
 f - Pogłębiacz spindrowy.

Rozwiercanie

Rozwiercanie stosowane jest jako obróbka wykonująca otwory dla uzyskania dużej dokładności wymiaru i gładkości powierzchni. Nadadki materiałowe należy utrzymywać możliwie małe. Orientacyjnie 0,1 do 0,3 mm (max. 1,2 mm) w zależności od średnicy otworu dla zakresu  $\phi$  1-50 mm i rodzaju obrabianego materiału.

W użyciu znajduje się oblicznie wiele różnych typów rozwiertaków, które dzielimy na ręczne i maszynowe, do otworów cylindrycznych i stożkowych, stale do obróbki tylko jednej średnicy oraz nastawne dające się regulować w pewnym wąskim zakresie średnic. W tej ostatniej grupie wyróżnić można rozwiertaki z nozami stałymi (rozprężnymi) i z ostrzami wymiennymi.

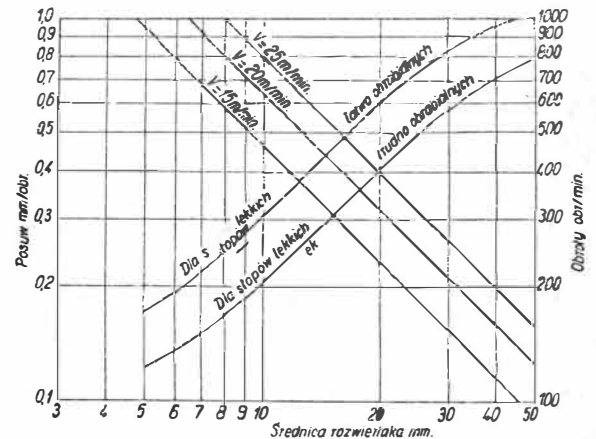
Przykłady najczęściej stosowanych narzędzi wymienionych typów zebrane są na rys. 24.



Rys. 24. Przykłady najczęściej stosowanych rozwiertaków.  
 Rozwiertaki ręczne nienastawne:  
 a - normalny, b - do rozwiercania otworów pod nitę z uchwytem stożkowym, c - do otworów na nitę z uchwytem czworokątnym, d - komplet rozwiertaków stożkowych, e - do stożków matrycznych.  
 Rozwiertaki ręczne nastawne:  
 f - nastawny rozprężny.  
 Rozwiertaki maszynowe nienastawne:  
 g - normalny z uchwytem stożkowym, h - normalny z uchwytem cylindrycznym i czworokątnym, i - nasadkowy, j - komplet rozwiertaków do otworów stożkowych.  
 Rozwiertaki maszynowe nastawne:  
 k - z ostrzami przykrecanymi, l, m - z ostrzami przesuwalnymi, n, o - nasadkowe.  
 Rozwiertaki maszynowe z ostrzami ze spieków twardych:  
 p - normalny, q - nasadkowy z ostrzami stałymi, r - nasadkowy z ostrzami wstawianymi.

Do obróbki większości stopów lekkich narzędzia te wykonuje się ze stali narzędziowych. Jedynie dla stopów typu silumin zaleca się rozwiertaki ze stali szybkołatacej, a dla stopów tytanu nawet z nakładkami ze spieków twardych.

Na jakość powierzchni obrabianej metodą rozwiercania decydujący wpływ ma właściwy dobór smaru. Zależności pomiędzy średnicą narzędzia, posuwem i obrotami przy rozwiercaniu dla najczęściej stosowanych szybkości skrawania w zależności od rodzaju obrabianego materiału podaje wykres na rys. 25. Szczegółowe parametry obróbki metodą rozwiercania zebrane są w tabeli 9.



Rys. 25 Zależność posuwu i obrotów narzędzia od jego średnicy, od rodzaju materiału i przyjętej szybkości skrawania przy obróbce metodą rozwiercania

Tabela 9 Warunki obróbki metodą rozwiercania

Grupa materiałowa	Narzędzie	Kąty narzędzia		Szybkość skrawania m/min.	Posuw mm/obr. dla otworu o średnicy mm				Naddatek na obróbkę dla otworu o średnicy mm				
		$\alpha^\circ$	$\gamma^\circ$		0-5	5-10	10-25	25-50	0-5	5-10	10-25	25-50	
1	SN	0,5-1,0	12	15-25									
	SS			20-30									
2	SS	-	10	15-20	0,3-0,5	0,5-0,8	0,8-1,2	1,0-2,0	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-	
	SS			10-15									
3/4	SS chromowa	0,5-1,5	8	15-30									
	ST			50									

$E = 1-2^\circ$  dla rozwiertaków ręcznych  
 $E = 4-6^\circ$  dla rozwiertaków maszynowych przy otworach normalnych przelotowych.  
 $E = 2-2,5-6^\circ$  dla głębokich otworów.

