

# Montaż maszyn i urządzeń

Józef Zawora

**Kwalifikacja M.17.1**

**Podręcznik do nauki zawodu**

- **TECHNIK MECHANIK**
- **MECHANIK - MONTER  
MASZYN I URZĄDZEŃ**



## 1. Wprowadzenie do montażu

1.1.	Podstawowe pojęcia	6
1.2.	Własności produktu	9
1.3.	Organizacja montażu	11
1.4.	Urządzenia montażowe	14
1.5.	Przebieg montażu	18
1.6.	Kontrola i kształtowanie jakości wyrobów	21
	Zapamiętaj	22
	Sprawdź swoją wiedzę	25
	Literatura	25

## 2. Pomiary wielkości geometrycznych

2.1.	Dokładność części maszyn i jakość powierzchni	28
2.2.	Tolerancje i pasowania wymiarów liniowych i kątowych	34
2.3.	Pomiary geometryczne	39
2.4.	Warunki techniczne wykonywania pomiarów	44
2.5.	Pomiary za pomocą wzorców długości i kąta	45
2.6.	Pomiary wymiarów zewnętrznych, wewnętrznych i mieszanych	48
2.7.	Pomiary kątów	55
2.8.	Podstawy pomiarów kół zębatach	59
2.9.	Pomiary chropowatości powierzchni	63
2.10.	Pomiary odchyłek kształtu i położenia	79
2.11.	Skomputeryzowane układy pomiarowe	86
2.12.	Pomiary na współrzędnościowych maszynach pomiarowych	90
2.13.	Pomiary za pomocą tomografów rentgenowskich	98
	Zapamiętaj	99
	Sprawdź swoją wiedzę	102
	Literatura	103

## 3. Rodzaje połączeń montażowych

3.1.	Połączenia rozłączne	106
3.1.1.	Połączenia gwintowe	106
3.1.2.	Czynności pomocnicze, wiercenie i rozwiercanie	115
3.1.3.	Gwintowanie ręczne i maszynowe	117
3.1.4.	Połączenia kołkowe i sworzniowe	127
3.1.5.	Połączenia klinowe, wpustowe i wielowypustowe	130
3.1.6.	Połączenia wciskowe (właczane)	135
3.1.7.	Specjalne połączenia skurczowe	136
3.2.	Połączenia nierozłączne	139
3.2.1.	Nitowanie	139
3.2.2.	Lutowanie	141
3.2.3.	Spawanie	142
3.2.4.	Zgrzewanie metali	148
3.2.5.	Połączenia skurczowe i rozprężne	150
3.2.6.	Klejenie części	152
3.2.7.	Połączenia odkształcane plastycznie	152
	Zapamiętaj	157
	Sprawdź swoją wiedzę	160
	Literatura	162

## 4. Podstawowe operacje technologiczne montażu

4.1.	Montaż typowych zespołów maszynowych .....	164
4.2.	Montaż łożysk .....	168
	4.2.1. Montaż łożysk tocznych .....	168
	4.2.2. Montaż łożysk ślizgowych .....	171
4.3.	Montaż zespołów z łożyskami .....	175
4.4.	Montaż przekładni zębatych .....	177
4.5.	Montaż urządzeń hydraulicznych .....	180
4.6.	Montaż urządzeń pneumatycznych .....	184
4.7.	Wyrównoważanie części i zespołów .....	186
4.8.	Sprawdzanie poprawności działania maszyn .....	188
	Zapamiętaj .....	189
	Sprawdź swoją wiedzę .....	190
	Literatura .....	191

## 5. Czynności montażowe

5.1.	Projektowanie procesu technologicznego montażu .....	194
	5.1.1. Elementy procesu technologicznego montażu .....	194
	5.1.2. Projektowanie procesu technologicznego montażu .....	196
	5.1.3. Dokumentacja technologiczna montażu .....	200
5.2.	Automatyzacja montażu .....	202
	5.2.1. Układy i zadania automatycznego montażu .....	202
	5.2.2. Roboty przemysłowe i manipulatory w automatycznym montażu .....	204
5.3.	Zabezpieczanie przed korozją .....	207
	5.3.1. Korozja metali .....	207
	5.3.2. Metody zabezpieczania przed korozją .....	210
5.4.	Znakowanie części i zespołów .....	214
	5.4.1. Orientowanie, cechowanie i znakowanie części i zespołów .....	214
	5.4.2. Znakowanie i grawerowanie laserowe .....	215
5.5.	Montaż mikroelementów .....	217
	Zapamiętaj .....	220
	Sprawdź swoją wiedzę .....	223
	Literatura .....	223

## 6. Systemy komputerowe do wspomaganie i oceny jakości montażu

6.1.	Systemy SPC .....	226
	Zapamiętaj .....	227
	Sprawdź swoją wiedzę .....	228
	Literatura .....	228
	Wykaz podstawowych pojęć w językach polskim, angielskim i niemieckim .....	229

# 4. Podstawowe operacje technologiczne montażu

- Montaż typowych zespołów maszynowych
- Montaż łożysk
- Montaż zespołów z łożyskami
- Montaż przekładni zębatych
- Montaż urządzeń hydraulicznych
- Montaż urządzeń pneumatycznych
- Wyważanie części i zespołów
- Sprawdzanie poprawności działania maszyn

## 4.1

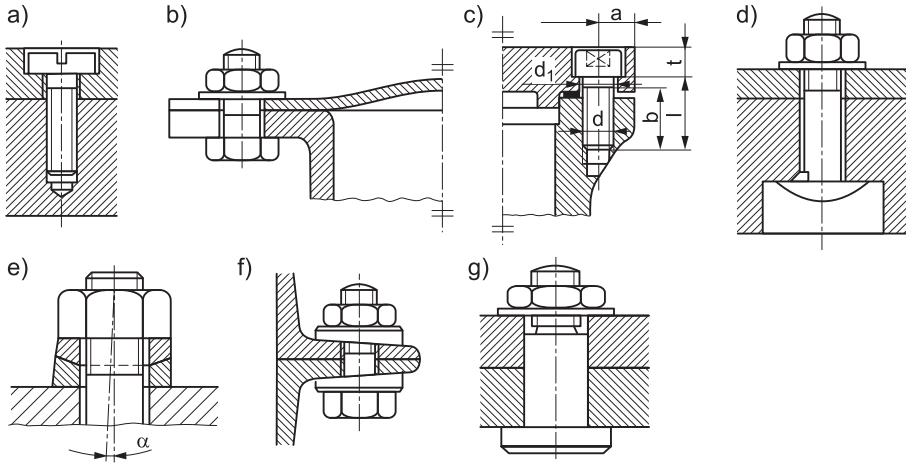
# Montaż typowych zespołów maszynowych

## W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

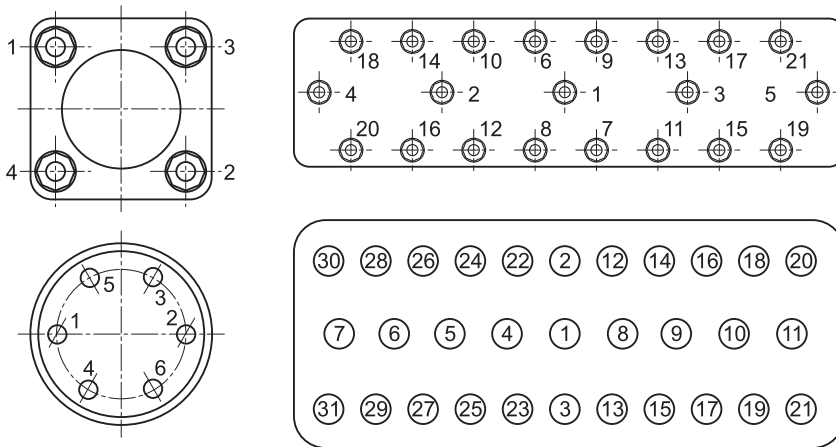
- jakie są podstawowe zasady montażu:
  - typowych zespołów maszynowych,
  - łożysk tocznych i ślizgowych,
  - zespołów z łożyskami tocznymi i ślizgowymi,
  - połączeń rozłącznych i nierozłącznych,
  - przekładni zębatych,
  - układów hydraulicznych i pneumatycznych
- na czym polega wyważanie części i zespołów (statyczne i dynamiczne)
- jak odbywa się sprawdzanie poprawności działania maszyn

Typowe zespoły maszynowe to proste połączenia charakterystycznych elementów maszyn i urządzeń, do których można zaliczyć: połączenia za pomocą łączników gwintowych, gumowych, elastomerowych lub elementów: sprężystych, uszczelniających itp., spełniających określone zadania.

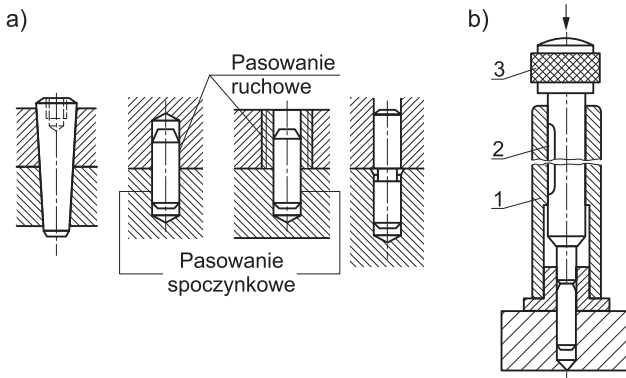
W przypadku zespalandia za pomocą łączników gwintowych mogą to być połączenia bezpośrednie, pośrednie, ruchowe lub spoczynkowe. Proste typowe zespoły (podzespoły) powstają po połączeniu: elementów obudowy z blach, części korpusów, pokryw z korpusami, kołnierzy rur lub elementów pierścieniowych, głowic silników spalinyowych itp. Podczas montażu ważne jest spełnienie następujących warunków: zastosowanie odpowiednich podkładek, dokręcenie śrub lub nakrętek z odpowiednią siłą docisku lub momentem obrotowym, przestrzeganie prawidłowej kolejności dokręcania łączników gwintowych i stosowania właściwego stopniowania wartości obciążeń, a także zabezpieczenie śrub lub nakrętek przed odkręceniem. W odpowiedzialnych połączeniach zawsze należy przestrzegać warunków technicznych montażu. Wartość siły docisku można kontrolować za pomocą wydłużenia mierzonego czujnikiem zegarowym, jeżeli jest taka możliwość. Innym sposobem zapewnienia odpowiedniej siły docisku jest użycie klucza granicznego, a w przypadku wymagania odpowiedniego momentu obrotowego (pary sił) – klucza dynamometrycznego. Odpowiednią wartość docisku można również uzyskać przez odpowiedni kąt dokręcenia śruby lub nakrętki od położenia, przy którym nastąpił pewny styk części łączonych. W mniej odpowiedzialnych przypadkach może to być wykonane przy użyciu klucza z odpowiednio długim ramieniem. Podstawowe rodzaje połączeń przedstawiono na rys. 4.1, a przykłady kolejności dokręcania śrub lub nakrętek na rys. 4.2. Przykład montażu kołków za pomocą oprawki zaprezentowano na rys. 4.3.



**Rys. 4.1.** Przykłady typowych połączeń gwintowych: a) śrubą krytą, b) korpusu i pokrywy, c) śrubą z gniazdem wewnętrznym ukrytą w pokrywie, d) z użyciem śruby noskowej zabezpieczającej przed obrotem, e) z podkładkami kulistymi – oś śruby nieprostopadła do powierzchni, f) ze śrubą pasowaną [4]



**Rys. 4.2.** Kolejność dokręcania śrub lub nakrętek. [1, 6]



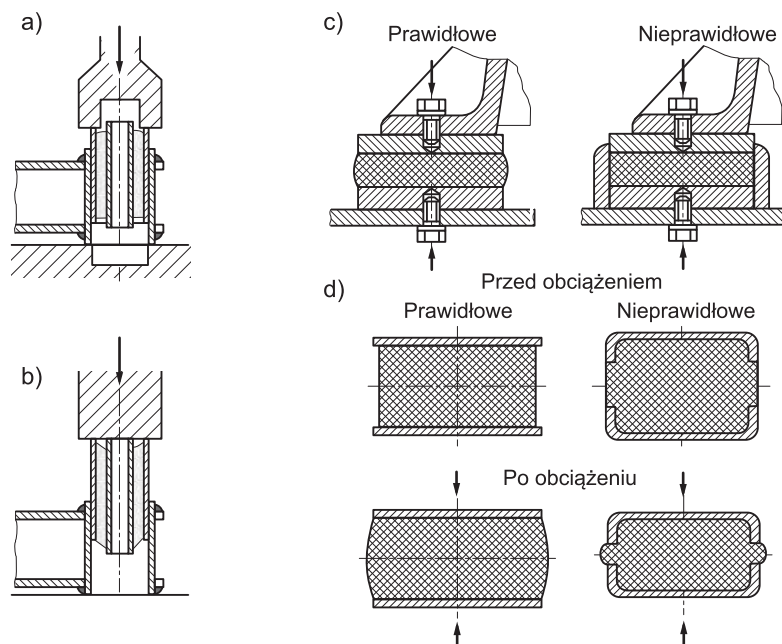
**Rys. 4.3.** Właczanie kołków ustalających: a) kołki, b) oprawka do włączania kołków

1 – tuleja, 2 – śruba ograniczająca, 3 – bijak [6]

**Łączniki gumowe** stosowane w budowie maszyn wykonane są z gumy o twardości 30–90 w skali Shore'a. Gumy miękkie mają twardość około 30, a twarde około 90 stopni w skali Shore'a. Guma znalazła zastosowanie w elementach części maszyn z uwagi na swoje zalety:

- dużą odkształcalność i zdolność tłumienia drgań,
- zdolność pochłaniania (kumulowania) energii i odporność na zmęczenie,
- łatwość łączenia z metalami przez wulkanizowanie lub klejenie,
- odporność na działanie kwasów i zasad.

Do ograniczeń gumy należą: niewielka wytrzymałość mechaniczna  $R_m = 31,5$  MPa, brak ściśliwości, mała odporność na działanie benzyny i olejów (są jednak także gumy olejoodporne), wąski zakres temperatury pracy  $-30 \div 65^\circ\text{C}$  (krótkotrwale w zakresie około  $-65 \div 100^\circ\text{C}$ ), naturalne starzenie się. Prawidłowo kształtowane łączniki gumowe powinny mieć możliwość swobodnego odkształcania się z uwagi na brak ściśliwości. Podczas montażu zespołów z łącznikami gumowymi należy przestrzegać zasady, aby po montażu guma miała przestrzeń do swobodnego odkształcania się podczas obciążeń. Nie powinno się używać łączników gumowych o zbyt dużej grubości, ponieważ wraz ze wzrostem grubości gumy maleje jej zdolność do przenoszenia obciążeń. Aby temu zapobiegać, stosuje się metalowe przekładki. Poprawne konstrukcje łączników gumowych (przed i po obciążeniu) oraz montaż tulei gumowo-metalowej pokazano na rys. 4.4.



**Rys. 4.4.** Przykłady łączników gumowych: a) poprawny montaż tulei gumowo-metalowej, b) niepoprawny montaż, c) prawidłowa i nieprawidłowa konstrukcja łącznika pod obciążeniem, d) prawidłowa i nieprawidłowa konstrukcja łączników przed i po obciążeniu [1, 4]

Coraz częściej w konstrukcjach elementów maszyn znajdują zastosowanie elastomery poliuretanowe, które charakteryzują się lepszymi własnościami od gumy ( $R_m = 20 \div 70$  MPa). Mają one duży zakres elastyczności przy stosunkowo dużej twardości, są odporne na działanie środowisk agresywnych i bardzo dobrze tłumią drgania. Sprężyny wykorzystywane w montażu jako łączniki sprężyste mogą być: płaskie, spiralne, śrubowe (naciągowe,

naciskowe), krążkowe i pierścieniowe. Zapewniają one stały kontakt pomiędzy współpracującymi częściami przez przyciąganie lub odpychanie, a w przypadku zastosowania sprężyn spiralnych (po obciążeniu momentem skręcającym) umożliwiają przeniesienie momentu obrotowego. Małe elementy sprężyste montuje się za pomocą odpowiednio ukształtowanych haczyków metalowych, natomiast duże – przy użyciu specjalnych przyrządów.

### PYTANIA I POLECENIA

1. Jakie zadania pełnią łączniki gwintowe w podstawowych zespołach maszynowych?
2. Scharakteryzuj montaż i przedstaw zastosowanie łączników gumowych.
3. Wymień zadania, jakie mogą pełnić sprężyny po montażu.



## 4.2

## Montaż łożysk

## W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

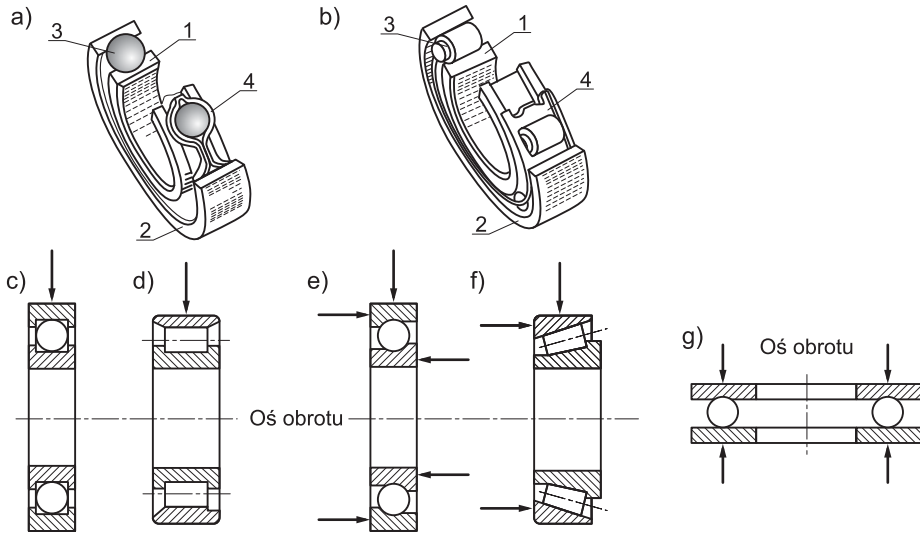
- jakie są podstawowe zasady montażu łożysk tocznych i ślizgowych

## 4.2.1. Montaż łożysk tocznych

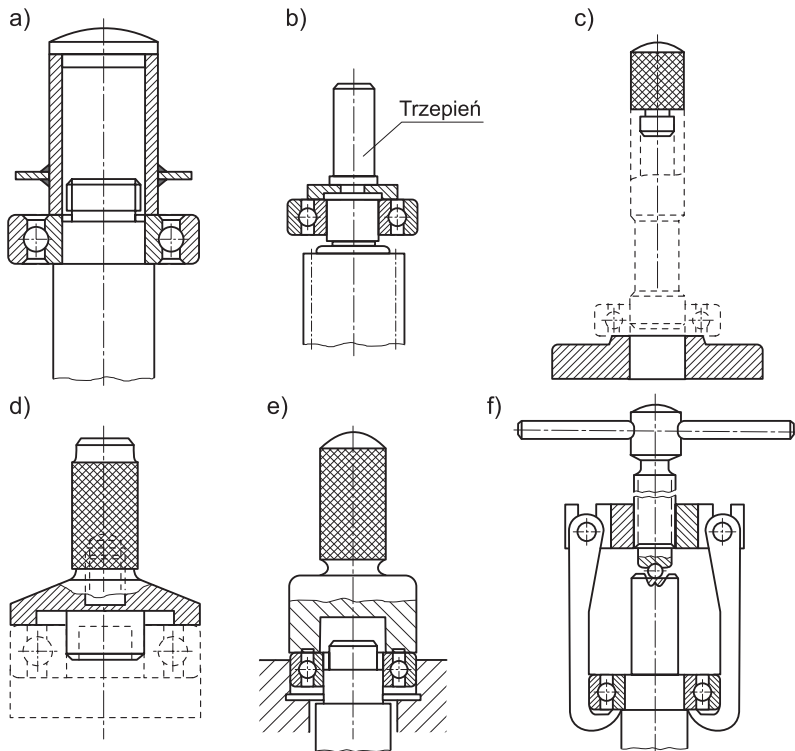
Montaż łożysk dotyczy łożysk tocznych i ślizgowych. **Łożyska toczne** zbudowane są na ogół z pierścienia zewnętrznego i wewnętrznego, pomiędzy którymi mieszczą się elementy toczne umieszczone w koszyczku. Mogą one mieć kształt kulek, wałeczków, stożków ściętych, baryłek oraz „igiełek” – cienkich wałeczków o średnicy  $d \leq 5,0$  mm (stosunek ich długości  $l$  do średnicy musi spełniać warunek  $l/d > 2,5$ ). Istnieją odmiany łożysk walcowych i igiełkowych, w których brak jest pierścienia wewnętrznego albo koszyczka (lub obu elementów jednocześnie). Funkcję pierścienia wewnętrznego pełni wtedy czop wału. Są również łożyska igiełkowe bez pierścienia zewnętrznego, w których jego funkcję pełni powierzchnia otworu współpracującej części. Łożyska tego typu spotyka się w częściach silników lotniczych (np. w dźwigience rozrzędu), gdzie z uwagi na lekkość konstrukcji i brak miejsca muszą być stosowane takie rozwiązania. W zależności od kierunku przenoszenia obciążeń wyróżnia się łożyska poprzeczne, wzdłużne, stożkowe i baryłkowe. Rodzaj łożyska zastosowanego w konstrukcji decyduje o sposobie jego montażu. Podczas montażu łożysk tocznych należy przestrzegać następujących warunków:

- czop wału, gniazdo łożyska i łożysko powinno być utrzymane w czystości;
- powierzchnie czopa i gniazda powinny mieć niską chropowatość powierzchni;
- błędy kształtu (stożkowość i owalność, graniastość) i położenia czopa i gniazda powinny być minimalne i mieścić się w granicach dopuszczalnych tolerancji;
- należy zachować wymagany rodzaj pasowania (zbyt duży wcisk powoduje zniekształcenie łożyska i zmniejszenie luzów pomiędzy elementami tocznymi);
- stosować pasowanie ciasne dla ruchomego wałka i suwliwe w gnieździe piasty – i odwrotnie, gdy piasta jest ruchoma, a wałek nieruchomy;
- montować i demontować łożyska za pomocą odpowiednich przyrządów gwarantujących współosiowość połączenia;
- wywierać siłę tylko na pierścieniu wciskane: przy osadzaniu na wałku – na pierścień wewnętrzny, przy osadzaniu w otworze – na pierścień zewnętrzny;
- unikać wywierania jednostronnych nacisków na pierścienie łożysk (lub uderzania w nie) z uwagi na możliwość ich uszkodzenia lub odkształcenie plastyczne miejsc osadzenia powodujące znaczne błędy współosiowości.

Podstawowe rodzaje łożysk tocznych i główne kierunki przenoszonych obciążeń pokazano na rys. 4.5. Nacisk przy włączaniu łożysk powinien być wywierany za pomocą prasy przy wykorzystaniu różnego rodzaju przyrządów do osiowania połączenia (rys. 4.6).

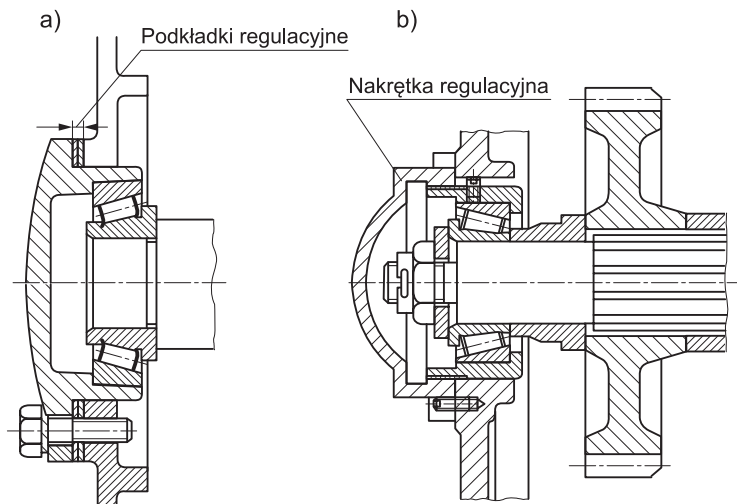


**Rys. 4.5.** Podstawowe łożyska i główne kierunki obciążeń: a) konstrukcja łożyska kulkowego, b) konstrukcja łożyska walcowego, c) kulkowe poprzeczne, d) walcowe poprzeczne, e) kulkowe poprzeczno-wzdłużne, f) walcowe stożkowe poprzeczno-wzdłużne, g) kulkowe wzdłużne [1]



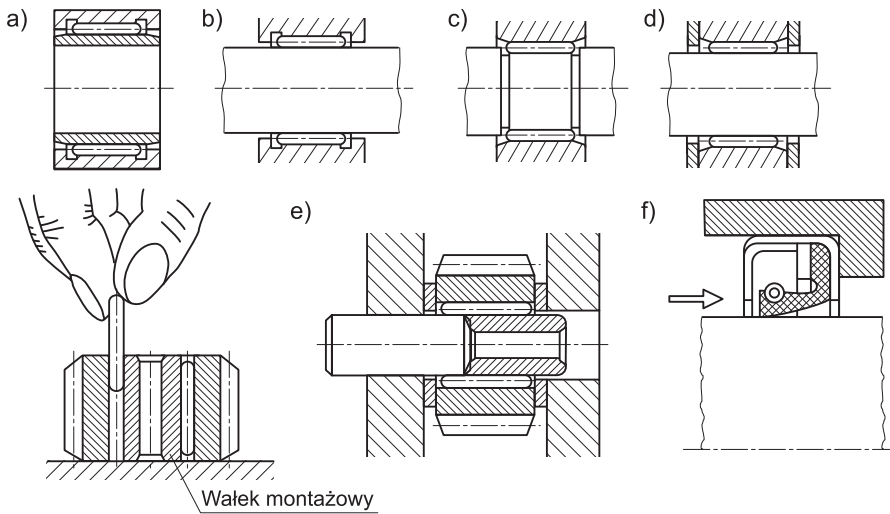
**Rys. 4.6.** Przyrządy do montażu i demontażu łożysk tocznych: a) właczanie łożyska na wałek za pomocą tulei, b) właczanie łożyska na wałek za pomocą trzepienia, c) osadzanie wałka w łożysku z oprawką zabezpieczającą na końcu wałka, d) przyrząd do osadzania łożyska w gnieździe, e) przyrząd do jednoczesnego osadzania łożyska w gnieździe i na wałku, f) ściągacz do demontażu łożyska [1]

Montaż łożysk stożkowych wymaga szczególnej uwagi, ponieważ przy jego wykonywaniu konieczne jest zapewnienie określonego luzu i zachowanie współosiowości łożysk współpracujących. Jeżeli dociska się pierścienia zewnętrznego za pomocą nasadki z kołnierzem, luz reguluje się za pomocą specjalnych podkładek (rys. 4.7).



**Rys. 4.7.** Ustalanie luzu łożysk walcowych stożkowych za pomocą: a) podkładek regulacyjnych, b) nakrętki [1]

W przypadku docisku pierścienia wewnętrznego za pomocą nakrętki dokręca się ją kluczem dynamometrycznym według instrukcji montażu. Prawidłowy montaż polega na mocnym dociśnięciu nakrętki z określonym momentem obrotowym, a potem jej lekkim odkręceniu dla uzyskania między elementami tocznymi wymaganego luzu. Aby utrzymać luz łożysk stożkowych, zabezpiecza się nakrętki napinające przed odkręceniem. Montaż łożysk igiełkowych bez pierścieni można wykonywać za pomocą wałka montażowego o średnicy nieco mniejszej od średnicy wałka rzeczywistego o około  $0,1 \div 0,2$  mm. Powierzchnie otworu części oraz wałka montażowego pokrywa się smarem stałym, a potem w szczelinę pomiędzy otworem i wałkiem montażowym wkłada się igiełki, tak aby ostatnia z nich wchodziła do szczeliny z odpowiednim luzem. Gdyby luz okazał się zbyt duży, to można go w rzadziej konieczności zlikwidować za pomocą wsunięcia metalowego paska o odpowiedniej grubości, zapewniającej właściwy luz roboczy pomiędzy igiełkami. Zabezpieczając igiełki przed osiowym przesuwaniem się za pomocą pierścienia o średnicy odpowiednio mniejszej od średnicy otworu współpracującego z igiełkami, wsuwa się wałek roboczy, który jednocześnie wysuwa wałek montażowy (rys. 4.8). Jeżeli łożyska toczne nie są zakryte, tj. zabezpieczone przed zanieczyszczeniami bocznymi osłonami w kształcie pierścieni z cienkiej blachy nierdzewnej lub tworzywa sztucznego, stosuje się filcowe uszczelnienia pojedyncze albo podwójne, o przekroju trapezowym lub labiryntowe, które spełniają swoje zadanie, gdy łożyska pokrywane są smarem stałym. W przypadku smarowania łożysk olejem stosuje się uszczelnienie z odrzutnikiem oleju. Obecnie jako uszczelnienia olejowe stosuje się znormalizowane pierścienie kołnierzowe typu Siemmera. Są to pierścienie gumowe (ze sprężynowym dociskiem do uszczelnianej powierzchni) w obu-  
dowie, uszczelniające w jednym kierunku. Przed nałożeniem pierścienia powierzchnię uszczelnianą wałka należy posmarować olejem w celu zmniejszenia tarcia.



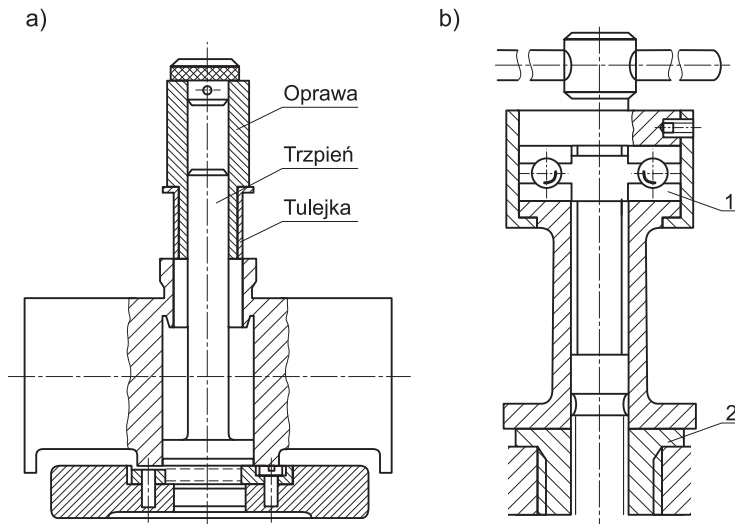
Rys. 4.8. Łożyska igiełkowe: a) z pierścieniem wewnętrznym i zewnętrznym, b, c, d) bez pierścieni, e) montaż za pomocą wałka montażowego, f) pierścień uszczelniający Siemmera [1]

## 4.2.2. Montaż łożysk ślizgowych

**Montaż łożysk ślizgowych** wymaga wzajemnego ustalenia czopów lub sworzni względem panewek, które mogą być dzielone lub niedzielone. Łożyska ślizgowe mogą być poprzeczne, wzdłużne i poprzeczno-wzdłużne. Współpraca czopa wału z panewką polega na ślizganiu się powierzchni czopa po powierzchni panewki w warunkach tarcia ślizgowego ze smarowaniem smarem stałym, najczęściej olejem, mgłą olejową, wodą (pompy do tlenu), a także za pomocą powietrza. Łożyska ślizgowe mogą przenosić bardzo duże lub bardzo małe obciążenia, umożliwiają łożyskowanie w przypadku konieczności dzielenia panewek, mogą też tłumić drgania wału i odprowadzać ciepło ze strefy tarcia ślizgowego. Ogólne warunki techniczne montażu łożysk ślizgowych mogą być następujące:

- łożyskowanie czopów wałów w kilku punktach powinno być tak montowane, aby zapewniało współosiowość w określonych granicach tolerancji;
- montaż musi zapewniać odpowiedni luz między czopami wałów i panewkami łożysk określony przez konstruktora;
- panewki powinny dokładnie przylegać do korpusów w celu umożliwienia dobrego odprowadzania ciepła, a otwory olejowe w korpusie i panewkach muszą się pokrywać;
- należy zapewnić odpowiedni stopień przylegania powierzchni czopów do powierzchni panewek i sprawdzić, czy nie występują błędy w kształtach panewek i czopów (owalność, stożkowość);
- trzeba zabezpieczyć montowane łożyska przed obrotem (za pomocą wkręta bez łba umieszczonego poziomo pośrodku tulejki lub pionowo wzdłuż tworzącej tulejki, a także kołka wciśniętego w kołnierz tulejki i korpusu) dla utrzymania stałego położenia względem otworu olejowego;
- należy rozwiertać rozwiertakiem otwór wciśniętej tulejki w celu zapewnienia wymaganych odchyłek wymiaru otworu, np. H7.

Montaż łożysk ślizgowych niedzielonych, tj. tulejek z materiałów łożyskowych, polega na ich włączaniu w korpus (za pomocą prasy i przyrządów zapewniających osiowanie tulejki względem otworu w korpusie, np. trzpienia prowadzącego – rys. 3.27b, c oraz rys. 4.9a). Można również wkręcać je w korpus przy użyciu przyrządów (rys. 4.9b).

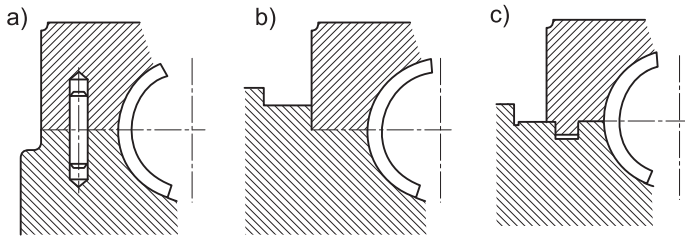


**Rys. 4.9.** Sposoby montażu tulejek: a) właczanie za pomocą przyrządu, b) wkręcanie za pomocą specjalnego klucza [1]

W przypadku niemożności wykorzystania prasy do właczania tulejki, można użyć płaskiej nakładki i drewnianego młotka, rys. 3.27a. Błędy kształtu otworu tulejki po rozwierceniu sprawdza się za pomocą średnicówki czujnikowej lub na współrzędnościowej maszynie pomiarowej.

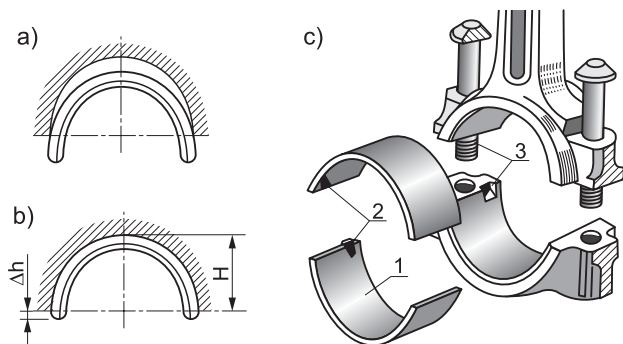
**Montaż łożysk ślizgowych dzielonych** polega na osadzeniu panewek w gniazdach korpusu składającego się z dwóch części, łączonych ze sobą za pomocą śrub kołkowych lub innych. Typowe łożysko dzielone składa się z podstawy, pokrywy, panewek, elementów do smarowania i śrub łączących. W korpusach maszyn, np. w dzielonych w płaszczyźnie osi wału korbowego korpusach silników spalinowych, gniazda panewek wykonuje się według jednej wspólnej bazy, najczęściej na sterowanych numerycznie centrach wyposażonych w sondy pomiarowe. Panewki mogą być cienkościenne lub grubościenne. Panewki są wylwane stopem łożyskowym, którego grubość po obróbce wynosi około 1,5 mm (może zawierać się w przedziale  $0,25 \div 2$  mm w zależności od wymiarów łożyska i wartości obciążenia). Mogą być wykonywane z kołnierzami lub bez. Panewki z kołnierzami służą do osiowego ustalenia położenia wału względem korpusu. Komplet panewek z kołnierzami tworzy po montażu w głównym gnieździe korpusu łożysko poprzeczno-wzdłużne. Panewki mogą być pasowane indywidualnie do każdego gniazda w korpusie i wówczas są odpowiednio oznaczane, aby można było wykonać poprawny montaż. Nie ma tu zamienności części. W przypadku zastosowania technologii, która pozwala uzyskać dużą dokładność gniazd łożyskowych w korpusie, wszystkie panewki wykonuje się z dokładnością umożliwiającą ich pełną zamienność w danej grupie (z kołnierzami i bez nich). Przed montażem sprawdza się wymiary oraz błędy kształtu i położenia gniazd łożyskowych, a także stan ich powierzchni. Jeżeli wszystkie odchyłki mieszczą się w odpowiednich polach tolerancji, przystępuje się do montażu panewek. Gdy łożyska smarowane są olejem, należy sprawdzić pokrywanie się otworów olejowych w korpusie i panewkach. Dopuszcza się niewspółosiowość tych otworów do 0,5 mm. Panewki zabezpiecza się przed przesunięciem względem gniazda za pomocą kołków lub wkrętów ustalających. Stosowane są też zabezpieczenia za

pomocą kołka z otworem olejowym w środku. Pokrywę pojedynczego łożyska lub górną część korpusu ustala się przy użyciu kołków ustalających lub śrub pasowanych. Podstawowe przykłady ustalania pokrywy łożyska przedstawiono na rys. 4.10.



**Rys. 4.10.** Sposoby ustalania pokrywy łożyska w stosunku do podstawy za pomocą: a) kołków, b) wycięć, c) wpustów [1]

Montaż panewek grubościennych polega na osadzeniu ich połówek w gniazdach łożysk z niedużym wciskiem lub suwliwie. Osadzanie odbywa się przy użyciu drewnianej lub duralowej nakładki, którą umieszcza się na powierzchni podziału panewek i delikatnie uderza młotkiem. Panewki cienkościennie montuje się z wciskiem, dokręcając śruby mocujące obie części łożyska. Wysokości obu części panewki muszą być nieco większe od wysokości gniazd ( $H$ ) rzędu  $\Delta h = 0,05-0,1$  mm – w zależności od średnicy, grubości i materiału panewki (rys. 4.11a, b). Wartość  $\Delta h$  powinna być tak dobrana, aby pozwalała uzyskać właściwy wcisk w wyniku działania odkształceń sprężystych, które nie spowodują zniekształceń panewki. Wszystkie elementy łożysk z panewkami cienkościennymi muszą być wykonane bardzo dokładnie (w 6. klasie dokładności), tak aby po montażu panewka nie wymagała dopasowywania do czopa. Miarą jakości łożyska ślizgowego jest stopień przylegania panewki do czopa. Jeżeli wynosi on  $75+10\%$ , jakość łożyska uznaje się za dobrą. Panewki cienkościennie mogą mieć otwory i rowki olejowe na wewnętrznej powierzchni styku z czopami i wtedy muszą być zabezpieczone przed obrotem, aby zachować właściwe położenie otworów olejowych. Zabezpieczenie przed obrotem polega na wykonaniu odpowiednich wgłębień na wewnętrznych częściach połówek gniazda przy powierzchni podziału łożyska. Natomiast na obu częściach panewki wykonuje się występy zewnętrzne, które wchodzić we wgłębienia gniazda (rys. 4.11c. Położenie występów i wgłębień powinno być tak wykonane, aby umożliwiło jednoznaczne położenie połówek panewki w gnieździe, zapewniające poprawne położenie otworów olejowych.



**Rys. 4.11.** Montaż panewek cienkościennych i zabezpieczenie panewek przed obrotem: a) stan przed montażem, b) stan po montażu, c) zabezpieczenie:

1 – panewka, 2 – występy ustalające, 3 – wgłębienia w obudowie panewki. [1]



## PYTANIA I POLECENIA

1. Jakie rodzaje łożysk tocznych mogą być montowane w konstrukcjach maszyn?
2. Podaj warunki techniczne, jakie powinny być przestrzegane przy montażu łożysk tocznych.
3. W jaki sposób powinien przebiegać montaż łożysk?
4. Jak uzyskuje się właściwe luzy przy montażu łożysk stożkowych?
5. Przedstaw jak wykonuje się montaż łożyska igiełkowego.
6. Jakie rodzaje uszczelnień stosuje się do łożysk tocznych?
7. Jakie rodzaje łożysk ślizgowych mogą być montowane w konstrukcjach maszyn?
8. Podaj warunki techniczne montażu łożysk ślizgowych.
9. W jaki sposób powinien przebiegać montaż łożysk ślizgowych niedzielonych?
10. Jakiego rodzaju trudności występują przy montażu łożysk ślizgowych dzielonych z panewkami grubościennymi i cienkościnnymi?
11. W jakim celu zabezpiecza się panewki dzielone przed przemieszczeniem?

# 4.3

## Montaż zespołów z łożyskami

### W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

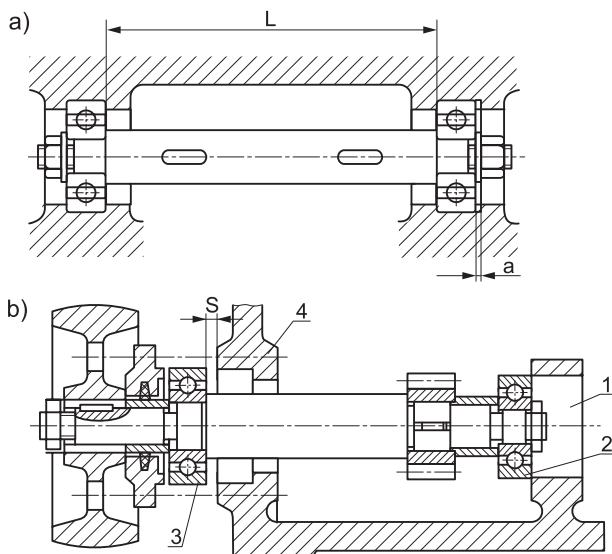
- jakie są podstawowe zasady montażu zespołów z łożyskami tocznymi i ślizgowymi

Montaż zespołów z łożyskami może dotyczyć zespołów z łożyskami ślizgowymi lub tocznymi. Pomieszczenia montażowe powinny być utrzymywane w czystości, z dobrą widocznością, bez wilgoci, zabezpieczone przed przenikaniem zanieczyszczeń powietrza cząstkami stałymi oraz stałej temperaturze około  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , podobnie jak w laboratoriach pomiarowych. Części do montażu powinny być czyste i wolne od korozji. Pasowania czopów z łożyskami tocznymi wykonuje się według zasady stałego otworu, natomiast łożyska z obudową – według zasady stałego wałka. Łożyska toczne przed montażem zwykle mają luz większy niż po nim, ponieważ w trakcie montażu polegającego na włączaniu pierścieni dochodzi do zmian wymiarowych, które go zmniejszają. Pierścienie wewnętrzne włączane na elementy obrotowe (ruchome wały) lub zewnętrzne włączane w gniazda elementów obrotowych (tarcze lub piasty) zmieniają swoje średnice, co jest przyczyną zmniejszania się luzów w łożyskach. Pierścienie wewnętrzne zwiększają swoją średnicę, natomiast zewnętrzne zmniejszają. Zmiany wymiarowe pierścieni zależą od: siły wciску, struktury geometrycznej powierzchni wału lub obudowy, materiału wału lub obudowy, grubości ścianek wału (może być pełny lub z otworem w środku) albo obudowy oraz wymiarów pierścieni. W przypadku włączania pierścienia wewnętrznego na czop lub wał zmiany te mogą powodować zmniejszenie luzu w łożysku rzędu 50–70%. Mniejsze wartości odnoszą się do mniejszych wymiarów pierścieni i grubszych ścianek. Zmiany wymiarów pierścieni wciskanych zewnętrznych są większe niż pierścieni wewnętrznych z uwagi na rozwiązania konstrukcyjne stosujące różne grubości ścianek i uźebrowania korpusów. Wartość siły wciску należy uwzględnić już na etapie konstruowania, gdyż pierścień wewnętrzny na ogół nagrzewa się podczas pracy do wyższej temperatury niż zewnętrzny, co również przyczynia się do zmniejszania luzu. Na dokładność pracy zespołów maszyn z łożyskami tocznymi mają wpływ następujące czynniki: rodzaj pasowania pierścienia wewnętrznego i zewnętrznego, błędy kształtu oraz położenie czopa i gniazda łożyska w obudowie, grubość ścianki obudowy i czopa, niejednakowa grubość pierścieni, zmienność obciążenia łożyska, sposób smarowania i wahania temperatury. Wywieranie na łożyska wstępnego naprężenia podczas montażu i czynników występujących podczas pracy łożyska powoduje zmniejszanie przemieszczania się osi wałów, a więc zwiększa się stabilność pracy. W wielu przypadkach podczas włączania łożysk na czopy pierścieni wewnętrznych dla ułatwienia montażu zaleca się podgrzanie łożyska do temperatury rzędu  $60 \div 100^\circ\text{C}$  w kąpeli olejowej. Należy mieć na uwadze, aby nie podgrzewać łożysk do wyższej temperatury z uwagi na możliwość obniżenia własności materiału pierścieni i elementów tocznych. Nieduże korpusy można ogrzewać w kąpeli olejowej w wannie lub przez odmuchiwanie gorącym strumieniem powietrza, jeżeli nie mieszczą się w wannie. Ogrzane pierścienie zakłada się



na czopy i włącza do oporu. Po montażu przeprowadza się kontrolę stanu technicznego połączenia, sprawdzając przyleganie czół do płaszczyzn oporowych, równomierność pracy łożysk, cichobieżność oraz inne parametry podane w instrukcji montażu.

W zespole, w którym po montażu są dwa łożyska lub więcej, tylko jedno z nich zabezpiecza się przed osiowym przemieszczeniem względem wału i korpusu. W przypadku montażu zespołu z dwoma łożyskami tocznymi na wale w dzielonym korpusie wymiary  $L$  pomiędzy wewnętrznymi powierzchniami pierścieni zewnętrznych łożysk w korpusie powinny być niezależne od wymiaru powierzchni oporowych łożysk na wale (rys. 4.12a). Można tę niezależność osiągnąć przez zapewnienie luzu  $a$  lub dobór łożysk o zwiększonych luzach osiowych. Kompensuje to błędy montażu oraz zabezpiecza przed możliwością zaklinowania się kulek w wyniku zmian temperatury. Lewe łożysko ustala położenie wału w korpusie. Dla udoskonalenia montażu zespołu wału z łożyskami w korpusie niedzielnym (rys. 4.12b) zaleca się stopniowe wprowadzanie pierścieni zewnętrznych łożysk w wytoczenia korpusu 4. Po wprowadzeniu łożyska 2 w początek wytoczenia 1 i uzyskaniu prowadzenia łożyska 3 zacznie być wprowadzane w wytoczenie 4, po czym zespół jako całość zostanie wprowadzony do łożyska 3. Uchwycenie prowadzenia łożyska 1 umożliwi wymiar  $s$ . Przy montażu zespołu wału z łożyskami stożkowymi walcowymi montuje się oddzielnie wewnętrzne pierścienie z wałeczkami i koszyczkami na wale, a następnie montuje i napina pierścienie zewnętrzne w korpusie.



**Rys. 4.12.** Montaż zespołów z łożyskami tocznymi:

a) zabezpieczenie łożysk przed przesunięciem osiowym (korpus dzielony)

$L$  – rozstaw łożysk,  $a$  – luz osiowy,

b) montaż ze stopniowym wprowadzaniem łożysk do korpusu (korpus jednolity)

1, 3 – łożyska, 2, 4 – gniazda łożysk,  $s$  – luz początkowy [5]

## PYTANIA I POLECENIA

1. Jakie czynniki wpływają na rzeczywistą wartość luzu w łożyskach tocznych?
2. Wymień czynności ułatwiające montaż łożysk tocznych.
3. Jakie zasady powinny być przestrzegane przy montażu zespołów z łożyskami?

## 4.4

# Montaż przekładni zębatych

## W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

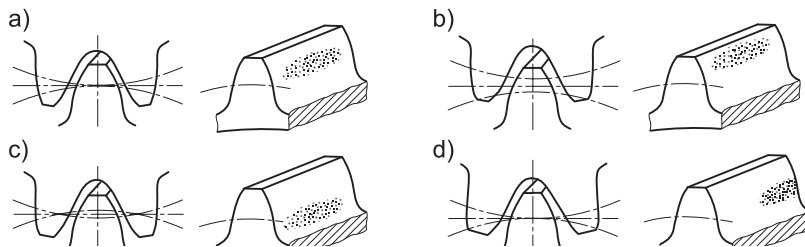
- jakie są podstawowe zasady montażu przekładni zębatych

Montaż przekładni zębatych dotyczy przekładni: walcowych stożkowych ślimakowych, fałowych i innych. Najbardziej popularne są przekładnie walcowe, stożkowe i ślimakowe. Poprawny **montaż przekładni walcowej** powinien spełniać następujące warunki techniczne:

- koła zębate powinny być zamontowane prostopadle do osi wałów;
- osie wałów, na których osadzone są koła zębate, powinny być równoległe;
- odległość osi powinna być równa połowie sumy średnic podziałowych kół zębatych, aby styk zębów na kołach podziałowych znajdował się w płaszczyźnie osi łożysk;
- luz międzyzębny na obwodzie kół podziałowych powinien być równomierny i mieć wartość zgodną z warunkami technicznymi;
- wszystkie odchyłki położenia i kształtu powinny mieścić się w dopuszczalnych granicach zgodnie z warunkami technicznymi.

Sposób montażu uzależniony jest od rodzaju korpusu, który może stanowić jednolitą całość lub być dzielony w płaszczyźnie osi wałków – oraz rodzaju łożysk, ślizgowych albo tocznych. W produkcji jednostkowej lub małoseryjnej na ogół sprawdza się przed montażem czy osie łożysk wału są do siebie równoległe i leżą w wymaganej odległości, a odchyłki położenia i wymiaru wraz polem niedokładności pomiarów mieszczą się w polu tolerancji. Sprawdza się również, czy płaszczyzna, w której leżą osie łożysk, ma prawidłowe położenie względem płaszczyzny odniesienia lub korpusu. W produkcji wielkoseryjnej lub masowej stosuje się węższe pola tolerancji i sprawdzanie poprawności wykonania odbywa się na stanowisku produkcyjnym, a nie bezpośrednio przed montażem. Pomiarów równoległości osi i odległości między nimi oraz położenia płaszczyzny, w której leżą osie, dokonuje się przy użyciu trzpieni mierniczych, suwmiarek, mikrometrów, średnicówek i innych narzędzi lub za pomocą współrzędnościowych maszyn pomiarowych. W pierwszej kolejności przy użyciu wpustów (z lekkim wciskiem) osadza się na wałkach koła zębate i ustala za pomocą tulejek dystansowych lub nakrętek. W innych przypadkach włącza się je z wciskiem określonym przez rodzaj pasowania za pomocą prasy. Po montażu kół zębatych sprawdza się w kłach bicia promieniowe i czołowe kół zębatych. Bicie promieniowe kół zębatych sprawdza się na średnicy podziałowej wkładając we wręby zębów wałeczki pomiarowe o średnicy, która zapewnia styk wałeczka na średnicy podziałowej. Za pomocą czujnika zegarowego zamocowanego w stałym położeniu mierzy się położenie wałeczka w każdym wrębie koła na kierunku promieniowym od położenia odniesienia. Wartości bicia średnicy podziałowej wyznacza się we wszystkich wrębach, odejmując od każdego wyniku pomiaru najmniejszą wartość. Największa wartość określa bicie promieniowe koła zębatego, natomiast wszystkie wyniki stanowią zbiór wartości określający rozkład bicia promieniowego na średnicy podziałowej. Wartość bicia nie może przekroczyć

wartości dopuszczalnej podanej w warunkach technicznych instrukcji montażu. Dopuszczalne wartości bicia promieniowego w przeciętnych warunkach montażu kół zawierają się w granicach  $0,025 \div 0,075$  mm w zależności od modułu i średnicy koła. Bicie czołowe mierzy się również za pomocą czujnika zegarowego na największej średnicy bocznej powierzchni koła. Nie powinno ono przekraczać wartości  $0,1 \div 0,15$  mm. Po stwierdzeniu, że odchyłki mieszczą się w dopuszczalnych granicach, dokonuje się montażu zespołów wałków z kołami zębatymi w korpusie i sprawdza poprawność współpracy kół zębatych przez obserwację pola styku zazębienia (rys. 4.13).



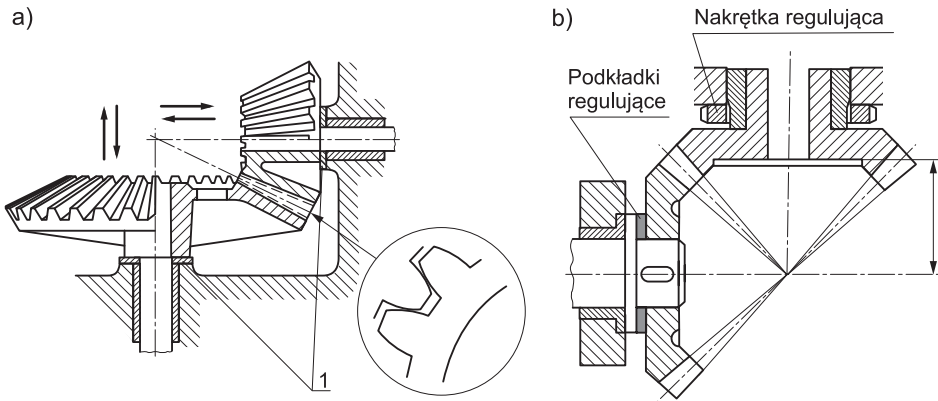
**Rys. 4.13.** Ślady zazębienia kół zębatych: a) prawidłowe, b) za duży luz na obwodzie – za duża odległość między osiami, c) za mały luz na obwodzie – za mała odległość między osiami, d) osie wałków nie leżą w płaszczyźnie [5]

W tym celu kilka zębów mniejszego koła pokrywa się cienką warstewką tuszu i wykonuje parę obrotów kół zębatych. Na kole współpracującym odbijają się ślady styku zębów, które wyznaczają powierzchnię przylegania. Prawidłowe przyleganie zębów na całej długości w obszarze ich czynnej wysokości powinno być rozłożone symetrycznie względem średnicy podziałowej. Powierzchnia przylegania przesunięta w kierunku wierzchołka zęba wskazuje, że odległość między osiami kół jest za duża, przesunięta w kierunku stopy zęba oznacza, że jest za mała. Ślady powierzchni przylegania przesunięte w kierunku bocznej krawędzi zęba przy obracaniu kół w kierunku przeciwnym przechodzące na drugi bok zęba (po stronie tej samej krawędzi) świadczą o nierównoległości osi wałków. Położone przy jednej krawędzi zęba ślady powierzchni przylegania, które przy obracaniu kół w przeciwną stronę przechodzą na drugi bok zęba przy drugiej krawędzi, oznaczają, że osie są wichrowate (nie leżą w jednej płaszczyźnie). Powierzchnia przylegania zębów zależy od klasy dokładności wykonania kół zębatych i powinna zawierać się w granicach  $50 \div 75\%$  szerokości zęba i  $40 \div 60\%$  w kierunku wysokości zęba. W przekładniach szybkoobrotowych ślad przylegania powinien obejmować  $70 \div 80\%$  szerokości zęba. Bardzo ważnym parametrem jest luz międzyzębny (obwodowy), który powinien zawierać się w granicach  $\delta = (0,015 \div 0,030)$  m [mm] (gdzie m – moduł). Luz międzyzębny sprawdza się szczelinomierzem lub czujnikiem zegarowym z końcówką pomiarową umieszczoną na średnicy podziałowej prostopadłe do powierzchni zarysu ewolwentowego.

**Montaż przekładni zębatych stożkowych** wymaga spełnienia następujących warunków:

- osie kół zębatych stożkowych współpracujących ze sobą powinny leżeć w jednej płaszczyźnie i przecinać się w jednym punkcie, który jest wspólnym wierzchołkiem stożków podziałowych;
- linia styczności stożków podziałowych powinna zwiierać wspólną tworzącą obu stożków;
- muszą być zachowane wymagane luzy międzyzębne;
- wszystkie odchyłki położenia i kształtu powinny mieścić się w dopuszczalnych granicach, zgodnie z warunkami technicznymi.

W produkcji jednostkowej i małoseryjnej sprawdzeniu podlegają: prostota osi łożysk wałków z kołami stożkowymi (za pomocą liniału i trzpienia pomiarowego), wartości kąta prostego (przy użyciu poziomego trzpienia pomiarowego i widełek z poziomymi otworami), wzajemne przesunięcie osi pionowej i poziomej (za pomocą specjalnego przyrządu z dwoma oddzielnymi czopami poziomymi o takiej samej średnicy i wspólnym przesuwym pierścieniu). Przyrządy te umożliwiają sprawdzenie, czy odchyłki wzajemnego położenia osi są mniejsze, czy równe wartościom dopuszczalnym. Pomiary sprawdzające mogą być również wykonane na współrzędnościowej maszynie pomiarowej. Przy montażu warunek, aby osie stożków podziałowych przecinały się w jednym punkcie w odpowiedniej odległości realizowany jest za pomocą podkładek wymiarowych (rys. 4. 14a), lub za pomocą podkładek i tulei gwintowanej z nakrętką (rys. 4. 14b). W drugim przypadku ustala się dla jednego z kół odległość  $H$  i reguluje położenie drugiego koła za pomocą gwintowanej tulei z nakrętką.



Rys. 4.14. Schemat montażu kół zębatach stożkowych z regulacją odległości za pomocą: a) podkładek wymiarowych, b) podkładek i tulei gwintowanej z nakrętką [5, 1]

Sprawdzone zostaje również bicie promieniowe i czołowe oraz luz międzyzębny.

Montaż przekładni ślimakowej wymaga spełnienia następujących warunków:

- oś łożysk ślimaka powinna być prostopadła do osi ślimacznicy;
- oś ślimaka powinna leżeć w płaszczyźnie symetrii ślimacznicy;
- odległość osi, mierzona w płaszczyźnie prostopadłej do osi ślimaka i przechodzącej przez środek ślimacznicy, powinna być równa połowie sumy średnic kół podziałowych ślimaka i ślimacznicy (w płaszczyźnie symetrii ślimacznicy);
- wszystkie odchyłki powinny mieścić się w dopuszczalnych granicach.

## PYTANIA I POLECENIA

1. Jakie warunki powinny być spełnione przy montażu przekładni zębatej walcowej?
2. Jakie parametry sprawdzane są po montażu zespołu wałków z kołami zębatymi?
3. Wyjaśnij, co oznaczają różne położenia śladów współpracy zębów w przekładni.
4. W jakich granicach powinien zawierać się luz międzyzębny w przekładni zębatej?
5. Przedstaw warunki wymagane przy montażu przekładni stożkowej.
6. W jaki sposób ustala się koła stożkowe w przekładniach stożkowych?
7. Jakie warunki powinny być spełnione przy montażu przekładni ślimakowej?

## 4.5

# Montaż urządzeń hydraulicznych

## W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

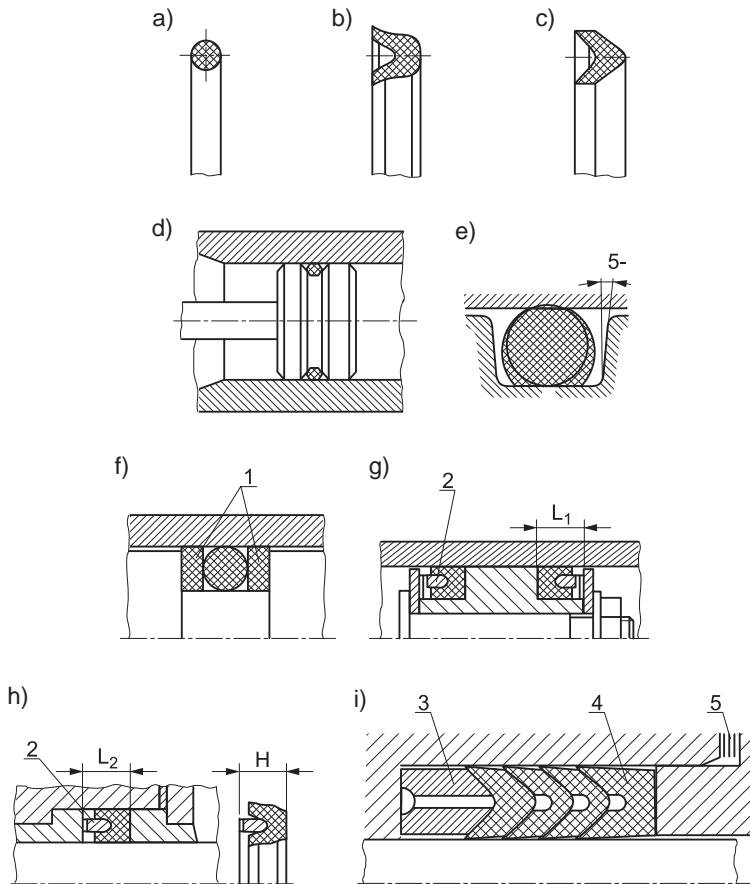
- jakie są podstawowe zasady montażu układów hydraulicznych

W skład urządzeń hydraulicznych wchodzi wiele powszechnie stosowanych elementów, z których najważniejsze to silnik (źródło energii), pompa (źródło ciśnienia), przewody ciśnieniowe sztywne i elastyczne, urządzenia regulacyjne i sterujące, silnik hydrauliczny do bezpośredniego przekazywania ruchu, urządzenia pomocnicze (zbiorniki, manometry, przepływomierze itp.) oraz czynnik roboczy – zazwyczaj jest to olej. W napędach hydraulicznych najczęściej stosowane są pompy wirujące: zębate, łopatkowe i tłokowe z osiowym, stożkowym lub promieniowym układem tłoków. Urządzeniami regulacyjnymi i sterującymi są regulatory prędkości, zawory, rozdzielacze itp. Silniki hydrauliczne to silniki łopatkowe i tłokowe oraz tzw. siłowniki tłokowe. W skład urządzeń pomocniczych wchodzi: filtry, uszczelki, przewody, łącza itp. elementy. Do podstawowych warunków technicznych montażu urządzeń hydraulicznych można zaliczyć:

- w trakcie montażu powinna być zachowana czystość (otoczenie powinno być szczególnie chronione przed twardymi i ostrymi cząstkami stałymi w postaci kurzu lub innych ciał obcych);
- elementy przeznaczone do montażu powinny być starannie oczyszczone i odmuchane strumieniem czystego powietrza pod ciśnieniem;
- bezwzględnie powinny być przestrzegane zalecenia instrukcji zawarte w dokumentacji technologicznej montażu;
- wszystkie czynności montażowe powinny być wykonane z możliwie dużą starannością;
- próby szczelności powinny być przeprowadzone zgodnie z warunkami odbioru technicznego.

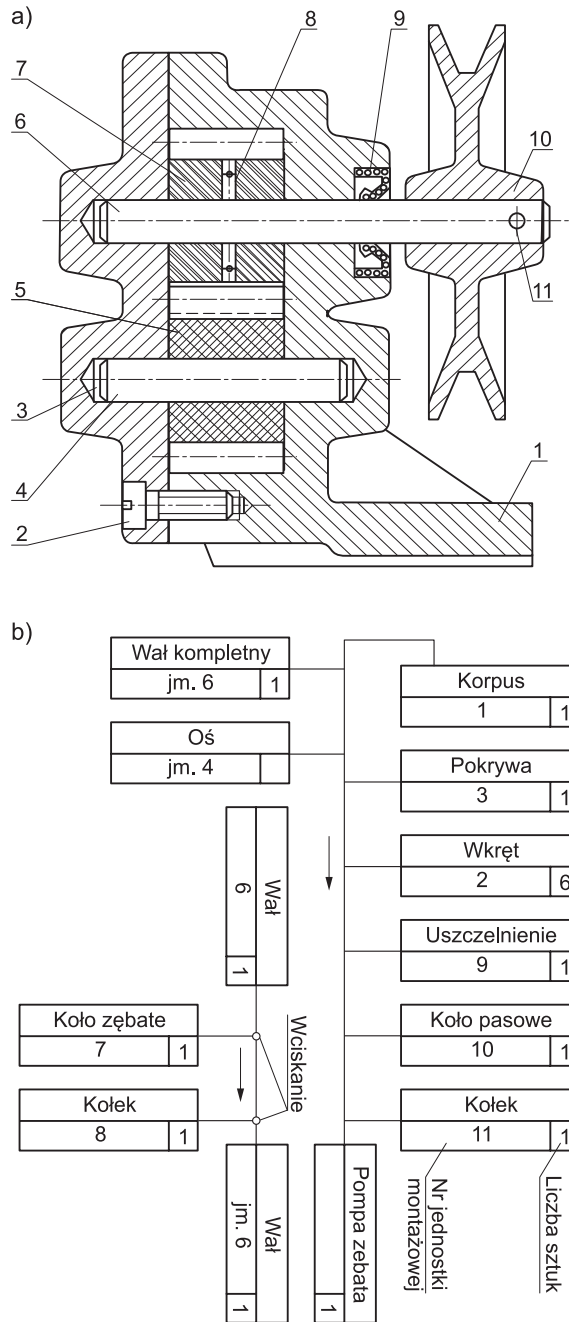
Szczególną uwagę należy poświęcić montażowi często stosowanych uszczelnień gumowych. Właściwie wykonane, zapewniają niezawodną i bezpieczną pracę urządzeń hydraulicznych. Podstawowe typy pierścieni uszczelniających i przykłady uszczelnień przedstawiono na rys. 4.15. Jeżeli czynnikiem roboczym jest olej, uszczelnienia gumowe powinny być wykonane z gumy olejoodpornej. W przypadku uszczelniania tłoka pierścieniem o przekroju kołowym wprowadza się po obu jego stronach pierścienie z tworzywa sztucznego 1 (rys. 4.15f), które zabezpieczają pierścień uszczelniający przed deformacją w czasie montażu lub demontażu oraz przed działaniem ciśnienia oleju w czasie pracy. Przy zastosowaniu pierścieni typu U wymaga się zastosowania pierścieni podporowych 2, które ustalają pierścienie uszczelniające wzdłuż osi tłoka. Pierścienie typu V wykorzystywane do uszczelniania tłocznika wymagają zastosowania pierścieni dociskowych 3 oraz pierścieni oporowych 4 (rys. 4. 15i), a wartość docisku do powierzchni roboczej

reguluje się za pomocą podkładek 5. Przed montażem należy pierścienie i powierzchnię współpracującą zwilżyć olejem dla zmniejszenia siły tarcia. Powierzchnie współpracujące i gniazda nie powinny mieć żadnych ostrych krawędzi. Brzegi gniazd powinny mieć wykonane odpowiednie skosy ułatwiające montaż, a wszystkie krawędzie powinny być zaokrąglone i gładkie. Uszczelki powinny być wprowadzane w zwilżone olejem otwory za pomocą tulejek z tworzyw sztucznych o gładkiej powierzchni i zaokrąglonych krawędziach. W żadnym przypadku nie należy dopuścić do skręcenia uszczelki w trakcie czynności montażowych lub montażu uszczelki uszkodzonej. Po montażu, regulacji i odpowietrzeniu urządzenia hydraulicznego należy przeprowadzić próbę szczelności przy ciśnieniu o 50% wyższym od ciśnienia roboczego, zgodnie z warunkami odbioru technicznego. W przypadku braku danych o czasie trwania próby urządzenie powinno być poddane działaniu podwyższonego ciśnienia w czasie większym lub równym jednej minucie.



**Rys. 4.15.** Przykłady uszczelniania za pomocą pierścieni gumowych: a) pierścień o przekroju kołowym O, b) o przekroju U, c) o przekroju V, d) tłok uszczelniony pierścieniem O, e) odształcenie pierścienia O po zamontowaniu w cylindrze, f) zastosowanie osłony pierścienia U do uszczelnienia tłoka, g) zastosowanie pierścienia U do uszczelnienia tłocznicy, h) zastosowanie pierścienia U do uszczelnienia tłocznicy, i) zastosowanie pierścienia V do uszczelnienia tłocznicy [1, 6]

Pompę zębatą wraz z przykładem procesu technologicznego montażu przedstawiono na rys. 4.16a, b.



Rys. 4.16. Schemat montażu pompy zębatej: a) rysunek złożeniowy, b) schemat montażowy podstawowych zespołów [3]

## PYTANIA I POLECENIA

1. Scharakteryzuj podstawowe urządzenia hydrauliczne.
2. Jakie są zasadnicze warunki techniczne montażu urządzeń hydraulicznych?
3. Przedstaw rodzaje uszczelek i uszczelnień gumowych.
4. W jaki sposób należy przygotować części do montażu?
5. W jakim celu wykonuje się próbę szczelności?
6. Przeanalizuj budowę i schemat procesu technologicznego montażu pompy zębatej.
7. Wskaż zespoły montażowe w zbiorze części pompy.



## 4.6

## Montaż urządzeń pneumatycznych

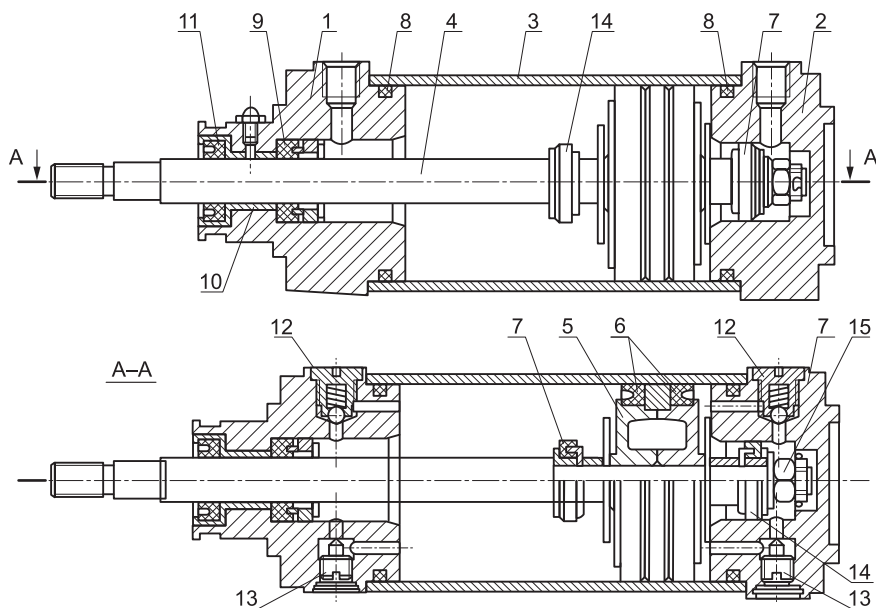
### W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

- jakie są podstawowe zasady montażu urządzeń pneumatycznych

Urządzenia pneumatyczne to: sprężarki stanowiące źródło energii (ciśnienia) powietrza, sieci sprężonego powietrza, silniki pneumatyczne, urządzenia regulacyjne i sterujące oraz urządzenia pomocnicze. Do podstawowych konstrukcji tego typu można zaliczyć: sprężarki tłokowe (jedno- lub wielocylindrowe), wirnikowe (odśrodkowe lub osiowe) oraz śrubowe. Wyróżnia się silniki pneumatyczne o ruchu prostoliniowym lub obrotowym. Silniki pneumatyczne o ruchu prostoliniowym nazywa się powszechnie **siłownikami**, które mogą być dwustronnego lub jednostronnego działania. Są również silniki pneumatyczne przeponowe o jednostronnym działaniu. Silniki pneumatyczne o ruchu obrotowym to silniki wirnikowe łopatkowe, w których moment obrotowy wirnika uzyskiwany jest przez powietrze rozprężające się w komorach o zmiennej objętości, oraz silniki turbinowe, w których moment obrotowy powstaje dzięki opływowi łopatek turbiny o specjalnym profilu przez sprężone powietrze. Przepływające wokół łopatek powietrze wytwarza ciśnienie, które powoduje powstanie siły aerodynamicznej obracającej wirnik. Silniki pneumatyczne turbinowe znalazły zastosowanie jako napęd wrzecion szlifierek, urządzeń dentystycznych itp. Rozdzielacze pneumatyczne sterują zmianą kierunku ruchu tłoków siłowników pneumatycznych. W urządzeniach pneumatycznych stosowane są zawory: odcinające, zwrotne, dławiące, redukcyjne i stabilizujące. Zawory dławiące służą do regulacji natężenia przepływu powietrza. Zawory redukcyjne służą do utrzymania stałego ciśnienia powietrza, o określonej wartości dopływającego do określonego urządzenia (na wyjściu) niezależnie od zmian ciśnienia i natężenia przepływu powietrza dopływającego (na wejściu). Do urządzeń pomocniczych zalicza się filtry cyklonowe (oddzielające stałe cząstki unoszące się w powietrzu w wyniku działania siły odśrodkowej) i absorpcyjne (zatrzymujące i pochłaniające zanieczyszczenia za pomocą różnego rodzaju wkładek filtracyjnych). Pozostałe elementy urządzeń pneumatycznych to przewody i smarownice, które wytwarzają mgłę olejową niezbędną do smarowania urządzeń sterujących. Urządzenia pneumatyczne pod wieloma względami przypominają urządzenia hydrauliczne.

Montaż urządzeń pneumatycznych na przykładzie montażu siłownika pneumatycznego dwustronnego działania przedstawiono na rys. 4.17.

Montaż rozpoczyna się od osadzenia tłoka 5 i amortyzatorów 14 na tłoczysku 4 i dokręceniu tych elementów nakrętką 15, którą należy dobrze zabezpieczyć. Ze szczególną dokładnością i starannością należy założyć pierścienie uszczelniające tłoka 6 i amortyzatorów 7. Kolejną czynnością jest zamontowanie cylindra pneumatycznego. Najpierw, po uprzednim założeniu uszczelki 8, wciska się pokrywę 2 w tuleję cylindra 3. Następnie osadza się w pokrywie 1 tuleję 10 prowadzącą tłoczysko oraz uszczelki 9 i 11, po czym – po osłonięciu wszystkich ostrych krawędzi zakończenia tłoczyska – wprowadza się pokrywę 1



Rys. 4.17. Siłownik pneumatyczny tłokowy podwójnego działania [1]

w tłoczyko 4 i wciska w tuleję cylindrową 3 po osadzeniu uszczelki 8. Ostatni etap montażu to wkręcenie zaworów zwrotnych 12 i dławików amortyzatora 13. Podczas montażu należy utrzymywać czystość i ściśle przestrzegać instrukcji montażu. Podobnie jak w przypadku montażu urządzeń hydraulicznych układy pneumatyczne należy montować dokładnie według dokumentacji technologicznej montażu. Po ukończeniu montażu należy przeprowadzić regulację, sprawdzić poprawność działania urządzenia, usunąć wszystkie usterki i wykonać próbę szczelności.

## PYTANIA I POLECENIA

1. Scharakteryzuj podstawowe urządzenia pneumatyczne.
2. Jak działają silniki pneumatyczne i co to jest siłownik?
3. Jakie są zadania urządzeń regulacyjnych, sterujących i pomocniczych?
4. Przedstaw przebieg montażu siłownika pneumatycznego dwustronnego działania.

## 4.7

## Wyrównywanie części i zespołów

### W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:

- na czym polega wyrównywanie części i zespołów (statyczne i dynamiczne)

Wyrównywanie części i zespołów może być statyczne i dynamiczne. Dotyczy to części i zespołów, które nominalnie pracują w ruchu obrotowym. Wyrównowanie statyczne istnieje wówczas, gdy element wytrącony z położenia równowagi zatrzymuje się w dowolnym położeniu lub ustawiony w dowolnym położeniu nie zmienia swego położenia i pozostaje nieruchomy. Część lub zespół jest niewyrównowany statycznie, jeżeli jego środek ciężkości nie leży na osi obrotu. Taki stan podczas ruchu obrotowego powoduje powstawanie siły dynamicznej odśrodkowej, która dodatkowo obciąża element. Wyrównywanie statyczne zazwyczaj przeprowadza się dla elementów wirujących, których średnica jest kilkakrotnie większa od szerokości. Wyrównowanie statyczne polega na doprowadzeniu elementu do takiego stanu, aby środek jego ciężkości leżał na osi obrotu przez dodanie lub ujęcie pewnej części masy w określonych miejscach, przy czym rozkład masy w objętości elementu powinien być równomierny. Wyrównywanie statyczne przeprowadza się na poziomych równoległych pryzmach, na wagach lub specjalnych wyważarkach.

Po wyprodukowaniu części lub montażu zespołu obrotowego jego środek ciężkości teoretycznie może leżeć na osi obrotu, ale rozkład gęstości masy w jego objętości nie jest równomierny. W przekroju elementu obrotowego środki jego połówek rozdzielonych płaszczyzną symetrii przechodzącą przez oś obrotu leżą w różnych odległościach od jego osi. Wobec tego, podczas obrotu powstaną siły odśrodkowe o różnej wartości, które na linii działania przebiegającej wzdłuż średnicy mają wypadkową o pewnej wartości zależnej od prędkości obrotowej. Z uwagi na możliwość zmienności rozkładu mas w przekrojach elementu wzdłuż jego osi względem osi obrotu w odpowiednich przekrojach kierunek siły dynamicznej może ulegać zmianie. Jest to stan niewyrównowania dynamicznego. Siły odśrodkowe działające w określonych przekrojach nie równoważą się wtedy i mogą mieć różne kierunki. Wyrównowanie dynamiczne polega na poprawieniu rozkładu masy obracającego się elementu lub najczęściej zespołu, tak aby oś bezwładności pokrywała się z osią obrotu. Przeprowadza się je na specjalnych wyważarkach i wymaga ono wykonania następujących czynności:

- dokonania oceny skutków niewyrównowania i obliczenia jego wartości,
- przeprowadzenia zabiegów korekcyjnych polegających na usunięciu skutków niewyrównowania z możliwie dużą dokładnością,
- sprawdzenia poprawności wyrównowania.

Wyrównoważanie dynamiczne na ogół stosuje się w przypadku elementów, których długość jest większa lub równa ich średnicy. Elementy wyrównoważone statycznie nie muszą być wyrównoważone dynamicznie. W celu przeprowadzenia wyrównoważenia dynamicznego poprawia się rozkład masy w dwóch płaszczyznach korekcyjnych zespołu lub przedmiotu wirującego prostopadłych do jego osi przez ujęcie lub dodanie masy w określonych miejscach.



## PYTANIA I POLECENIA

1. Na czym polega niewyrównoważenie elementu obrotowego?
2. Co oznacza wyrównoważenie statyczne?
3. Co oznacza wyrównoważenie dynamiczne?

## 4.8

# Sprawdzanie poprawności działania maszyn

**W TYM ROZDZIALE DOWIESZ SIĘ:**

- jak odbywa się sprawdzanie poprawności działania maszyn

Sprawdzenie maszyn i urządzeń po montażu pod względem poprawności działania ma na celu stwierdzenie, czy spełniają one założone wymagania, oraz ocenę poprawności wykonania montażu. Wszystkie zmontowane urządzenia poddawane są próbom, jednak niektóre odpowiedzialne maszyny muszą przejść specjalne testy, które mają na celu określenie ich wytrzymałości lub trwałości. Obciąża się je wtedy aż do zniszczenia konstrukcji albo do czasu utraty zdolności eksploatacyjnej przy określonych parametrach pracy. Oczywiście takie próby przeprowadza się, np. dla jednej maszyny (w przypadku zniszczenia konstrukcji), a w innych przypadkach może to być kilku maszyn, w szczególności, kiedy wprowadza się nową konstrukcję do produkcji. Bada się również maszyny lub urządzenia, w których usterki ujawniły się dopiero w trakcie pracy aby zapobiec nieprawidłowościom w czasie ich montażu lub eksploatacji. Zazwyczaj takie próby przeprowadza się w warunkach zbliżonych do trybu normalnej pracy, ale najczęściej przy obciążeniu wyższym niż nominalne. Przykładem tego rodzaju testu może być obciążenie nowego samolotu lub szybowca obciążeniem niszczącym. Prawidłowo wykonana konstrukcja powinna ulec zniszczeniu dokładnie przy obciążeniu wynikającym z wymaganego współczynnika bezpieczeństwa. Nie może być zbyt słaba, ponieważ maszyna tego typu musi być wystarczająco wytrzymała ze względów użytkowych i wymogów bezpieczeństwa. Nie może być także za mocna, gdyż powinna być odpowiednio lekka, a zwiększanie wytrzymałości każdej konstrukcji powoduje wzrost jej ciężaru. Testuje się także wytrzymałość konstrukcji samochodowych w przypadku zderzenia z przeszkodami oddziaływującymi na badany samochód w określonych kierunkach. Przeprowadza się badania silników różnego rodzaju (lotniczych, samochodowych i innych), poddając je próbom hamowania na specjalnych stanowiskach, gdzie pracują pod określonym obciążeniem przez wyznaczony czas. Podczas takich badań sporządza się również charakterystyki techniczne badanych obiektów. Obecnie prawie we wszystkich dziedzinach przemysłowych przeprowadza się tzw. badania symulacyjne. Tworzy się specjalne stanowiska badawcze, które wyposaża się w odpowiednie urządzenia symulacyjne i programy do komputerowego sterowania, pozwalające na prowadzenie badań w warunkach zbliżonych do warunków naturalnych przy stosunkowo niskich kosztach. Ciężkie maszyny poddawane są próbom na stanowiskach montażowych, które muszą mieć niezbędne instalacje i możliwość podłączenia odpowiedniej aparatury pomiarowej. Przy produkcji, a szczególnie po remoncie odpowiedzialnych maszyn bardzo często po próbach maszyna jest demontowana i dokonuje się przeglądu stanu technicznego wszystkich części i zespołów. Po stwierdzeniu właściwego stanu technicznego następuje montaż i kolejne próby, a gdy maszyna przejdzie je pomyślnie, otrzymuje świadectwo sprawności technicznej i przekazywana jest do eksploatacji.

## PYTANIA I POLECENIA

1. W jakim celu przeprowadza się próby maszyn i urządzeń po montażu?
2. Na czym polegają badania symulacyjne?
3. Jakie korzyści wynikają z badań eksploatacyjnych?

## ZAPAMIĘTAJ

**Łączniki gwintowe** pełnią podstawową rolę w połączeniach maszynowych.

**Łączniki gumowe** należą do połączeń elastycznych i tłumią drgania mechaniczne.

**Sprężyny** stosowane jako łączniki sprężyste części mogą być: płaskie, spiralne, naciągowe, naciskowe.

**Montaż łożysk tocznych** zależy od ich budowy i rodzaju połączenia.

W przypadku montażu łożyska tocznego z **ruchomym wałkiem** stosuje się pasowanie wciskane dla czopa i suwliwe w gnieździe i odwrotnie dla przypadku z **ruchomą piastą**.

Nie można wywierać na pierścienie łożysk **jednostronnych nacisków lub w nie uderzać** z uwagi na możliwość uszkodzenia łożyska czy odkształcenie plastyczne miejsc osadzenia, powodujące powstanie znacznych błędów współosiowości. Przy montażu i demontażu łożysk tocznych należy **stosować przyrządy pomocnicze** ułatwiające osiowanie i osiowo symetryczne naciski za pomocą pras.

**Nie należy** przekazywać sił momentowych lub uderzeń za pomocą elementów tocznych.

**Montaż łożysk ślizgowych** to wzajemne ustalenie czopów lub sworzni względem panewek, które mogą być dzielone lub niedzielone.

**Montaż łożysk ślizgowych dzielonych** polega na osadzeniu panewek w gniazdach korpusu składającego się z dwóch łączonych ze sobą części.

**Montaż łożysk ślizgowych niedzielonych** polega na włożeniu tulejki w korpus i dopasowaniu otworu do współpracującego z tulejką czopa.

**Grubościenne** panewki łożysk ślizgowych mocuje się z małym wciskiem lub suwliwie, a **cienkościenne** zawsze z wciskiem.

**Rzeczywisty luz w łożyskach** tocznych zmienia się podczas montażu w wyniku odkształceń wtlaczanych pierścieni, a w czasie pracy – pod wpływem temperatury i smarowania.

W zespołach z łożyskami tocznymi **ustala się wzdłuż osi tylko jedno łożysko**.

W montażu zespołu z łożyskami w korpusie niedzielonym zaleca się **stopniowe wprowadzanie** zewnętrznych pierścieni łożysk w wytoczenia (gniazda) korpusu.

**Montaż przekładni zębatej** walcowej polega na wprowadzeniu wałków z kołami zębatymi do korpusu i ich ustaleniu. **Koła zębate** powinny być zamontowane **prostopadle** do osi wałków, zaś **osie łożysk** wałków powinny leżeć w jednej płaszczyźnie i być do siebie **równoległe**.

**Odległość osi** łożysk wałków przekładni zębatej walcowej powinna być równa połowie sumy średnic kół zębatych, aby styk zębów był na kołach podziałowych podczas ich obrotu.

**Poprawność** wzajemnego położenia osi łożysk wałków przekładni zębatej walcowej (odległość, równoległość) sprawdza się za pomocą dokładnych trzpieni pomiarowych.

**Bicie promieniowe kół zębatych** sprawdza się na średnicy podziałowej kół przy użyciu wałeczków pomiarowych (stycznych do koła podziałowego) oraz czujnika zegarowego.

**Sprawdzanie poprawności** zazębienia kół zębatych przekładni wykonuje się za pomocą badania położenia śladów przylegania współpracujących zębów, pomiarów bicia promieniowego i czołowego oraz luzu międzyzębnego.

**Luz międzyzębny** (obwodowy) w przekładni zębatej walcowej w zależności od dokładności wykonania może zawierać się w granicach  $\delta = (0,015 \div 0,030)m$  [mm] ( $m$  – moduł).

**Montaż** urządzeń hydraulicznych i pneumatycznych wymaga zachowania czystości i dużej staranności.

Urządzenia hydrauliczne i pneumatyczne wykazują pewne **podobieństwa** w zakresie budowy, działania i montażu.

Po montażu każde urządzenie i maszyna musi przejść **podstawowy zakres prób**.

## SPRAWDŹ SWOJĄ WIEDZĘ

1. Jakie rodzaje łączników gwintowych stosuje się w montażu maszyn?
2. W jaki sposób powinny być montowane łączniki gumowe?
3. Wymień zalety i wady łączników gumowych stosowanych w montażu maszyn.
4. Przedstaw podstawowe sposoby montażu sprężyn.
5. Jakie rodzaje pasowań i dłaczego stosuje się przy montażu łożysk tocznych w przypadku ruchomego wałka lub ruchomej obudowy?
6. Jakie urządzenia i przyrządy wykorzystuje się przy montażu łożysk tocznych?
7. Jakimi sposobami uzyskuje się właściwe napięcie łożysk stożkowych przy montażu?
8. Przedstaw rozwiązania konstrukcyjne i montaż łożysk igiełkowych.
9. Jak zabezpiecza się łożyska toczne przed zanieczyszczeniem?
10. Jakie rodzaje uszczelnień stosuje się przy montażu łożysk kulkowych odkrytych przy smarowaniu smarem stałym i płynnym?
11. Na czym polega montaż łożysk ślizgowych?
12. W jaki sposób zapewnia się współosiowość przy włączaniu tulejek łożyskowych?
13. Wymień różnice w montażu łożysk ślizgowych dzielonych z panewkami grubościennymi i cienkościennymi.
14. W jaki sposób ustala się panewki dzielone w gniazdach obudowy łożysk?
15. Jakie czynniki wpływają na zmianę luzu w łożyskach tocznych zespołów montażowych?
16. Wymień czynniki mające wpływ na dokładność pracy zespołów maszyn z łożyskami tocznymi.
17. Podaj charakterystyczne różnice montażu wału z dwoma łożyskami tocznymi w korpusie dzielonym i niedzielonym.
18. Jakie warunki techniczne zapewniają poprawność montażu przekładni zębatej walcowej?
19. Czy ślady współpracy zębów w przekładni zębatej świadczą o jakości montażu?
20. Jakie zakresy wartości mogą mieć luzy wierzchołkowy i międzyzębny?
21. W jakiej wzajemnej pozycji powinny znajdować się stożki podziałowe kół zębatych stożkowych po montażu przekładni stożkowej?
22. Podaj sposób wzajemnego ustalania kół zębatych stożkowych w przekładniach.
23. Przedstaw warunki geometryczne wymagane przy montażu przekładni ślimakowej.
24. Jaki czynnik roboczy jest najczęściej stosowany w urządzeniach hydraulicznych?
25. Dokonaj podstawowego podziału urządzeń hydraulicznych.
26. Na czym polega przygotowanie części hydraulicznych do montażu?
27. Przedstaw sposób montażu uszczelnień gumowych.
28. Jak wykonuje się próbę szczelności urządzeń hydraulicznych?
29. Wskaż zespoły montażowe w zbiorze części pompy zębatej.
30. Dokonaj podstawowego podziału urządzeń pneumatycznych.
31. Przedstaw rodzaje i zasady działania silników pneumatycznych.
32. Wyjaśnij, co nazywamy siłownikiem i jakie są ich rodzaje.

33. Scharakteryzuj czynności pomocnicze wykonywane przed montażem elementów siłownika pneumatycznego.
34. Przedstaw przebieg montażu siłownika pneumatycznego dwustronnego działania.
35. Jak zapewnia się szczelność w urządzeniach pneumatycznych i hydraulicznych?
36. Jaka jest kolejność montażu zespołów pompy zębatej?
37. Wskaż podobieństwa w budowie, działaniu i montażu układów pneumatycznych i hydraulicznych.
38. Na czym polega wyrównoważanie statyczne elementu obrotowego?
39. Dla jakich warunków pracy wirujący zespół powinien być wyrównoważony statycznie i dynamicznie?
40. Jak praktycznie wyrównoważa się dynamicznie wirujący zespół.
41. Przedstaw różnice między wyrównoważaniem statycznym i dynamicznym.
42. Na czym polegają próby maszyn i urządzeń po montażu i w jakim celu są wykonywane?
43. Podaj przykłady badań symulacyjnych i wymień korzyści z ich stosowania.
44. W jakim celu przeprowadza się badania eksploatacyjne?

## LITERATURA

- [1] A. Górecki, Z. Grzegórski, *Technologia. Montaż, naprawa i eksploatacja maszyn i urządzeń przemysłowych*, WSiP, Warszawa 1998.
- [2] K. Grzelak, J. Telega, J. Torzewski, *Podstawy konstrukcji maszyn*, WSiP, Warszawa 2012.
- [3] T. Kowalski, G. Lis, W. Szenajch, *Technologia i automatyzacja montażu maszyn*, OWPW, Warszawa 2006.
- [4] A. Rutkowski, *Części maszyn*, WSiP, Warszawa 2007.
- [5] J. Tymowski, *Technologia budowy maszyn*, WNT, Warszawa 1970.
- [6] J. Wrotkowski, B. Paszkowski, J. Wojdak, *Remont maszyn – demontaż – naprawa elementów – montaż*, WNT, Warszawa 1970.
- [7] J. Zawora, *Podstawy technologii maszyn*, WSiP, Warszawa 2012.