

WYBRANE ZAGADNIENIA KONSTRUKCYJNO- TECHNOLOGICZNE KORPUSÓW REDUKTORÓW ZĘBATYCH

Anna MATUSIAK-SZARANIEC¹
Kazimierz WIECZOROWSKI²

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wybrane przykłady konstrukcji skrzyń- korpusów reduktorów zębatach w aspekcie problemów konstrukcyjno-technicznych związanych z ich wytwarzaniem. Jednym z zasadniczych czynników technologicznych występujących w rozpatrywanych konstrukcjach reduktorów jest ułożenie płaszczyzn podziału w korpusie i związana z tym sztywność konstrukcji korpusu.

1. WSTĘP

Przekładnie zębate stanowią we wszystkich maszynach i urządzeniach podstawowy zespół w układzie napędowym. Reduktor zębata stanowi układ pośredniczący pomiędzy silnikiem a zespołem realizującym funkcje wykonawcze urządzenie. Budowa przekładni zębatach zależna jest od zespołu realizującego funkcje wykonawcze.

Jedną z zasadniczych grup przekładni stanowią reduktory zębate będące odrębnym zespołem. Reduktory są samoistnym zespołem przenoszącym moment obrotowy od silnika napędzającego do układu roboczego. Reduktory w

¹ mgr inż. Anna Matusiak-Szaraniec – Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej

² prof. dr inż. dr h.c. Kazimierz Wieczorowski – Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej

swej budowie stanowią przekładnie zębate, które redukują obroty silnika do obrotów koniecznych zespołu roboczego.

Reduktory zębate opisując je w sposób bardzo ogólny składają się z korpusu, kół zębatach osadzonych na wałach, które umieszczone są w łożyskach korpusu.

Zasadniczy problemem konstrukcyjno-techniczny, rozpatrywany w niniejszym artykule dotyczy korpusu reduktora zębatego, który stanowi podstawowy jego element. Korpus reduktora zębatego jest zawsze największą i najbardziej złożoną konstrukcyjnie częścią. Parametry techniczne reduktora zależne są zarówno od źródła napędu - silnika, jak i przede wszystkim urządzenia napędzanego – roboczego. Korpusy łączą w jedną całość zespoły przekładni zębatach, a także często korpus połączony jest z silnikiem i podłożem lub urządzeniem napędzanym.

Przy analizie korpusów należy uwzględnić następujące czynniki: sztywność, odporność na drgania, zdolność do tłumienia wibracji, ciężar, łatwość i prostotę wykonania, także wygląd zewnętrzny. Udział ciężaru samego korpusu w ciężarze całej przekładni zębatej wynosi przeciętnie około 75%. Z ekonomicznego punktu widzenia wynika, że ciężar reduktora zębatego (przekładni zębatej) najskuteczniej można zmniejszyć przez racjonalne zaprojektowanie korpusu.

Bardzo ważnym elementem mającym wpływ na kształt korpusu - na grubość ścian i przegród jest możliwość prawidłowego zalania formy, prostota i łatwość formowania, a także prostota obróbki i montażu. Z tego powodu korpusy reduktorów zębatach najczęściej wykonuje się jako niejednolite – dzielone. Części korpusów dzielonych łączy się względem siebie za pomocą kołków i zaciska śrubami. Aby umożliwić montaż oraz dostęp do wnętrza korpusów szczególnie jednolitych, należy zastosować w pokrywie odpowiednie otwory zamykane.

Należy podkreślić, że korpusy reduktorów są częściami bardzo specyficznymi ukształtowanymi często niezgodnie z zasadami konstrukcji, lecz wynikającymi z zadań jakie one spełniają. Korpus reduktora oprócz zadania łączenia w jedną funkcjonalną całość części składowych ma także za zadanie tłumienie drgań, zabezpieczenie przed wibracją elementów składowych, ograniczenie odkształceń korpusu (zwłaszcza pod wpływem temperatury). Z uwagi na specyficzny charakter korpusu reduktora w literaturze technicznej brak jest źródłowych informacji na temat metod konstrukcji, stosowanych technologii, metod wytwarzania. Spotykane informacje są zbyt ogólne, często nawet sprzeczne z (rzeczywistością) praktyką przemysłową.

2. BUDOWA KORPUSU REDUKTORA

System korpusu reduktora musi zabezpieczać utrzymanie w czasie pracy prawidłowego położenia znajdujących się wewnątrz przekładni zębatych i innych części składowych. Dla zapewnienia tych warunków korpus powinien być dostatecznie sztywny, odporny na odkształcenia sprężyste, odporny na zużycie oraz gwarantować możliwości poprawnego wykonania i montażu. Sztywność korpusu zależna jest przede wszystkim od jego ciężaru i prawidłowego oraz równomiernego rozłożenia ciężaru.

Analizując kształty korpusów zębatych należy stwierdzić, że powinny one tworzyć zwartą i estetyczną całość, wpływa to na utrzymanie czystości i ułatwia obsługę reduktora. Forma zewnętrzna reduktora w obecnych warunkach „rynkowych” ma również określone znaczenie marketingowe i handlowe.

Obliczenie elementów korpusu przeprowadza się zwykle w systemie uproszczonym uwzględniając sztywność – odkształcenia sprężyste oraz wpływ temperatury na odkształcenia elementów korpusu w aspekcie dokładności pracy reduktora. Pojęcie „korpusu reduktora” wiąże się zwykle z swoistym rozumieniem „pojemnika” w którym jak już wspomniano umieszczone są koła zębate, wały, łożyska, pokrywki i inne elementy niezbędne dla prawidłowej pracy przekładni.

Na rysunku 1 pokazano przekrój (wnętrze) jednostopniowego reduktora kąтового w płaszczyźnie podziału korpusu. Na rysunku 1 widoczne są koła zębate stożkowe osadzone na wałach, łożyska, pokrywki zakrywające łożyska, tuleje dystansowe itp.

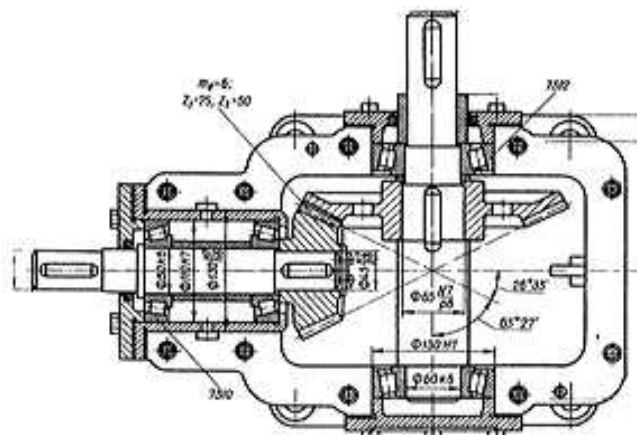
Małe korpusy silnie obciążone wykonywane są z żeliwa sferoidalnego, a mniej obciążone większe z żeliwa szarego często modyfikowanego [5,8,14,17]. W ostatni okresie z uwagi na możliwości zastosowania mniejszych naddatków obróbkowych stosuje się żeliwa wermikularne [8,11].

Konstrukcje korpusów reduktorów zębatych wg formy długości boku można podzielić na [15,20]:

a) korpusy reduktorów, w których jeden bok ma wymiar znacznie większy od dwóch pozostałych – takim wymiarom odpowiadają reduktory walcowe wielostopniowe,

b) korpusy reduktorów, w których wymiary dwóch boków są znacznie większe od trzeciego boku, takie wymiary odpowiadają jednostopniowym reduktorom walcowym oraz reduktorom ślimakowym,

c) korpusy reduktorów, w których wszystkie trzy boki mają w przybliżeniu jednakowe wymiary, takie wymiary odpowiadają reduktorom jednostopniowym kątowym.

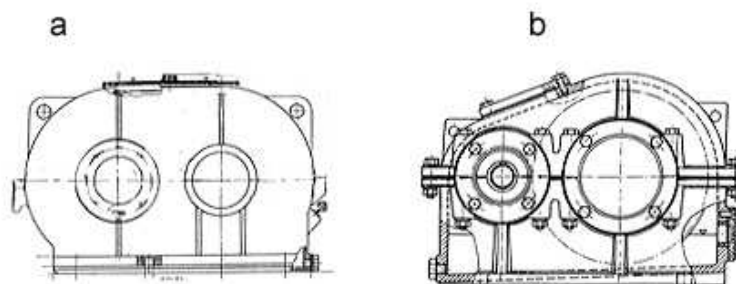


Rys.1. Przekrój (wnętrze) dzielonego jednostopniowego reduktora kątowego (po zdjęciu pokrywki). 1 - koła zębate (przekładnia kątowa), 2 - wały, 3 - łożyska, 4- pokrywki, 5 - tuleja łożyskowa, 6 - pierścień dystansowy, 7 - śruby łączące pokrywę z podstawą korpusu, 8 - kołki ustalające, 9 - śruby mocujące pokrywki, 10 - wpusty, 11 - pierścienie uszczelniające.

Fig. 1. Inside of the one-stage angle reducer (after the lid is removed): 1 – gears (intersecting axis gear), 2 – shafts, 3 – bearings, 4 – covers, 5 bearing sleeve, 6 – distance ring, 7 – screws connecting the lid with the basis, 8 – directing pins, 9 – covering screws, 10 – keys, 11 – sealing rings

Korpusy z punktu widzenia rozwiązań konstrukcyjnych stanowią bardzo różnorodną i złożoną budowę [12,13]. Budowa korpusów reduktorów jest z jednej strony uzależniona od przeznaczenia i jego możliwości wbudowania w maszynę lub urządzenie robocze, a z drugiej od rodzaju przenoszonego momentu. Z punktu widzenia budowy można reduktory podzielić na jednolite (zamknięte) i reduktory z podziałem [2,3,10]. Reduktory jednolite stosowane są zwykle do przenoszenia małych momentów obrotowych przy małym przełożeniu i małej liczbie obrotów. Tego typu reduktory są bardzo sztywne, odporne na odkształcenie lecz znacznie trudniejsze technologicznie szczególnie w operacjach montażu [7,19]. Na rysunku 2 pokazano przykłady korpusów reduktorów walcowych jednostopniowych jednolitego i dzielonego.

W górnej części korpusu reduktora jednolitego znajduje się ukształtowany duży otwór prostokątny służący do mocowania wewnątrz poszczególnych elementów w tym kół zębatach [1,7]. W konstrukcjach korpusów jednolitych często na jednej osi reduktora wykonany jest duży otwór do mocowania silnika kołnierзовego (rys.2.a.). Na osi silnika osadzone jest koło zębate, które zazębia się z drugim osadzonym, na wale w korpusie. Z uwagi na fakt, że rozwiązań reduktorów dzielonych jest znacznie więcej jak jednolitych stąd w dalszej części będą omawiane korpusy reduktorów dzielonych [1,14,15].

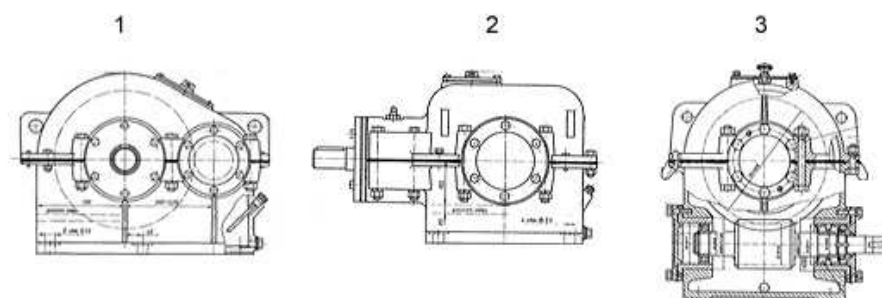


Rys.2. Przykłady konstrukcji korpusów reduktorów jednostopniowych walcowych: a - korpus jednolity, b - korpus dzielony wzdłuż osi wałów równoległe do podstawy.
Fig. 2. Examples of the typical housings of the one-stage cylindrical gear reducers: a – uniform housing, b – housing divided along the axes of shafts, parallel to the basis

3. RODZAJE KORPUSÓW REDUKTORÓW DZIELONYCH

Korpusy reduktorów można usystematyzować w zależności od przeznaczenia jakim służą, to znaczy między innymi od wzajemnego położenia osi wejścia napędu do osi wyjścia z reduktora. Na rysunku 3 pokazano typowe przykłady dzielonych korpusów reduktorów jednostopniowych, 1 – reduktor o osiach równoległych – walcowy, 2 – reduktor o osiach skrzyżowanych - przecinających się - kątowy 3 – reduktor o osiach wchrowatych – nie przecinających się - ślimakowy. Reduktory tego typu stosowane są do przenoszenia niedużych momentów obrotowych, przy małym przełożeniu obrotów $2/1 < i, 1/5$ [14,21].

Korpusy tych reduktorów składają się z dwóch części, trudnych do ukształtowania wnętrza, które są czyszczone i pokrywane środkami odpornymi na rdzewienie.

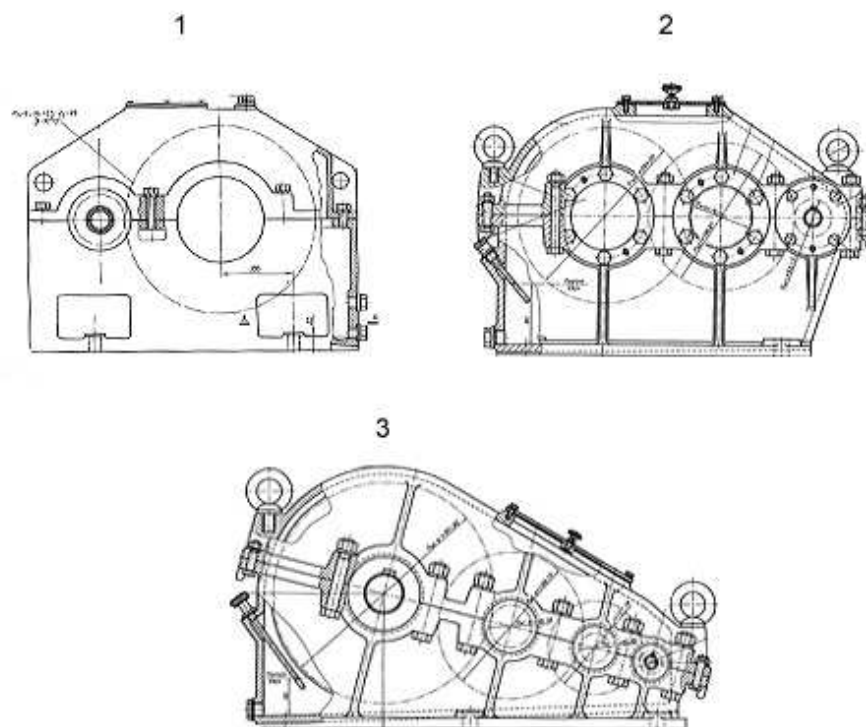


Rys. 3 Przykłady konstrukcji reduktorów zębatych dzielonych jednostopniowych. 1 - reduktor walcowy, 2 – reduktor kątowy, 3 – reduktor „wchrowaty” ślimakowy. Uwaga: linią pogrubioną zaznaczono podział korpusu reduktora

Fig. 3 Examples of the typical divided housings of the one-stage cylindrical gear reducers: 1 – cylindrical gear reducer, 2 – angle reducer, 3 – “twisted” worm reducer

Note: the bold line marks the dividing line of the housing

Na rysunku 4 przedstawiono rodzinę dzielonych reduktorów walcowych z jedną linią podziału. Pokazano reduktor walcowy, jednostopniowy, dwustopniowy, i wielostopniowy. Linia podziału pomiędzy pokrywą a podstawą korpusu przebiega równoległe do płaszczyzny podstawy przez środki wałów. Korpus tego typu reduktorów składa się też z dwóch części.



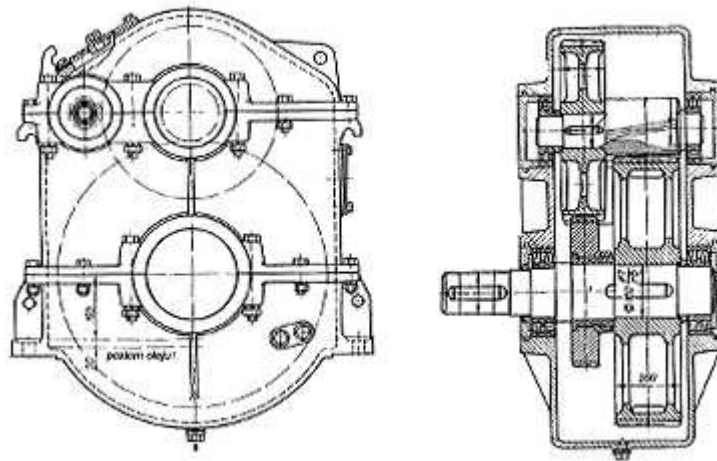
Rys. 4 Przykłady konstrukcji dzielonych reduktorów walcowych z jedną poziomą płaszczyzną podziału równoległą do podstawy. 1 – reduktor walcowy jednostopniowy, 2 – reduktor walcowy dwustopniowy, 3 reduktor walcowy trzystopniowy z skośną płaszczyzną podziału.

Fig. 4 Example of the typical divided housings of the one-stage cylindrical gear reducers with one dividing plane parallel to the basis: 1 – one-stage cylindrical gear reducer, 2 – two-stage cylindrical gear reducer, 3 - three-stage cylindrical gear reducer with skewed dividing plane

Reduktory walcowe dwu i wielostopniowe stosowane są do przenoszenia większych momentów i w zależności od liczby stopni mają większe przełożenia. Przy zwartej budowie wykazują dobrą sztywność. W konstrukcjach reduktorów we wnętrzu dla uzyskania efektu tłumienia wibracji stosowane są specjalne „tłumiki” – przegrody. Istotnym problemem tych reduktorów jest poprawne wykonanie płaszczyzn podziału oraz dokładne wykonanie rozstawu

otworów zasadniczych pod łożyska. Korpusy tego typu reduktorów składają się z dwóch części – podstawy i pokrywy.

Na rysunku 5 zaprezentowano reduktor walcowy dwustopniowy z dwoma płaszczyznami podziału równoległymi do podstawy korpusu. Korpus prezentowanego reduktora składa się z trzech części.

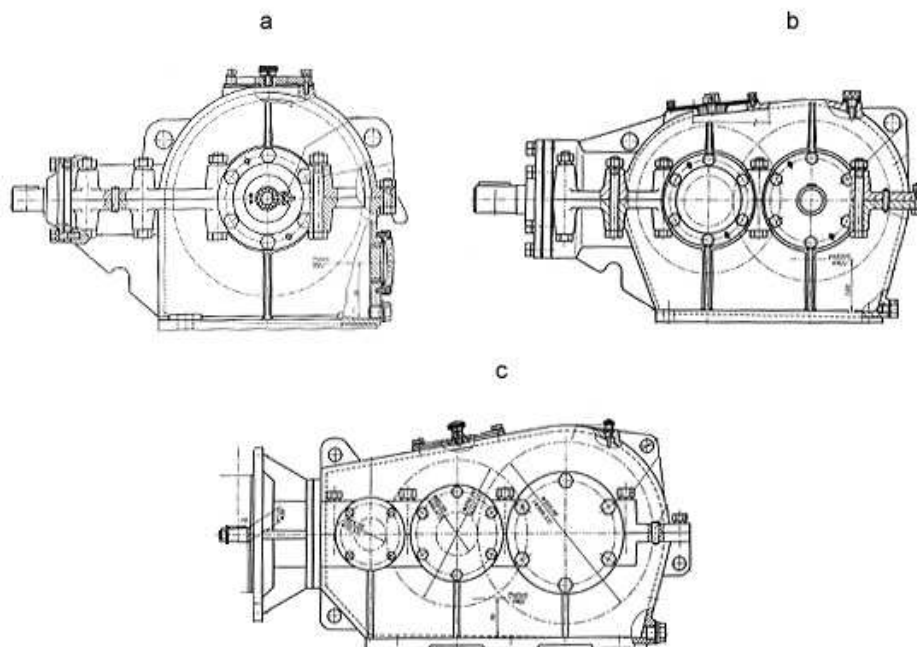


Rys. 5 Przykład reduktora walcowego pionowego dwustopniowego, z dwoma płaszczyznami podziału.

Fig. 5 Example of the two-stage vertical cylindrical gear reducer with two dividing planes

Istotnym problemem technologicznym reduktorów z dwoma płaszczyznami podziału jest wykonanie z dużą dokładnością równoległych płaszczyzn podziału w poszczególnych częściach korpusu. Na tych płaszczyznach po skręceniu należy wykonać otwory zasadnicze pod łożyska. Często dla zmniejszenia gabarytów z równoczesnym zmniejszeniem ciężaru reduktora stosuje się skośne płaszczyzny podziału (rys.4.3.). Reduktory ze skośnymi płaszczyznami podziału znacznie zmniejszają ciężar reduktora i ułatwiają proces wykonania odlewu. W celu ograniczenia wymiarów, a tym samym i ciężaru reduktora oraz dopasowania reduktora do zabudowy urządzenia stosuje się również reduktory z podziałem prostopadłym do osi. W reduktorach tego typu powierzchnia podziału nie jest jedną płaszczyzną, lecz posiada dwie lub więcej płaszczyzn podziału. Istotnym problemem w procesie wytwarzania reduktorów z prostopadłą płaszczyzną podziału jest wykonanie otworów zasadniczych pod łożyska.

Na rysunku 6 pokazano przykład rodziny reduktorów kątowych i kąto-walcowych jedno i wielostopniowych. W reduktorach kąto-walcowych zawsze pierwszy stopień stanowi reduktor kątowy, a kolejne stanowią reduktory walcowe.

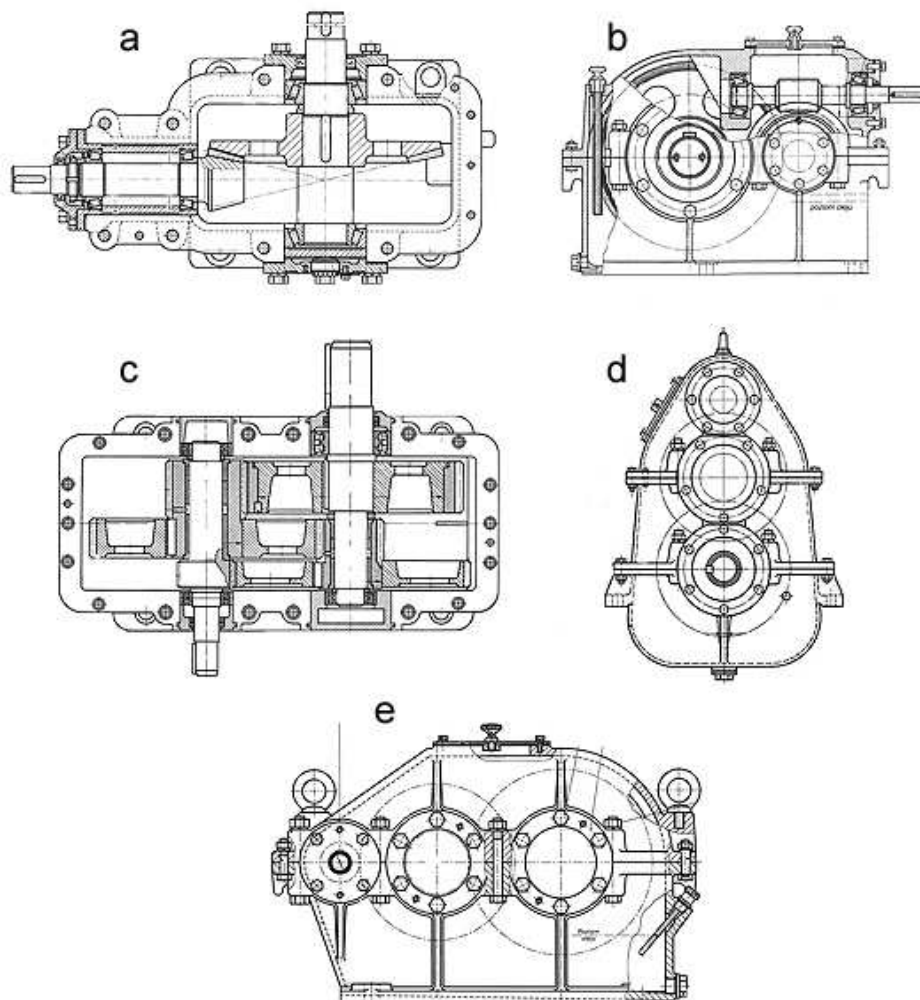


Rys. 6. Przykład reduktora kąтового jednostopniowego (a) i kątowno walcowego dwustopniowego (b) (pierwszy stopień kątowny, a drugi walcowy) oraz kątowno walcowego trzy stopniowego (c) pierwszy stopień kątowny, a drugi i trzeci stopień walcowy

Fig. 6. Example of the typical one-stage angle reducer (a) and combined angle and cylindrical two-stage reducer (b) (first stage is angle, but the second is cylindrical), and the three-stage angle cylindrical reducer (c), first stage is angle, second and third are cylindrical

W wielu nowoczesnych konstrukcjach stosuje się reduktory projektowane na indywidualne zamówienie, ze specjalnymi wymaganiami. Zazwyczaj od reduktorów takich wymagane są bardzo duże przełożenia przy minimalnych momentach obrotowych. Na rysunku 7 zostało przedstawionych kilka wybranych przykładów takich korpusów.

Przedstawione reduktory zazwyczaj charakteryzują się wysoką sprawnością dochodzącą do 97%. Posiadają podwyższoną wytrzymałość na obciążenia, dobrą szczelność, zwłaszcza reduktory walcowe oraz duży zakres przełożeń.



Rys. 7. Przykłady reduktorów: reduktor stożkowy jednostopniowy (a), reduktor ślimakowo-walcowy (b) reduktor walcowy trójstopniowy (c), reduktor walcowy dwustopniowy (d), Reduktor o dwustrumieniowym przenoszeniu mocy na pierwszym stopniu (e)
 Fig. 7. Example of the typical reducer: one-stage angle reducer (a), stage angle cylindrical reducer (b), three-stage cylindrical reducer (c), two-stage cylindrical reducer (d), two-source transfer of power in the first degree cylindrical reducer (e)

4. PROBLEMY TECHNOLOGICZNE REDUKTORÓW ZĘBATYCH

W literaturze technicznej korpusów reduktorów wiele miejsca poświęca się problemom związanym z wykonaniem części składowych stanowiących

jego wnętrze, w niektórych publikacjach całe rozdziały poświęcone są kołom zębatym, wałom oraz niekiedy łożyskom. Natomiast dla problemów wytwarzania części składowych korpusu to jest np. pokrywy i podstawy oprócz „ogólnego” wskazania niektórych operacji więcej danych się nie podaje [1,7,10,19]. Tymczasem problem wytwarzania tych części wymaga odrębnego naświetlenia. Z obserwacji procesu technologicznego w zakładach produkcyjnych wytwarzających części składowe korpusu reduktora wynika że istotnym elementem procesu hamującym stały przepływ strumienia półwyrobów korpusu są nie tylko operacje wykonania otworów zasadniczych lecz także problemy z kształtowaniem powierzchni wewnętrznych korpusu.

Korpusy przekazywane przez odlewnię są oczyszczone. Niestety choć stopień czystości jest zwykle zgodny z zawartymi w umowie danymi, to w celu pokrycia tych powierzchni środkami ochronnymi konieczne jest ponowne „śrutowanie”. Po śrutowaniu konieczne jest usunięcie „urobku” i odtłuszczenie powierzchni wewnętrznych. Prawidłowe pokrycie środkami ochronnymi wymaga powierzchni o dużej czystości. Jak stwierdzono operacje poprawnego wykonania wnętrza korpusu zajmują dużo czasu. Na problem wykonania otworów zasadniczych już wstępnie zwrócono uwagę. Czasy wykonania otworów pod łożyska pomimo, że są normowane to ze względu na zużycie ostrzy przy wytaczaniu są często przekraczane.

5. WNIOSKI I UWAGI

W artykule zwrócono uwagę na różne rozwiązania konstrukcyjne niektórych typów reduktorów. W praktyce przemysłowej występuje jeszcze wiele różnych typów reduktorów stąd opracowanie szczegółowego podziału jest bardzo trudne. Podano jedynie niektóre przykłady podziału. Istotnym problemem w budowie reduktorów są zagadnienia technologiczne. Można w pewnym przybliżeniu uzasadnić brak opracowań technologicznych korpusów reduktorów z występującymi znacznymi różnicami w ich budowie. Autorzy niniejszego opracowania uważają jednak, że tak duże zróżnicowanie w budowie korpusów jest elementem mobilizującym do opracowania przynajmniej grupowej technologii korpusów reduktorów. Ponadto w niektórych zakładach stosowane są dokumentacje konstrukcyjne zagraniczne, które podają jeszcze bardziej zróżnicowane konstrukcyjnie korpusy reduktorów.

LITERATURA

- [1] Encyklopedia techniki. Budowa Maszyn. WNT Warszawa 1968.
- [2] **Feld M.**, Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn. WNT Warszawa 2003.
- [3] **Feld M.**, Technologia Budowy Maszyn PWN, Warszawa 2000.

- [4] **Honczarenko J.**, Elastyczna automatyzacja wytwarzania, obrabiarki i systemy obróbkowe. WNT, Warszawa 2000.
- [5] **Janik St.**, Charakterystyka warstwy wierzchniej odlewów z żeliwa. Praca habilitacyjna, Doński Państwowy Uniwersytet Techniczny, Rostow n/Donem, Rosja 1995.
- [6] **Janik St.**, Analiza stanu warstwy wierzchniej odlewu z żeliwa szarego. Wyd. WSP Zielona Góra 2001.
- [7] **Kiepuszewski Br.**, Technologia Budowy Maszyn. PWT, Warszawa 1960.
- [8] **Kuryło P.**, Badania właściwości technologicznych i eksploatacyjnych warstwy wierzchniej odlewów z żeliwa sferoidalnego. Praca doktorska Wydz. Bud. Masz. i Zarz. Politechnika Poznańska 2003.
- [9] **Lewandowski S.** (red.), Obrabiarki do skrawania metali. WNT Warszawa 1974.
- [10] **Lunarski J.**, Technologia budowy maszyn. Cz.II Wyd. Pol. Rzesz. 1989.
- [11] **Maniarski G.**, Badania właściwości technologiczno – eksploatacyjnych warstwy wierzchniej odlewów z żeliwa z grafitem wermikularnym. Praca doktorska Wydz. Mechaniczny Uniwersytet Zielonogórski Zielona Góra 2007.
- [12] **Matusiak-Szaraniec A.**, Analiza konstrukcyjna i technologiczna korpusów maszyn i urządzeń technicznych, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, vol. 27 nr 2, Komisja Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk Oddział w Poznaniu, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2007, pp. 121-129, ISSN 1233-9709.
- [13] Mat. Symp. N.T pt.: Technologia wyrobów wielkogabarytowych. Wytwarzanie pomiary, eksploatacja. Wyd. Kom. Bud. Masz. PAN oddz. w Poznaniu. Poznań - Konin 1997.
- [14] Poradnik Inżyniera pt. Obróbka skrawaniem t. III. WNT, Warszawa 1994.
- [15] **Reschetov D.N.**, Staniny i korpusnyje detali metalforeżuschikh stankov. Izd. Mashgiz. Moskva 1960.
- [16] **Salje E.** Elemente der spanenden Werkzeugmaschinen VEB. Verlag Technik Berlin 1970.
- [17] **Samojłow S.J.**, Tekhnologija tjazetogo mashinostroenija. Izd Mashinostroenie Moskwa 1967.
- [18] **Spur G., Stoferle T.**, Handbuch der Fertigungstechnik. Carl Hanser Verlag Munchen Wien 1979.
- [19] **Tymowski J.**, Technologia budowy maszyn. WNT, Warszawa 1989.
- [20] **Wieczorowski K., Legutko St.**, Strategia procesu technologicznego w aspekcie kształtowania warstwy wierzchniej części maszyn. Materiały konferencyjne pt. Problemy konstrukcji i eksploatacji maszyn hutniczych i górniczych. Wyd. AGH, Kraków 2000.
- [21] **Wrotny L.T.**, Projektowanie obrabiarek WNT Warszawa 1973.

- [22] **Żebrowski H., Wieczorowski K.**, Kształtowanie warstwy wierzchniej części maszyn. Studia i materiały, seria referaty t. XII Nr 1. Wyd. IBiEN, Gorzów Wlkp. 1993.
- [23] Sprawozdanie z badań własnych Zakładu Projektowania Technologii Politechniki Poznańskiej. BW-22-113/06/1 BW.

THE CHOSEN EXAMPLES CONSTRUCTIONS HOUSINGS OF THE GEAR REDUCER

SUMMARY

In the paper, the chosen examples of the reducer housing construction have been presented. The aim of analysis was to examine the flow of the materials in the manufacturing process. One of the basic technological factors in typical reducer's housing is the positioning of the dividing planes in the housing and the subsequent stiffness of the whole construction.