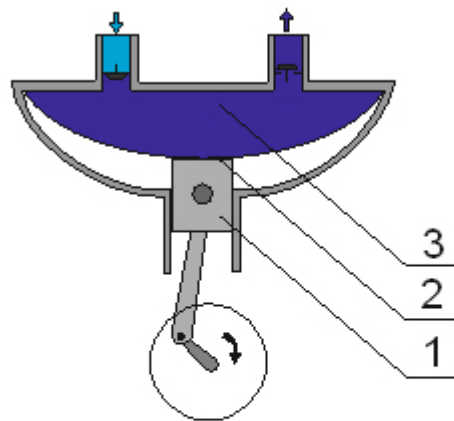


3. RÓŻNE SPRĘŻARKI WYPOROWE

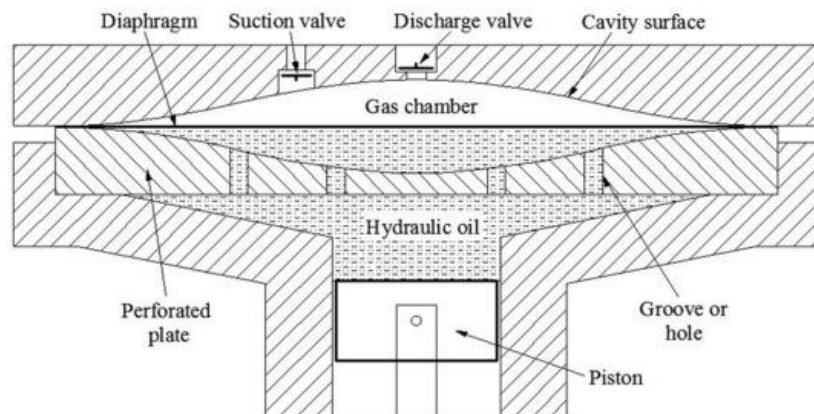
3.1. Sprężarka membranowa (przeponowa)



- 1 - Tłok
- 2 - Membrana
- 3 - Komora sprężania

Rys. 3-1. Schemat sprężarki membranowej.

W sprężarce membranowej (przeponowej) jedną ze ścianek komory sprężania stanowi elastyczna membrana. Membrana jest odkształcana mechanicznie (rys. 3.1.) lub hydraulicznie (rys. 3.2), w wyniku czego objętość komory sprężania naprzemiennie zmniejsza się i powiększa. Napęd na membranę przenoszony jest za pośrednictwem układu korbowego i tłoka przemieszczającego się w cylindrze.

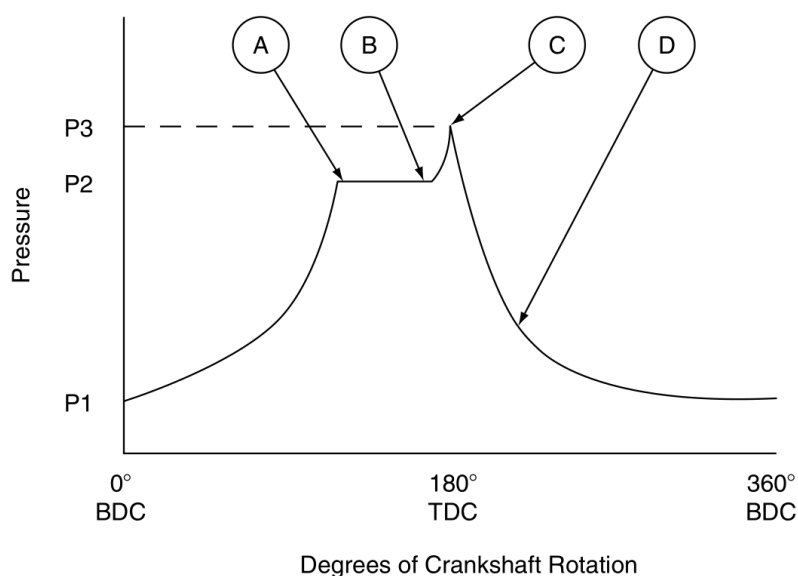


Rys. 3-2. Schemat sprężarki membranowej hydraulicznej.

Sprężarka posiada samoczynne zawory: wlotowy i wylotowy. Zawory te umożliwiają realizację napełniania komory sprężania, kompresję zamkniętą gazu i wytlaczanie sprężonego gazu. Dzięki zastosowaniu membrany, sprężany gaz nie ulega zanieczyszczeniu m.in. olejem, gdyż układ napędowy, który jest smarowany, jest szczelnie oddzielony od komory sprężania. Pomędzy komorą sprężania a otoczeniem nie ma ślizgających się po sobie elementów, jak to ma miejsce w sprężarkach tłokowych. Z powodu braku uszczelnień ruchomych, w sprężarkach membranowych nie występują przecieki sprężanego gazu do atmosfery. Sprężarki membranowe stosowane są z reguły do sprężania niewielkich strumieni gazów do wysokich ciśnień oraz gdy wymagana jest wysoka czystość sprężanego gazu. Słabą stroną sprężarki membranowej jest ograniczona elastyczność i trwałość membrany.

Sprężarki z membraną odkształcaną mechanicznie stosowane są przy niskich sprężach. Wyższe spręży są realizowane przez sprężarki z membraną odkształcaną hydraulicznie. Tutaj ciśnienie po stronie tłoczącej gaz może osiągnąć 3000 bar. Sprawność ogólna sprężarek membranowych wynosi 80-85%.

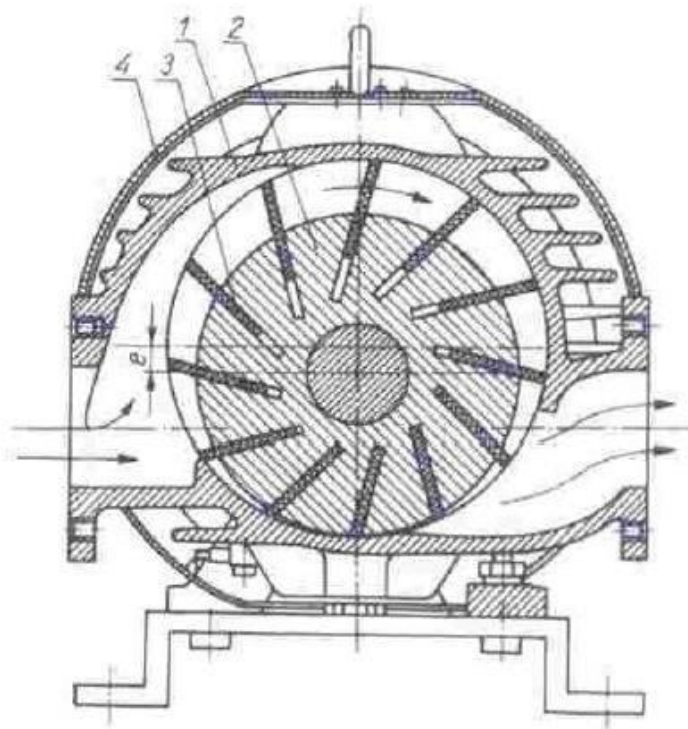
Sprężarki membranowe stosowane są m.in.: w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, chemicznym, lakierniczym, w oczyszczalniach ścieków, a także jako pompy próżniowe. Sprężarki membranowe mogą być wielostopniowe. Sprężarki te napędzane są najczęściej silnikami elektrycznymi za pośrednictwem przekładni pasowej (w 90%) lub bezpośrednio.



Rys. 3-3. Zależność ciśnienia płynu hydraulicznego od kąta obrotu wału w sprężarce membranowej hydraulicznej. BDC – skrajne położenie kukorbowe, TDC – skrajne położenie odkorbowe. A – otwarcie zaworu wylotowego sprężanego gazu, B – koniec ruchu membrany przed osiągnięciem TDC ; C – początek ekspansji gazu, który pozostał w komorze sprężania (w przestrzeni szkodliwej); D – uzupełnianie płynu w części hydraulicznej sprężarki.

3.2. Sprężarki łopatkowe

Sprężarki łopatkowe należą do grupy jednowirnikowych maszyn wyporowych (wyporowych maszyn rotacyjnych).



Rys. 3-4. Schemat rotacyjnej sprężarki łopatkowej

1 – cylinder, 2 – wirnik, 3 – ruchome łopatki, 4 – obudowa

Elementem roboczym jest wał mimośrodowo umieszczony w cylindrycznym otworze. W rowkach wyciętych w wale umieszczone są przesuwne łopatki dociskane sprężynami do ścianki cylindra. Łopatki dzielą cylinder na szczelne komory, których objętość ulega zmianie, gdy mimośrodowy wał obraca się. Podczas wirowania wału łopatki dodatkowo dociskane są przez siłę odśrodkową do ścianki cylindra. Czynnik gazowy zasysany jest do tych komór przy ich największej objętości, a następnie sprężany dzięki zmniejszaniu się objętości komór. Wylot sprężonego gazu umieszczony jest w okolicy minimalnej odległości wirnika od korpusu. Sprężarki łopatkowe podają sprężany czynnik z rurociągu ssącego do tłocznego ściśle określonymi dawkami (pulsacyjnie), jednak biorąc pod uwagę prędkości obrotowe wirnika

(rzędu 400÷1500 obr/min) oraz dużą liczbę łopatek roboczych (8÷12) dostarczanie sprężonego gazu odbywa się w sposób praktycznie ciągły i pulsacje ciśnienia są praktycznie niezauważalne.

Spręż sprężarek łopatkowych wynosi zazwyczaj $\pi = 3\div 4$.

Teoretyczna wydajność sprężarki łopatkowej

$$\dot{Q}_t = c \cdot R \cdot e \cdot l \cdot n \quad [m^3/\text{min}]$$

lub

$$\dot{Q}_t = 2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot R - \delta \cdot z) \cdot e \cdot l \cdot n \quad [m^3/\text{min}]$$

gdzie:

c – współczynnik liczby łopatek (dla 8 lub więcej łopatek $c = 12,5$),

R – promień wewnętrzny kadłuba,

e – mimośrodowość wirnika,

l – długość wirnika,

n – liczba obrotów wirnika,

δ – grubość łopatki,

z – liczba łopatek.

Rzeczywista wydajność sprężarki łopatkowej:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_t \cdot \lambda \quad [m^3/\text{min}]$$

gdzie:

λ – współczynnik przetłaczania

W celu zmniejszenia strat nieszczelności w sprężarkach łopatkowych stosowana jest większa liczba łopatek roboczych.

Współcześnie można spotkać rozwiązania z 20, a nawet 30 łopatkami osadzonymi na wirniku, szczególnie w przypadku sprężarek o większych wydajnościach.

Sprężarki łopatkowe występują jako jednostopniowe (ciśnienia rzędu 0,35 MPa) oraz dwustopniowe (ciśnienia rzędu 0,5÷0,9 MPa).

W zastosowaniach przemysłowych spotyka się głównie sprężarki łopatkowe z wtryskiem oleju. Olej spełnia kilka istotnych funkcji

- powoduje intensywne schładzanie wewnętrzne sprężanego gazu, zbliżając proces do najbardziej sprawnej energetycznie termodynamicznej przemiany izotermicznej,
- wytwarza film olejowy, po którym poruszają się łopatki, przez co ich zużycie jest pomijalne (około 0,04 mm na 100 000 godzin pracy),
- doszczelnia technologiczne pasowania robocze, zapobiegając wstęcznemu strumieniowi sprężanego medium.

Magistrala olejowa z dyszami wtrysku umieszczona jest w poprzek komory sprężania, na całej roboczej jej długości. Ilość wtryskiwanego oleju jest niewielka i wynosi do 2% objętości komory. Dzięki temu, przy niskich temperaturach sprężania (dla sprężu 7 bar temperatura nie przekracza 78÷82°C), resztkowa pozostałość oleju w sprężonym powietrzu nie przekracza 1 ppm.

3.3. Sprężarki śrubowe

Sprężarki śrubowe należą do sprężarek rotacyjnych typu wyporowego. Elementami roboczymi są w tym wypadku wirniki z naciętymi na nich zwojami śrubowymi.

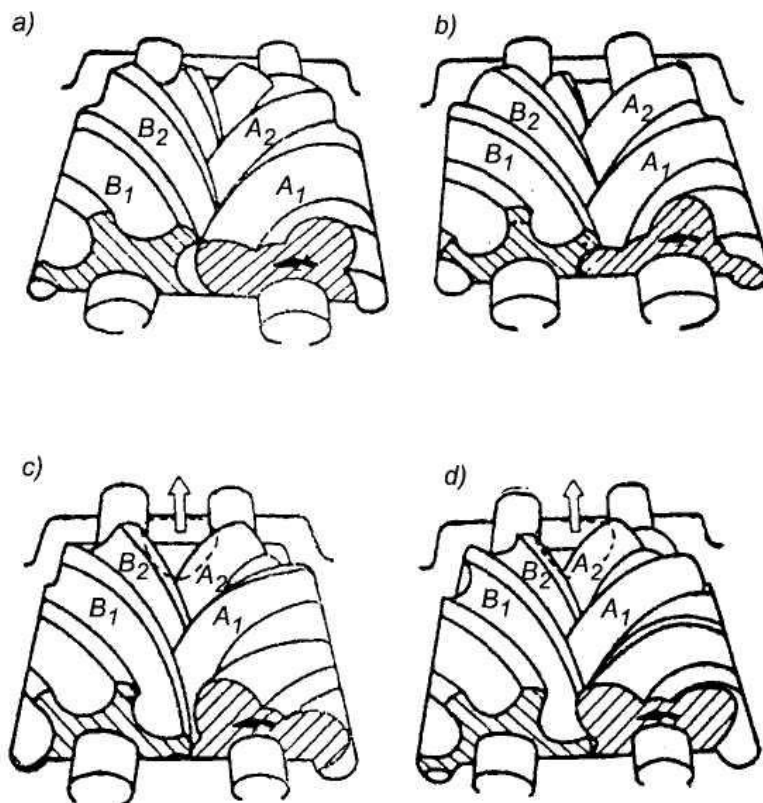
Wirnik napędzający (roboczy lub czynny) ma zazwyczaj dwa, trzy lub cztery zwoje śrubowe o profilu wypukłym, natomiast wirnik napędzany (bierny) trzy do sześciu zwojów śrubowych o profilu wklęsłym.





Rys. 3-5. Bezolejowa sprężarka śrubowa.

Silnikiem napędowym jest zazwyczaj silnik elektryczny. Napędza on najczęściej bezpośrednio wirnik roboczy poprzez sprzęgło elastyczne, zaś wirnik bierny napędzany jest przez wirnik czynny poprzez koła zębate – jest to więc napęd pośredni. Napęd bezpośredni przez zazębianie się dwóch wirników obecnie prawie nie jest stosowany.



Rys. 3-6. Zasada działania sprężarki śrubowej: a) ÷ d) kolejne położenia współpracujących wirników.

W sprężarce jeden wirnik – na rys. 3-6 jest to wirnik A, jest wirnikiem napędzającym (czynnym) – roboczym, drugi zaś – wirnik B – wirnikiem napędzanym (biernym). Wirnik A, sprzęgnięty bezpośrednio z silnikiem elektrycznym, ma zęby wypukłe i szerokie, natomiast wirnik napędzany – zęby wklęsłe i wąskie. Kształt tych zębów jest widoczny na rysunku (powierzchnie zakreskowane).

Z króćca ssącego zasysany czynnik przepływa do przestrzeni między zębnymi, zwanych wrębami lub bruzdami, które przy obracaniu się wirników zapelniają się stopniowo czynnikiem, począwszy od czoła zasysania. Po obróceniu się wirnika o pewien

kąt, bruzda minąwszy otwór ssący zostaje odcięta od króćca ssącego sprężarki. Na tym kończy się czynność zasysania. Dawka czynnika oddzielona jest od komory ssącej, lecz na razie nie ma jeszcze połączenia z komorą tłoczną sprężarki.

Przy dalszym obracaniu się wirników czynnik wypełniający bruzdy przemieszcza się o pewien kąt i rozpoczyna się jego sprężanie.

Połączenie wirników, w których rozpoczyna się sprężanie czynnika w bruzdach A_1 i B_1 pokazane jest na rysunku (a). Po pewnej chwili obie bruzdy łączą się ze sobą tworząc połączoną parę bruzd. W miarę wchodzenia zęba wirnika A w bruzdę wirnika B, objętość przestrzeni zajmowanej dotychczas przez czynnik zmniejsza się, a czynnik zostaje sprężany lub wytłaczany. Proces ten dla bruzd A_1 i B_1 przedstawiony jest na kolejnych schematach (b, c, d).

Sprężanie czynnika w zamkniętej przestrzeni między zębnej o ciągle zmniejszającej się objętości trwa aż do momentu, w którym połączona para bruzd dojdzie do krawędzi otworu tłocznego. Takie położenie bruzd A_2 i B_2 widoczne jest na rysunku (c, d), na którym otwór tłoczny oznaczony jest linią przerywaną. W tym momencie kończy się czynność wewnętrznego sprężania przetłaczanego czynnika w sprężarce, a więc wartość tego sprężania przy określonych wirnikach zależy od umieszczenia otworu tłocznego. Przy dalszym obracaniu się wirników odbywa się wytłaczanie czynnika do przewodu tłocznego.

Cykl pracy każdej z bruzd rozpatrywany oddzielnie składa się z kolejno po sobie następujących faz: zasysania, sprężania i wytłaczania czynnika. W praktyce jednak rozdzielenie, w czasie podawania do rurociągu tłocznego, kolejnych dawek czynnika jest

właściwie niezauważalne. Przykładowo przy prędkości 2900 obr/min silnika napędowego, w czterech brzdach wirnika, sprężarka w ciągu jednej minuty dostarcza aż 11 600 dawek czynnika roboczego.

Wprowadzenie sprężarek śrubowych stosowanych w urządzeniach chłodniczych napotykało początkowo na dość znaczne trudności, przede wszystkim ze względu na stosunkowo duże nieszczelności wynikające z konieczności stosowania znacznych luzów między zwojami współpracujących wirników.

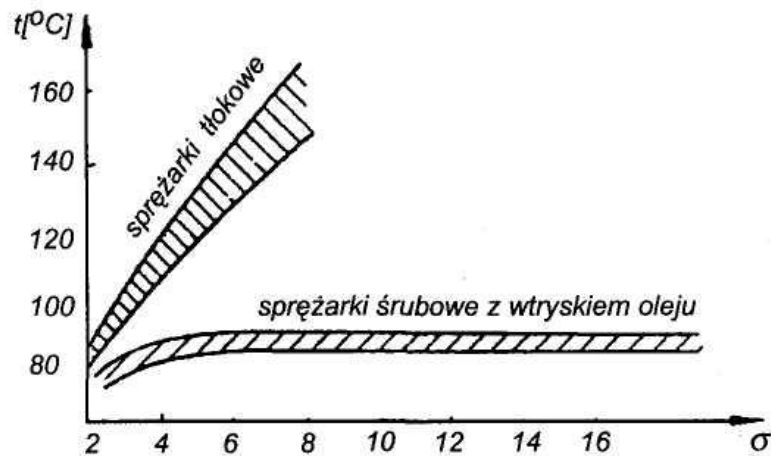
Problemy te zostały usunięte przez zastosowanie wtryskiwania oleju do sprężarki podczas jej pracy. Wtrysk następuje przez kilka dysz skierowanych na linię zazębienia się wirników. Rozwiązanie to daje następujące korzyści:

- zmniejszanie przecieków szczelinowych i wynikających z nich strat,
- chłodzenie sprężanego gazu podczas procesu sprężania,
- zmniejszanie temperatury sprężanego czynnika u wylotu ze sprężarki,
- możliwości budowy wirników z mniejszymi luzami,
- podniesienie wydajności sprężarki,
- polepszenie sprawności sprężarki.

Sprężarka śrubowa z wtryskiem oleju musi być oczywiście wyposażona w dokładny odolejacz. Wtrysk oleju na zazębienie wirników jest obecnie powszechnie stosowany również w sprężarkach powietrza.

Dzięki zastosowaniu mniejszych luzów i uzyskaniu większej szczelności, można było zrezygnować z konieczności

uwzględniania dużych prędkości obrotowych wirników. Pozwala to w efekcie na napęd sprężarki śrubowej bezpośrednio silnikiem elektrycznym, bez konieczności stosowania przekładni zwiększającej obroty.



Rys. 3-7. Zależność końcowej temperatury sprężania od sprężu na rysunku oznaczonego jako σ .

Jedną z najbardziej istotnych zalet sprężarki śrubowej z wtryskiem oleju jest obniżenie temperatury wylotu sprężanego czynnika. Rysunek 3-7 przedstawia zależność wartości końcowej temperatury sprężania od sprężu, czyli od stosunku ciśnienia tłoczenia do ciśnienia ssania.

Dla sprężarek tłokowych wraz ze wzrostem sprężu rośnie temperatura sprężanego czynnika, co pociąga za sobą konieczność stosowania sprężarek wielostopniowych. W sprężarkach śrubowych z wtryskiem oleju temperatura końcowa sprężanego czynnika rośnie nieznacznie w zakresie wartości sprężu od 1 do 6, przy którym osiąga wartość około 90°C i temperatura ta właściwie pozostaje już stała, bez względu na podwyższony w dalszym ciągu spręż.

Korzystnie również przedstawia się wartość sprawności wolumetrycznej. W sprężarkach tłokowych maleje ona dość gwałtownie w miarę podnoszenia się stopnia sprężania, natomiast w sprężarkach śrubowych z wtryskiem oleju nie spada ona poniżej wartości 0,75, nawet dla bardzo dużych spręży $\pi = 16 \div 18$.

Teoretyczna wydajność sprężarki śrubowej

$$\dot{Q}_t = (F_{b1} + F_{b2}) \cdot z_1 \cdot l \cdot n_1 \quad [m^3/\text{min}]$$

gdzie:

F_b – powierzchnia czołowa przekroju bruzd (wrębów) w wirnikach czynnym i biernym,

z_1 – ilość bruzd (wrębów) wirnika czynnego,

l – długość wirnika,

n_1 – prędkość obrotowa wirnika czynnego.

Rzeczywista wydajność sprężarki śrubowej

$$\dot{Q} = \dot{Q}_t \cdot \lambda \quad [m^3/\text{min}]$$

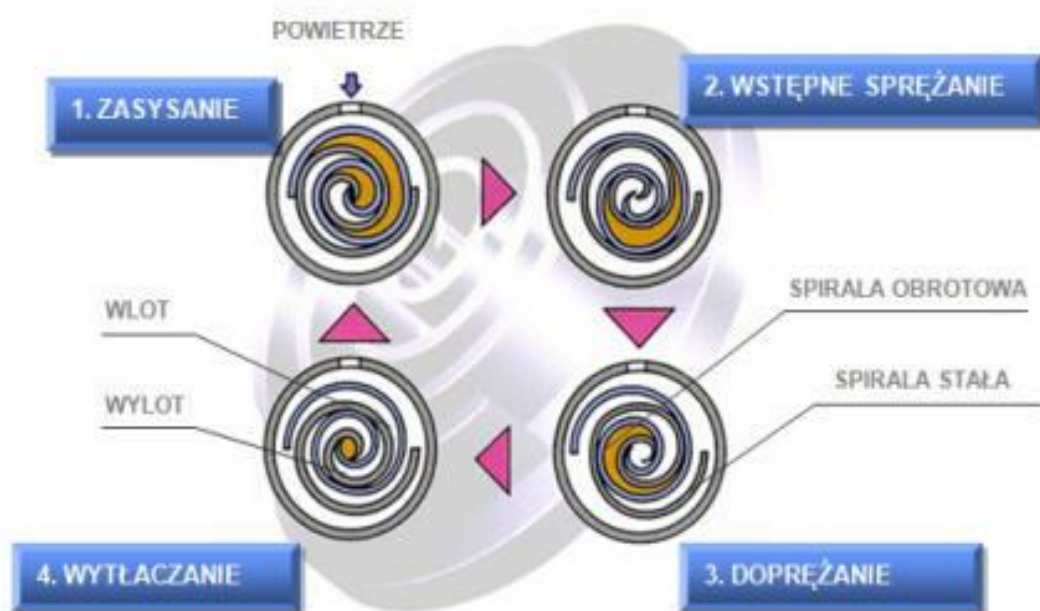
gdzie:

λ – współczynnik przetłaczania.

W sprężarkach śrubowych stopień sprężania wynosi $\pi = 2 \div 20$ przy współczynniku przetłaczania $\lambda = 0,65 \div 0,85$ (wyższe wartości odnoszą się do niższego stopnia sprężania).

3.4. Sprężarki spiralne (typu scroll)

Sprężarka spiralna (nazywana również sprężarką mimośrodową), to typ sprężarki waporowej, w której sprężanie odbywa się dzięki współpracy dwóch spirali. Jedna spirala jest nieruchoma, podczas gdy druga porusza się ruchem mimośrodowym, dzięki czemu przestrzeń między spiralami zmniejsza się od otworu ssawnego do otworu tłocznego.



Rys. 3-8. Schemat sprężarki spiralnej.

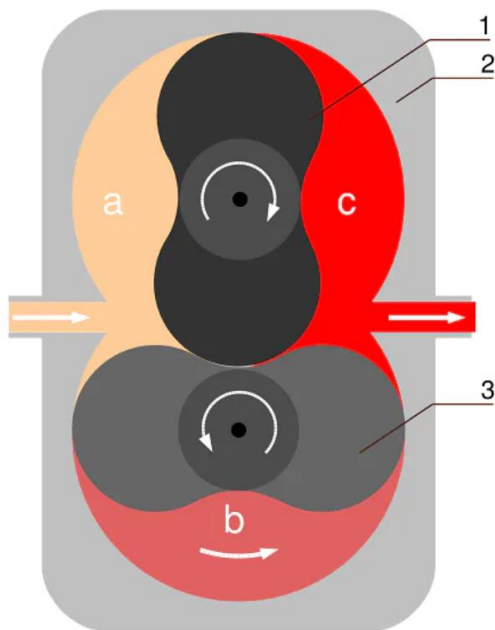


Rys. 3-9. Spirale.

3.5. Sprężarki typu Roots'a

Sprężarki typu Rootsa posiadają dwa wirniki obracające się w przeciwnych kierunkach. Każdy z wirników ma dwie, trzy lub cztery łopatki (zęby). Kształty łopatek są tak dobrane, że wirniki pozostają w stałym kontakcie ze ścianką komory (cylindrem) sprężarki. Natomiast same łopatki wirników nie stykają się ze sobą. W czasie obrotu następuje sprężenie gazu znajdującego się w przestrzeni pomiędzy wirnikiem a ścianką komory sprężarki. Obydwa wirniki są niezależnie napędzane za pośrednictwem przekładni zębatej.

Na rys. 3.10 przedstawiono zasadę działania sprężarki. W komorze *a* znajduje się gaz o najniższym ciśnieniu. W komorze *c* gaz ma ciśnienie najwyższe. Natomiast w komorze *b* ciśnienie gazu jest pośrednie.

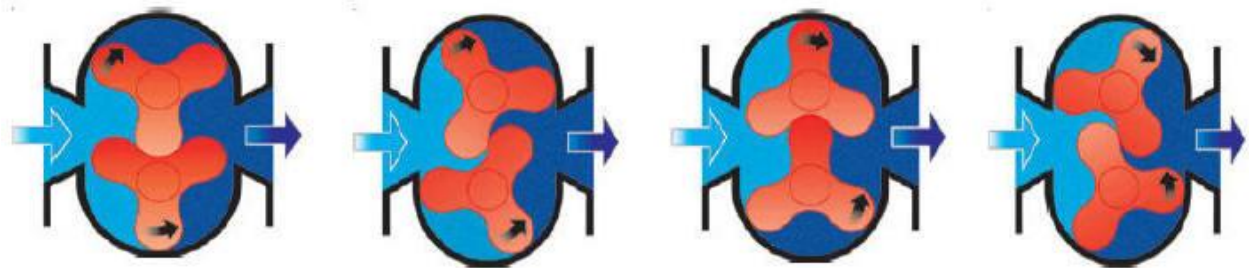


Rys. 3-10. Zasada działania sprężarki Rootsa.

Sprężarka Rootsa nie posiada zaworów. Wzrost ciśnienia gazu jest uzyskiwany dzięki oporom przepływu w kanałach na wylocie ze sprężarki. Sprężarki Rootsa mają niską sprawność ogólną, szczególnie przy wysokich sprężach. Jest ona rzędu 40÷60%. W chwili, gdy komora *b* łączy się z komorą *c*, gaz z tej drugiej (o wyższym ciśnieniu) chwilowo cofa się do komory *b* i burzliwie miesza z powietrzem o niższym ciśnieniu czemu towarzyszy emisja hałasu. W celu poprawy sprawności sprężarki i redukcji hałasu zaczęto stosować wirniki skręcone wokół osi obrotu – grzbiety łopat są w wyniku tego skręcenia krzywoliniowe.



Rys. 3-11. Wirnik sprężarki Roots'a, trójłopatowej, ze skrzyżowanymi łopatkami.



Rys. 3-11. Zasada działania sprężarki Roots'a z wirnikiem trójłopatkowym.