

Eugeniusz Prysok
Radomir Kocopyński

Ośrodek Badawczo Rozwojowy Przemysłu Urządzeń
Klimatyzacyjno - Wentylacyjnych i Odpylających
"BAROWENT" Katowice

WENTYLATORY PRZEZNACZONE DO PRACY W WYSOKIEJ TEMPERATURZE

Streszczenie: W pracy podano kryteria odnośnie konstrukcji wentylatorów przeznaczonych do pracy w wysokiej temperaturze. Zaprezentowano wyniki badań wirników modelowych przedmiotowych wentylatorów. Opisano sposób obliczania rozkładu temperatury za pomocą programu obliczeniowego na Mini Komputer Z80 81. Podano ogólne wytyczne odnośnie doboru materiałów konstrukcyjnych na elementy wentylatora wysokotemperaturowego.

1. Wstęp

W niektórych gałęziach przemysłu a zwłaszcza w hutnictwie i przemyśle metali nieżelaznych oraz cementownictwie, procesom ogniowej przeróbki towarzyszy wydzielanie się dużej ilości gazów i pyłów, często o wysokiej temperaturze. Dla prawidłowego przebiegu procesu technologicznego zasadnicze znaczenie ma właściwy odciąg wydzielających się gazów. Wydzielające się gazy w wysokiej temperaturze, bardzo często toksyczne, są szkodliwe dla zdrowia i powodują pogorszenie warunków pracy dla załóg obsługujących proces technologiczny.

Właściwości fizyko-chemiczne gazów i pyłów towarzyszących procesom stwarzają poważne trudności przy doborze wentylatorów. Gazy te poza wysoką temperaturą posiadają z reguły agresywny charakter i duże zapalenie a ich temperatura na wlocie wentylatora osiąga 600°C. Niektóre pyły zawarte w gazach są mieszaniną pyłów mineralnych i pyłów pochodzących z kondensacji par metali. Posiadają więc duże własności ściągające. W wyższej temperaturze mają więc tendencje do spiekania się. W pewnych procesach technologicznych np. przy obróbce cieplnej tałm mosiężnych wirniki wentylatorów instalowane są bezpośrednio w piecach grzewczych. Służą one do mieszania tzw. atmosfery ochronnej wytwarzanej na bazie gazu ziemnego poprzez spalanie go do CO₂. Temperatura gazu może dochodzić do 1000°C.

2. Kryteria odnośnie konstrukcji wirników przeznaczonych do pracy w wysokiej temperaturze

Przy projektowaniu wentylatorów pracujących w wysokiej temperaturze należy uwzględnić następujące czynniki, mające istotny wpływ na pracę wentylatora.

1. Wirnik winien pracować przy niskich prędkościach obrotowych aby nie dopuścić do dużych naprężeń od siły odśrodkowej. Jest to możliwe przy osiągnięciu dużych wskaźników spiętrzenia wirnika.
2. Wirnik winien być tak zaprojektowany aby jego elementy były równomiernie i w jak najmniejszym stopniu obciążone.

3. Rozszerzalność cieplna materiału powoduje konieczność zastosowania większych szczelin wlotowych / pomiędzy wirnikiem a lejem wlotowym /. Dla zmniejszenia strat przepływowych związanych z tym zagadnieniem, należy przewidzieć odpowiednie rozwiązanie konstrukcyjne tego węzła.

4. Wentylator powinien osiągać sprawność minimalną $\eta > 0,6$ przy spełnianiu warunków ujętych w punktach 1 + 3.

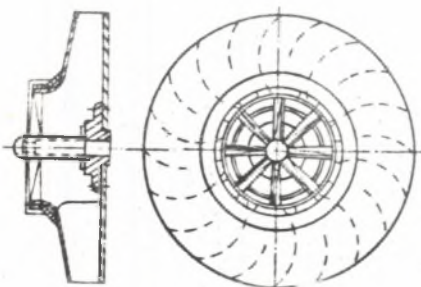
W pracy [1] zbadano przydatność znanych rozwiązań cech geometrycznych wirników do pracy w wysokiej temperaturze. Przykładowo wentylatory typu bębnowego osiągają duże wskaźniki spiętrzenia, lecz nie spełniają one kryteriów wytrzymałościowych. Jest to skutkiem szerokich łopatek i wąskich tarcz nakrywających. Kompromisowym rozwiązaniem jest wentylator promieniowy o stosunku średnic $D_2/D_1 = 2,5$. Dla takiego rozwiązania uzyskuje się zmniejszenie naprężeń w tarczy nakrywającej, a w szczególności gdy jest ona wzmacniana pierścieniem na wlocie.

Obliczenia naprężeń w łopatkach i tarczy nakrywającej wykazały, że dla stosunku promieniowej powierzchni wlotu do przekroju otworu wlotowego równego 1,5 - naprężenia w łopatkach i tarczy nośnej są mniej więcej jednakoowe.

Przepływ strumienia czynnika na wlocie pomiędzy lejem wlotowym a wirnikiem nie może odbywać się optymalnie, ponieważ w przypadku przedmiotowych wentylatorów niedopuszczalne jest wykonanie małych szczelin wlotowych. Dlatego też sięgnięto po rozwiązanie polegające na tym, że na zewnętrznej powierzchni tarczy nakrywającej w jej przedniej części zastosowano małe łopatki.

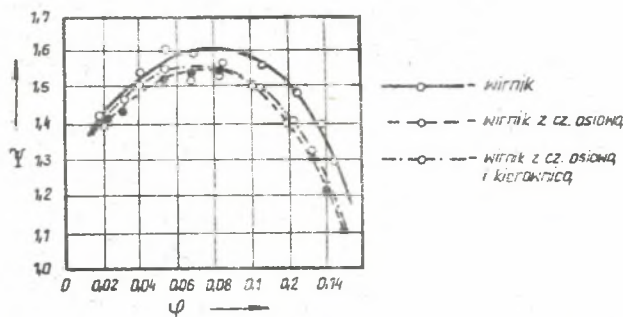
W pracy [2] obliczono naprężenia w tarczy nakrywającej za pomocą metody Beka [3]. W metodzie tej naprężenia maksymalne w tarczy są porównywalne z naprężeniem w pierścieniu o tej samej prędkości obrotowej, za pomocą wskaźnika "K". Wskaźnik ten zależy od kształtu tarczy nakrywającej i stosunku średnic. Za pomocą metody Beka w pracy [2] zaprojektowano wirnik o jednakowych naprężeniach w tarczy nakrywającej i łopatkach. Spełnienie warunku równomiernego i małego wyłężenia wirnika nie daje wprawdzie wentylatora o największej sprawności ale spełnia warunki stawiane przedmiotowym wentylatorom.

Na rys. 1 przedstawiono jeden z modelowych wirników przebadanych w pracy [2] o kącie $\beta_2 = 140^\circ$.



Rys. 1 Wirnik modelowy wg [2]

Na rys. 2 przedstawiono charakterystykę przepływową wirnika modelowego wg rys. 1.



Rys. 2 Charakterystyka przepływowa wirnika modelowego wg rys. 1 dla trzech różnych rozwiązań konstrukcyjnych.

3. Wyniki badań wirników modelowych

Na podstawie danych literaturowych oraz doświadczeń własnych w ODR "BAROMETT" zaprojektowano i przebadano kilka wirników modelowych przeznaczonych do pracy w wysokiej temperaturze [4,5]. Przy projektowaniu wirników wzięto pod uwagę wszystkie wytyczne niniejszej pracy zawartej w rozdziale 2.

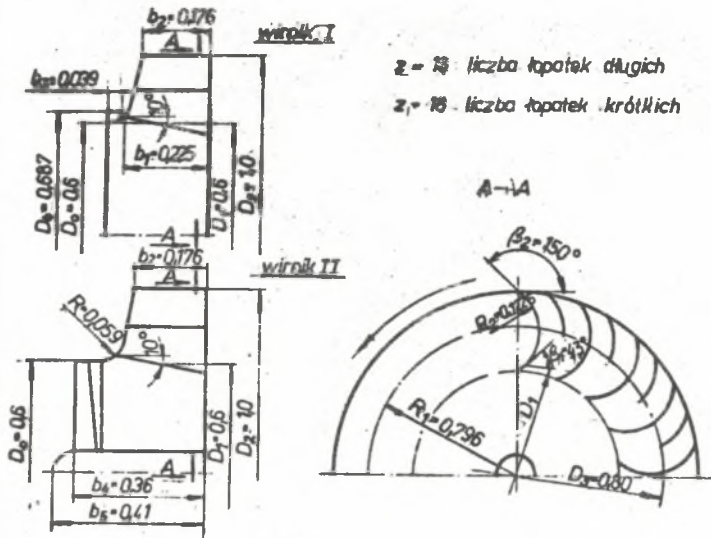
Na rys. 3 przedstawiono geometryczne cechy konstrukcyjne dwóch wirników modelowych I i II a na rys. 4 ich charakterystyki przepływowe.

Pierwszy z wirników modelowych I posiadał na zewnętrznej powierzchni tarczy przedniej kilka małych łopatek. Tego typu rozwiązanie konstrukcyjne miało na celu zmniejszenie strat szczelinowych. Badania wirnika o identycznych cechach geometrycznych, jednakże bez łopatek na tarczy przedniej wykazały, że posiada on mniejszą sprawność całkowitą o ok. 2%.

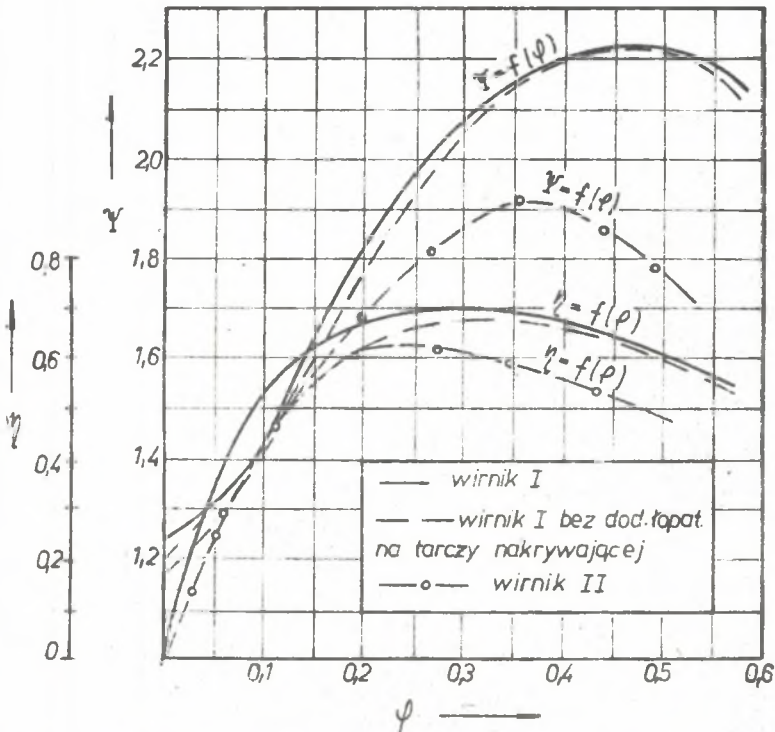
Drugi z wirników modelowych II posiadał na wlocie dodatkową część osiową z łopatkami w celu zmniejszenia naprężeń tarczy nakrywającej. Zastosowanie części osiowej prowadzi do zmniejszenia naprężeń w tarczy nakrywającej o ok. 20%. Potwierdziły to badania tensometryczne [2]. Obydwa wirniki były badane w spirali o szerokości względnej $B/b_2 = 2,5$.

4. Obliczenia rozkładu temperatury w wale wentylatora wysokotemperaturowego

Bardzo ważne zagadnienie przy projektowaniu wentylatorów przetłaczających czynnik o wysokiej temperaturze, to znajomość rozkładu pola temperatury w wale wentylatora oraz sporządzenie bilansu odpowiednich strumieni ciepła. Główne elementy wentylatora wysokotemperaturowego, których obecność w istotny sposób wpływa na

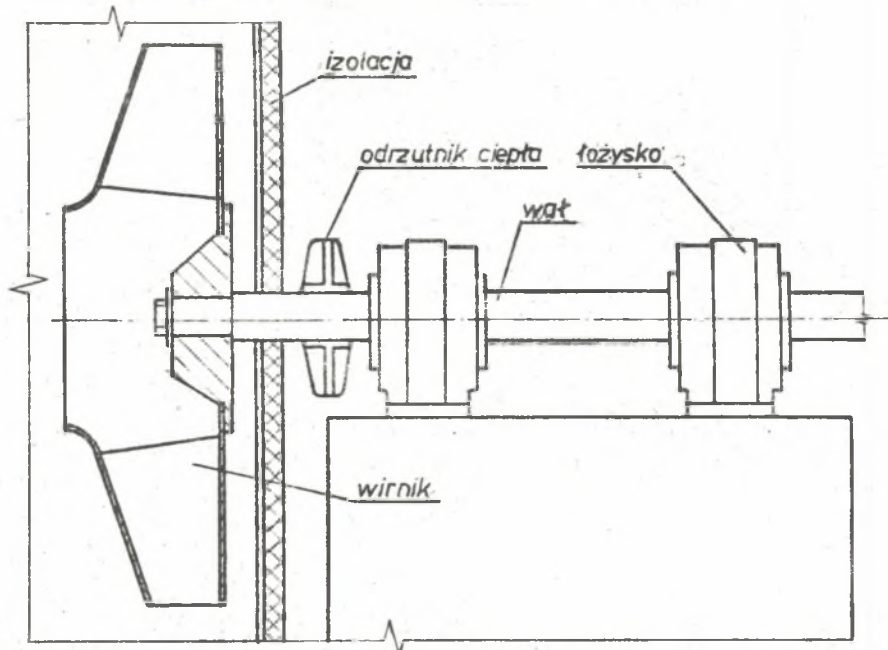


rys. 3 Geometryczno-konstrukcyjne cechy wirników modelowych /wymiary odniesiono do średnicy zewnętrznej wirnika/



rys. 4 Charakterystyki przepływowe wirników modelowych wg rys. 3

przebieg zjawiska wymiany ciepła przedstawiono na rys. 5 .



Rys. 5 Schemat zespołu wirującego wentylatora wysokotemperaturowego.

Dokonana analiza rozkładu temperatury w wale wentylatora opiera się na następujących założeniach [6] :

- rozkład temperatury jest osiowo-symetryczny,
- ustalony jest stan termiczny wału,
- uwzględnia się obecność : wirnika, odrzutnika ciepła i łożysk,
- w miejscu styku połączenia wału z wyżej wymienionymi elementami - ciepło przepływa drogą przewodzenia,
- na powierzchniach omywanych gazem o temp. T_g lub powietrza o temp. T_o - przepływ ciepła następuje na drodze konwekcji przy znanym współczynniku wnikania ciepła,
- parametry materiałowe / c, ρ, λ / nie zależą od temperatury.

Przy rozpatrywaniu fragmentu wału od odbudowy aż do łożyska /rys. 6/ przyjęto, że w płaszczyźnie "g" temperaturę wału jest wyrównana i równa temperaturze czynnika T_g a wymiana ciepła jest ustalona.

Rozkład temperatury opisuje równanie

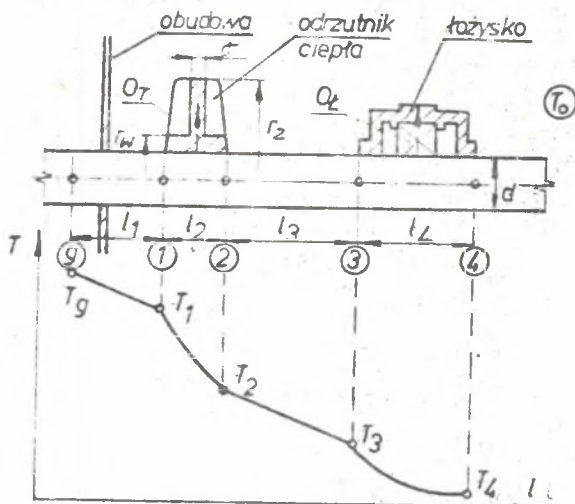
$$\frac{d^2 T}{dx^2} - m^2 (T - T_o) = 0 \quad (1)$$

gdzie:

$$m = \sqrt{\frac{4 \alpha_w}{\lambda_w d}}$$

α_w - współczynnik wnikania ciepła do wału,
 λ_w - współczynnik przewodzenia ciepła wału,
 d - średnica wału.

Wał podzielono myślowo na kilka charakterystycznych odcinków, co przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6 Rozkład temperatury wzdłuż długości wału

Tradycyjny sposób obliczeń wg. podanego w [6] algorytmu jest bardzo pracochłony. Z powyższych względów opracowano w OBR "Darowent" program obliczeniowy pod nazwą "Temperatury" na Mini Komputer ZX 81, umożliwiający szybko i wielowariantowe obliczenia rozkładu temperatury w wałe wentylatora i sporządzenie bilansu cieplnego łożysk. Dane wejściowe programu :

- średnica wału
- długość poszczególnych odcinków wału
- promień wewnętrzny tarczy odrzutnika ciepła
- promień zewnętrzny tarczy odrzutnika ciepła
- grubość tarczy odrzutnika ciepła
- współczynnik przewodzenia ciepła materiału wału
- współczynnik przewodzenia ciepła materiału tarczy
- temperatura przeciętnego gazu
- temperatura otaczającego powietrza
- temperatura w przekroju k
- liczba obrotów wentylatora

d
 $l_1, l_2, l_3, l_4,$
 $r_w,$
 r_2
 δ
 λ_w
 λ_T
 T_G
 T_0
 T_k
 $n_w.$

W wyniku obliczeń otrzymuje się :

- temperaturę w punktach charakterystycznych
- strumienie ciepła w przekrojach charakt.
- rozkład temperatury między punktami charakterystycznymi
- bilans cieplny łożyska :

T_1, T_2, T_3
 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_T

- a/ ciepło doprowadzone przez wał,
- b/ ciepło tarcia w łożysku,
- c/ ciepło odprowadzone od powierzchni oprawy łożyska,
- d/ ciepło odprowadzone przez wodę chłodzącą.

5. Wytyczne odnośnie doboru materiałów konstrukcyjnych.

Istotną sprawą przy projektowaniu wentylatorów wysokotemperaturowych jest fakt, że stal użyta na elementy wentylatora odbiega znacznie swą temperaturą pracy od temperatury 20°C. W związku z powyższym mamy do czynienia ze zmniejszeniem jej własności wytrzymałościowych. Zjawiska zachodzące w stali przy temperaturze podwyższonej powodują z reguły zwiększenie plastyczności w wyniku czego trwałe odkształcenie zależy od trzech czynników :

- naprężenia,
- czasu trwania obciążenia,
- temperatury.

Od stali pracujących w podwyższonej temperaturze wymaga się przede wszystkim następujących własności :

- wystarczającej wytrzymałości przy temperaturze pracy,
 - dostatecznej odporności na niszczące działanie gorących gazów.
- Do własności mechanicznych, charakteryzujących daną stal przy temperaturze podwyższonej, należą :
- granica plastyczności przy temperaturze pracy R_{et} ,
 - czasowa wytrzymałość na pełzanie,
 - czasowa granica pełzania.

Obliczenia wytrzymałościowe, dotyczące elementów pracujących w temperaturze podwyższonej, lecz nie wyższych od tzw. temperatury granicznej / dla danego gatunku stali/ tj. temperatury określonej punktem przecięcia się funkcji $R_{et} = f(t)$ i $R_z(\tau) = f(t)$, opierają się na umownej granicy plastyczności / R_{et} / dla tej temperatury, w której dany element ma pracować.

Przy wyższych temperaturach od tzw. temperatury granicznej - granica plastyczności R_{et} wyznaczona w krótkotrwałej próbie rozciągania nie jest już miarodajna dla obliczeń z powodu odmiennego zachowania się stali pod obciążeniem przy wyższych temperaturach. Oznaczenie tej granicy przeprowadza się wg PN - 66/H - 04312 [7] .

Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na dobór gatunku stali są:

- temperatura pracy elementu,
- wymagane własności mechaniczne przy temperaturze pracy,
- możliwość rozszerzenia się elementów,
- przewidywany czas pracy,
- rodzaj ośrodka gazowego,
- sposób łączenia elementów.

Przy doborze gatunku stali [7,8,9] na elementy wentylatorów wysokotemperaturowych zaleca się stosować stal możliwie najmniej stopową.

Wraz ze wzrostem stopowości, oprócz wyższego kosztu materiału, zwiększają się też trudności technologiczne. Nie można dobierać materiałów o zbyt niskich własnościach mechanicznych, gdyż wówczas grubości ścianki elementów są zbyt duże, co ze względu na przewodzenie ciepła jest niekorzystne.

6. Uwagi końcowe.

Przedstawione modele wirników przeznaczonych do przetlaczania czynnika o wysokiej temperaturze spełniają wymogi stawiane przedmiotowym wentylatorom, zarówno pod względem przepływowym jak i wytrzymałościowym.

Zaprezentowany program "Temperatury" umożliwia szybkie i wielowariantowe obliczenia rozkładu temperatury w wale i sporządzenie bilansu cieplnego łożyska za pomocą Mini Komputera typu ZX 81.

Podano wytyczne odnośnie doboru materiałów konstrukcyjnych przeznaczonych na elementy wentylatora wysokotemperaturowego wraz z odpowiednim zestawem literatury.

LITERATURA

- [1] Stein H., Kramer C.: Heißgasventilatoren. Gas Wärme nr 1/2 1976.
- [2] Stein H., Kramer C.: Zur Optimierung von Heißgasventilatoren für den Industrieofenbau. Gas Wärme nr 11/12 1976.
- [3] Dek B.: Ventilatoren. Springer - Verlag, 7 Auflage. Berlin 1972.
- [4] Prysok E.: Wytyczne konstruowania wentylatorów do wysokich temperatur - Etap II. Praca niepublikowana, OBR "Barwent" 1982.
- [5] Malcharek K., Nagi I.: Wytyczne konstruowania wentylatorów do wysokich temperatur - Etap V. Praca niepublikowana, OBR "Barwent" 1983.
- [6] Kosman G., Otte J.: Analiza rozkładu temperatury w wale wentylatora przetlaczającego czynnik o wysokiej temperaturze. Praca niepublikowana, ZORPOT - Katowice.
- [7] Z.N.Z. i S.: Stale węglowe i niskostopowe do pracy w podwyższonych temperaturach. Wema, Warszawa 1973.
- [8] Praca zbiorowa IZS.: Charakterystyki stali - stale do pracy w temperaturach podwyższonych i obniżonych - Seria D, Tom I część I. Wyd. Śląsk, Katowice 1978.
- [9] Informator "Centrostalu": Stale i staliwa zaroodporne. Wema, Warszawa 1971.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Gerard Kosman

Wpłynęło do redakcji, maj 1985 r.

**ВЕНТИЛЯТОРЫ ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ РАБОТЫ
В СРЕДЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР****Р е з ю м е**

В статье подано критерии конструкции вентиляторов предназначенных для работы в высокой температуре. Представлено результаты исследований модельных роторов для этих вентиляторов. Описано способ расчёта температуры с помощью вычислительной программы на Мини-Компьютере ZX 81. Подано общие указания относительно подбора конструкционных материалов на элементы высокотемпературного вентилятора.

DESIGNING OF RADIAL FANS FOR HIGH TEMPERATURES**S u m m a r y**

There are given some designing radial fans working in high temperatures. Testing results of model impellers are given. The calculation method of temperature distribution on Mini Computer ZX 81 is included. Material problems for main elements of high temperature radial fans are discussed.