

## BALANCING OF TURBOCHARGER ROTORS

**Jerzy Jaskólski**

*Kraków University of Technology  
Institute of Automobiles and Internal Combustion Engine  
Warszawska 24, 31-155 Kraków, Poland  
tel.: +48 12 6283684  
e-mail: jaskolsk@usk.pk.edu.pl*

**Grzegorz Budzik, Adam Marciniak**

*Rzeszów University of Technology,  
Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautic  
Al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, Poland  
tel.: +48 17 8651642, fax: +48 17 8651150  
e-mail: gbudzik@prz.edu.pl, amarc@prz.edu.pl*

### **Abstract**

*The paper presents constructional and technological aspects of balancing of turbocharger rotors. Rotor system is a basic element of a turbocharger, responsible for its correct operation. Balancing of a rotor system is very important for decreasing the level of vibration. High level of vibration can destroy a turbocharger. Balancing it is the one of the most important stages of the assembly process. Rotor design should guarantee light weight and high strength. Design of a rotor has to assure grinding allowance for balancing. Removal of material is realized by machining and abrasive machining. The lower the mass of a rotor, the smaller deceleration of the rotor system, what results in improved dynamic characteristic of a turbocharged engine. Balancing of a rotor system assembly consists of a few stages: balancing of a compressor rotor, balancing of a turbine impeller, balancing of a rotor system, then balancing of the rotor system mounted in a turbocharger body. Turbochargers with rotors of a diameter above 250 mm are examined for level of vibration on a special turbocharger test bench. Correct balancing assure fulfillment of all technical requirements concerning vibration levels in every range of the rotor speed.*

**Keywords:** turbocharger, construction parameters, dynamic properties, level of vibration

## WYWAŻANIE WIRNIKÓW TURBOSPREŻAREK

### **Streszczenie**

*Artykuł przedstawia konstrukcyjne i technologiczne aspekty wyważania układów wirujących turbosprężarek. Układ wirujący jest podstawowym elementem turbosprężarki odpowiedzialnym za jej prawidłową pracę. Wyważenie układu wirującego jest szczególnie istotne dla zmniejszenia drgań, które mogą spowodować zniszczenie turbosprężarki, dlatego jest to jedna z najważniejszych części procesu montażu. Konstrukcja wirników powinna charakteryzować się jak najmniejszą masą przy zachowaniu parametrów wytrzymałościowych. Konstrukcja wirników musi również zapewniać możliwość usunięcia nadmiaru materiału celem wyważenia układu wirującego. Usuwanie materiału realizowane jest poprzez obróbkę skrawaniem lub obróbkę ścierną. Mniejsza masa wirników zmniejsza opóźnienia układu wirującego turbosprężarki, co polepsza właściwości dynamiczne doładowanego silnika spalinowego. Wyważanie układu wirującego składa się z kilku etapów: wyważanie wirnika sprężarki, wyważanie wirnika turbiny, wyważanie zespołu wirującego, wyważania zespołu wirującego w korpusie turbosprężarki. W przypadku turbosprężarek o średnicy wirników powyżej 250 mm poddawane są one badaniom częstości drgań podczas prób na hamowni. Prawidłowe wyważenie zapewnia spełnienie wymagań technicznych dotyczących parametrów częstości drgań w zadanych zakresach prędkości obrotowej.*

**Słowa kluczowe:** turbosprężarka, parametry konstrukcyjne, własności dynamiczne, poziom drgań

## 1. Wstęp

Nowoczesne turbosprężarki pracują z dużymi prędkościami obrotowymi dochodzącymi do 200000 [obr/min], dlatego wyważanie wirników jest jednym z kluczowych etapów procesu montażu zespołu wirującego [2, 3].

Jedną z najczęstszych przyczyn zaburzeń ruchu obrotowego układu wirującego turbosprężarki są odśrodkowe siły bezwładności powstające wskutek nie pokrywania się osi wirowania z jedną z głównych centralnych osi układu wirującego. Niejednakowego usytuowania tych osi należy upatrywać przede wszystkim w niewyrównoważeniu mas wirujących [4,5].

Wskutek niewyrównoważenia pojawiają się odśrodkowe siły bezwładności. Siły te stanowią zewnętrzne okresowe wymuszenia i mogą wywoływać zjawiska rezonansu. Siły ciężkości działające na wirujące elementy mogą stanowić również źródło powstawania drgań [6, 7].

Nadmierne drgania w pierwszej kolejności powodują uszkodzenia łożysk układu wirującego, co staje się przyczyną unieruchomienia a nawet zniszczenia turbosprężarki [8].

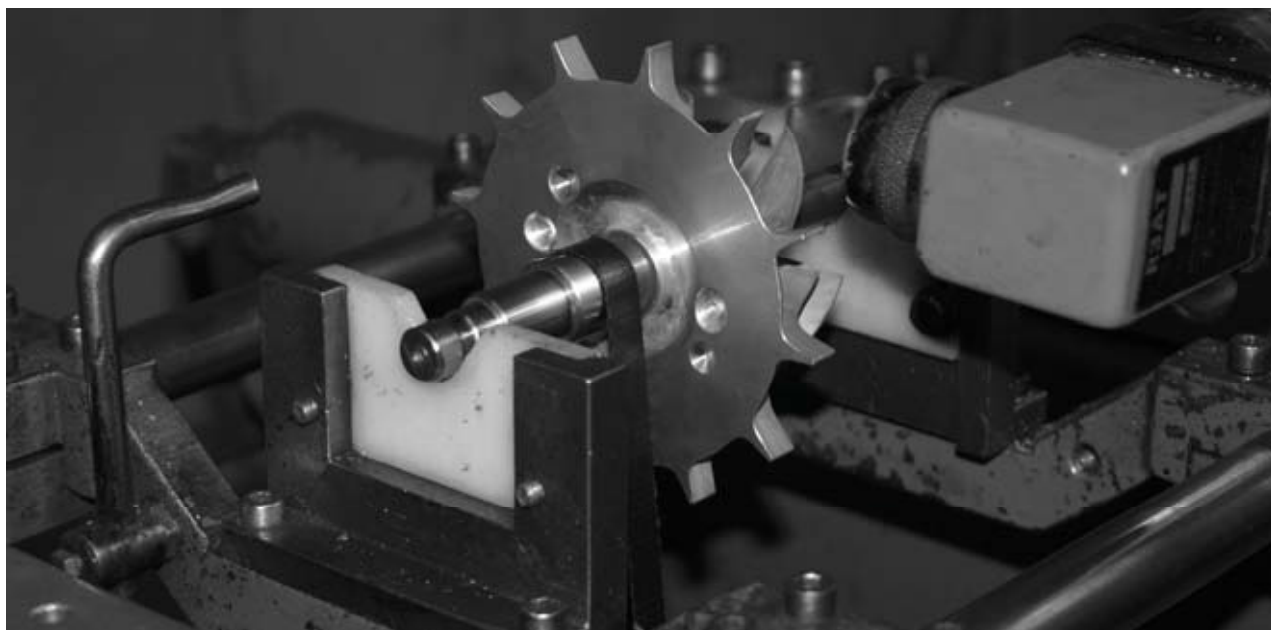
## 2. Wyważanie zespołu wirnikowego turbosprężarki

Wyważanie zespołu wirnikowego turbosprężarki składa się z dwóch zasadniczych etapów:

- pierwszy etap: wyważanie wirnika sprężarki, wyważanie wirnika turbiny, wyważanie zespołu wirującego,
- drugi etap: wyważanie zespołu wirującego w korpusie turbosprężarki.

### 2.1. Wyważanie wirników

Pierwszym etapem procesu wyważania jest kolejne wyważenie wirnika turbiny, wirnika sprężarki a następnie wyważenie całego zespołu poza korpusem turbosprężarki. Wyważanie tego typu odbywa się na specjalistycznych wyważarkach. W celu wyważenia wirnika sprężarki należy na jednej łopatkce nanieść białą farbą znak dla sensora fotokomórki. Następnie wirnik należy zamocować na wałku pomocniczym. Wałek z wirnikiem mocuje się na wyważarce i podłącza napęd (rys. 1).



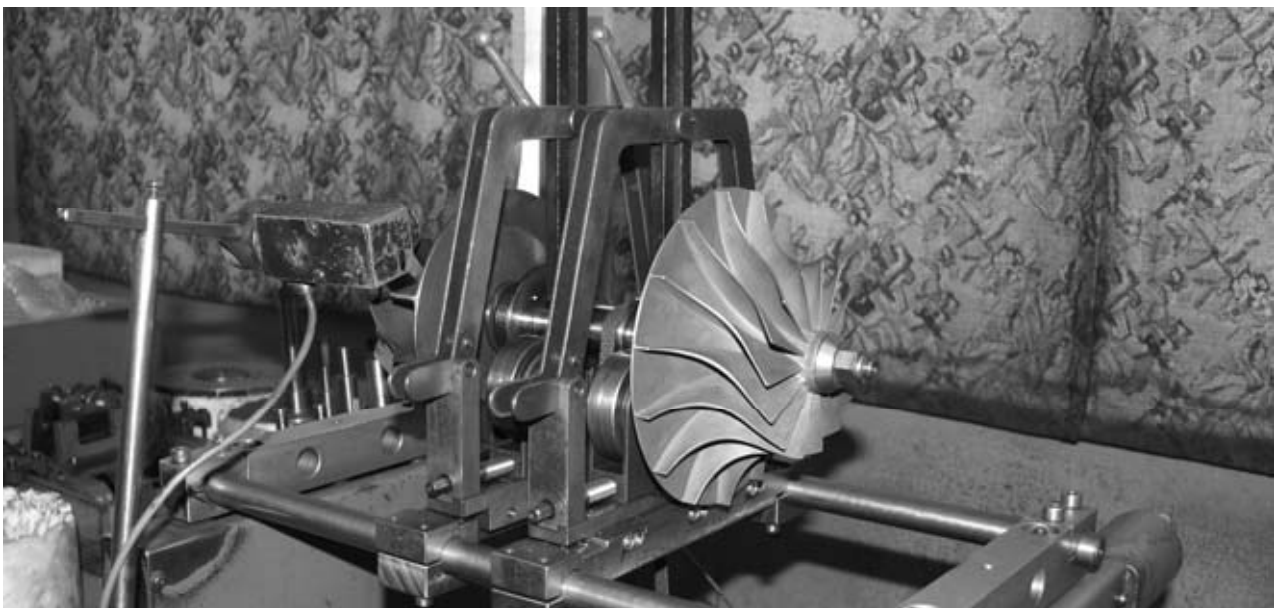
Rys. 1. Wirnik sprężarki zamocowany na wyważarce firmy Hofmann  
Fig. 1. Compressor impeller fixed on Hofmann balancing machine

Następnie należy wyważyć wirnik turbiny. Wirnik turbiny najczęściej połączony jest na stałe z wałkiem turbosprężarki (np. przez zgrzewanie tarciove), dlatego taki zespół jest w całości instalowany na wyważarce. W przypadku ciężkich wirników należy stosować dodatkowe uchwyty wałka (rys. 2).



*Rys. 2. Wirnik turbiny zamocowany na wyważarce firmy Hofmann  
Fig. 2. Turbine impeller fixed on Hofmann balancing machine*

Wyważone osobno elementy należy połączyć w zespół wirnikowy, który będzie dedykowany jako całość do pracy w kompletnej turbosprężarce. Zespół podczas wyważania musi być skompletowany ze wszystkimi elementami wirującymi i zainstalowany na wyważarce (rys. 3). Po zakończeniu procesu wyważania nie wolno zmieniać wirników.



*Rys. 3. Wirniki turbiny i sprężarki zamocowane na wyważarce firmy Hofmann  
Fig. 3. Turbine and compressor impeller fixed on Hofmann balancing machine*

Proces wyważania polega na dołączaniu do wirnika odpowiednich mas w zależności od wskazań przyrządów pomiarowych. Na podstawie położenia dołączonych do wirnika mas oraz ich wartości określone są miejsca ściągania nadatków materiału.

## 2.2. Wyważanie zespołu wirującego w korpusie turbosprężarki

Drugim etapem jest wyważanie zespołu wirującego w korpusie turbosprężarki. Do tego celu może posłużyć wyważarka M2 firmy Turbo Manufacturing Italy (rys. 4). Wyważarka tego typu wyposażona jest szereg urządzeń pomiarowych i instalacji dodatkowych, do których m.in. należą układ smarowania łożysk w korpusie turbosprężarki z podgrzewaniem oleju, uchwyty mocujące korpus, układ napędowy (na sprężone powietrze).



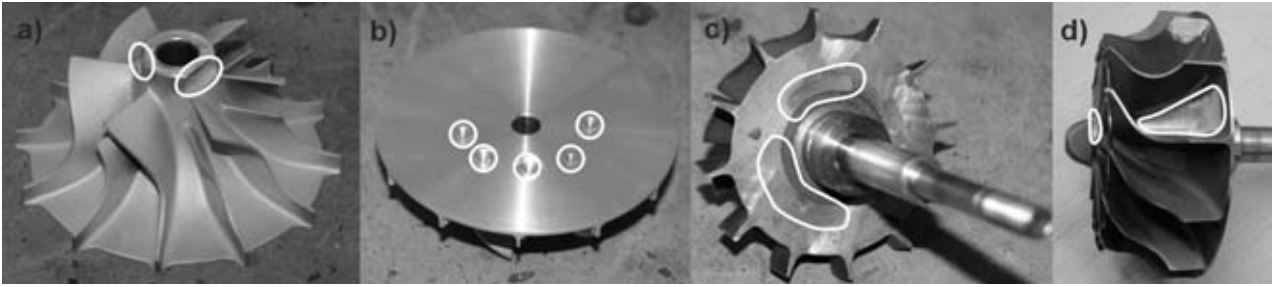
Rys. 4. Wyważarka M2 firmy Turbo Manufacturing Italy  
Fig. 4. Balancing machine type M2 - Turbo Manufacturing Italy

Przed rozpoczęciem wyważania korpus turbosprężarki należy przymocować do wyważarki, następnie podłączyć przewody olejowe i włączyć grzałkę w celu uzyskania odpowiedniej temperatury oleju ( $50 \div 80^{\circ}\text{C}$ ). Ciśnienie oleju podczas pracy układu powinno wynosić  $0,1 \div 0,15$  [MPa]. Na wirniku turbiny należy wykonać znak (półkola czarne i białe) służący do odczytu prędkości obrotowej. Na wirniku sprężarki należy wykonać znak białą farbą dla lokalizacji miejsca niewyważenia. Dyszę powietrza napędzającego należy umieścić tak, aby strumień skierowany był po stycznej do obwodu największej średnicy wirnika turbiny. Takie ustawienie pozwala na uzyskanie największych prędkości obrotowych wirników przy najmniejszym zużyciu powietrza. Przed przystąpieniem do badań sprawdzana jest również prawidłowość pracy sensora fotokomórki. Przygotowane w ten sposób stanowisko jest gotowe do wyważania kolejno wirnika sprężarki i turbiny.

## 3. Konstrukcja wirnika – miejsca usuwania nadatków materiałowych

Konstrukcja wirnika sprężarki i turbiny musi uwzględniać miejsca usuwania materiału w celu wyważenia układu. Materiał z wirników usuwany za pomocą obróbki ubytkowej (wiercenia, frezowania, szlifowania). Istnieje wiele miejsc usunięcia nadatków materiału. Miejsca te oznaczone białą linią przedstawia rysunek 5 - wirnik sprężarki (rys. 5a,b), turbiny (rys. 5c, d).

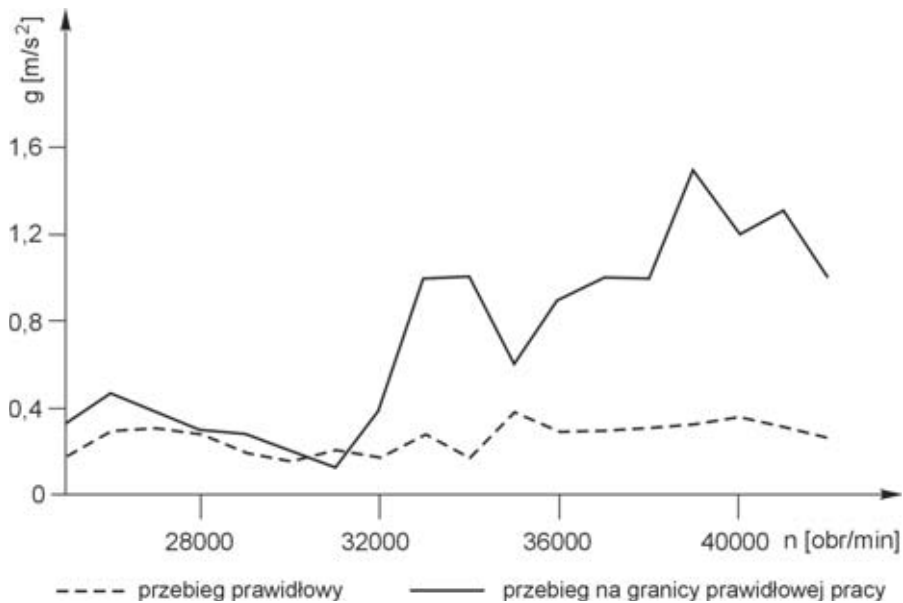




Rys. 5. Miejsca zdejmowania materiału: a), b) wirnik sprężarki, c), d) wirnik turbiny  
 Fig. 5. Place of remove material: a), b) compressor impeller, c), d) turbine impeller

#### 4. Badania stanowiskowe turbosprężarki

Ostateczna kontrola poprawności działania turbosprężarki i prawidłowego wyważenia przeprowadzana jest na stanowisku hamownianym przez pomiar częstości drgań [1]. W przypadku turbosprężarek o średnicy wirników powyżej 250 mm pomiary tego typu są warunkiem odbioru technicznego. Prawidłowe wyważenie zapewnia spełnienie wymagań technicznych dotyczących parametrów częstości drgań w zadanych zakresach prędkości obrotowej. Rysunek 6 przedstawia wyniki badań stanowiskowych częstości drgań własnych turbosprężarek C0-45 w zakresie prędkości obrotowej 0÷42000 [obr/min]. Turbosprężarki C0-45 spełniające kryteria odbioru technicznego można podzielić na dwie grupy: pierwsza grupa to turbosprężarki pracujące w dolnych zakresach drgań ( $a_{dop} \leq 0,8g$ ), druga to pracujące w górnych zakresach drgań ( $a_{dop} \leq 1,5g$ ).



Rys. 6. Poziom drgań turbosprężarek C0-45 w funkcji prędkości obrotowej  
 Fig. 6. Level of vibration of turbochargers C0-45 in rpm function

#### 5. Wnioski

Istnieje wiele przyczyn przekroczenia dopuszczalnych drgań turbosprężarek. Najczęstszą przyczyną nadmiernych drgań są niewyrównoważone układy wirujące. Niewyrównoważenie może pojawić się z następujących przyczyn:

- nieprawidłowego montażu turbosprężarki po wyważeniu układu wirującego,
- nierównomiernego zużycia łopatek w wyniku korozji i erozji,
- pojawienia się ciał obcych i zanieczyszczeń w wirnikach turbiny i sprężarki,

- uszkodzenia łopatek wirników,
- osłabienia połączenia pomiędzy wałkiem w wirniku sprężarki,
- odkształcenia termicznego wywołanego naprężeniami wewnętrznymi lub niejednorodnością materiału wirników turbiny i sprężarki.

Proces wyważania układu wirującego turbosprężarki jest niezwykle istotny dla jej właściwego działania. Prawidłowy proces montażu i szczegółowa kontrola jakości pozwalają uniknąć uszkodzeń turbosprężarek. Przedstawione powyżej przyczyny powstawania drgań wynikają głównie z nieprawidłowej eksploatacji doładowanego silnika.

## Literatura

- [1] Budzik, G., Mazurkow A., *Research Of Dynamic Properties of Turbochargers C0-45*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 13, No. 3, pp. 41-46, Warszawa 2006.
- [2] Kiciński, J., *Dynamika wirników i łożysk ślizgowych*, Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2005.
- [3] Kowalewicz, A., *Doładowanie silników spalinowych*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 1998.
- [4] Kordziński, C., Środulski, T., *Silniki spalinowe z turbodoładowaniem*, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 1970.
- [5] Mysłowski, J., *Doładowanie silników*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
- [6] Oczóś, K. E. (red.), *Roraty Fluid-Flow Machines*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1998.
- [7] Santos, I. F., Nicoletti, R., Scalabrin, A., *Feasibility of applying active lubrication to reduce vibration in industrial compressors*, Proc. Of ASME Turbo Expo 2003, June 16-19, GT2003-38225, USA, Atlanta 2003.
- [8] Walczyk, Z., Kiciński, J., *Dynamics of Turbojets*, Technical University of Gdańsk Publisher, Gdańsk 2001.