

DESENVOLVIMENTO DE UM ACIONADOR DE MICROTURBINA

Gustavo S. Böhme

Gustavo.bohme@poli.usp.br

Resumo. O Laboratório de engenharia Térmica e Ambiental, da Universidade de São Paulo vem desenvolvendo uma turbina a gás derivada de turbo compressor automotivo para acionamento de um grupo gerador. Devido ao baixo custo do turbo compressor, espera-se obter um grupo gerador elétrico de baixo custo para aplicações em co-geração, geração distribuída e sistemas de back-up.

O trabalho aqui apresentado desenvolveu um componente acionador (ou starter), que atende às necessidades de segurança, funcionalidade e confiabilidade do projeto citado acima.

Palavras chave: Projeto de máquinas, acionador, starter, microturbina.

1. Introdução

Um breve histórico dos modos de acionamento da turbina até o momento presente abrange o uso de sopradores de ar. Estes atuam na injeção de ar diretamente no bocal da microturbina durante o seu acionamento, até o ponto onde a operação da mesma entra em regime auto-sustentável.

Foi usado inicialmente um ventilador estacionário e robusto da marca Bernauer, modelo WBR-822, que restringia o acionamento da microturbina ao local onde o ventilador se encontrava instalado. O ar era direcionado manualmente até o bocal através de um tubo flexível, até que o ponto de funcionamento da microturbina fosse atingido, onde a injeção de ar se tornava desnecessária à operação. Era feito então, também manualmente, o desacoplamento do tubo flexível.

Em uma segunda etapa do projeto, foi adquirido pelo laboratório um soprador de folhas comercial da marca Tekna (linha Forest Garden), modelo Sopro Aspirador VB2001, que atendeu ao problema de mobilidade do acionador anterior, mas ainda exige a presença de um indivíduo para realizar o acoplamento e desacoplamento do acionador.

O mecanismo desenvolvido neste projeto leva o rotor da microturbina através de um comando a distância, até uma velocidade que garanta seu pleno funcionamento (valor estimado atualmente em 30 000 rpm), sem promover qualquer forma de prejuízo com relação aos demais componentes existentes, através de fatores como vibração ou obstrução do fluxo do ar de trabalho.

2. Desenvolvimento

O trabalho foi desenvolvido através de atividades paralelas e interdependentes, tais como: cálculos preliminares, projeto inicial, levantamento de custos, detalhamento e desenhos técnicos.

Desde o início do projeto, foram tomadas decisões em conjunto com a coordenação do projeto da microturbina relacionadas a fatores como:

1. Escolha da implementação do acionamento através de injeção de ar ou acoplamento mecânico;
2. Escolha entre um mecanismo portátil ou fixo à bancada de funcionamento da turbina;

No caso do tópico 1, optou-se pela escolha do acoplamento mecânico, em detrimento da injeção de ar, decisão essa que afetou o tipo de enfoque que este trabalho terá. Haverá, portanto um aprofundamento no estudo de elementos de máquinas, ao invés de análises de mecânica dos fluidos. Ambos os métodos atenderiam à mesma finalidade, porém, no caso da injeção de ar, o trabalho a ser desenvolvido resultaria em um mecanismo semelhante em muitos aspectos ao já utilizado na forma do soprador de folhas, mecanismo este que com suas propriedades mecânicas é suficiente para efetuar o acionamento da microturbina. Ao escolher-se o acoplamento mecânico, existiu a necessidade do desenvolvimento de um projeto totalmente novo e de maior segurança.

No caso do tópico 2, foi escolhido desenvolver um mecanismo fixo, preocupando-se em garantir que não houvesse qualquer tipo de detrimento no funcionamento da microturbina. Ao ser desmontado do conjunto, não há qualquer prejuízo no equipamento. Uma vez atingida a velocidade de acionamento, o eixo movido será desacoplado (o sistema da microturbina será acelerado pelo processo até velocidades na ordem de 100 000 rpm após acionado).

Por razão de o turbocompressor ser comercial (Borgwarner, modelo K27.2), este tem como entradas possíveis para acionamento a entrada e a saída de ar, descartando-se a saída automaticamente pelo fato dos gases no local atingirem altíssimas temperaturas.

O acoplamento foi feito diretamente no eixo que liga o compressor à turbina. Na extremidade onde foi feito o acionamento, existe uma rosca onde foi colocada uma porca de formato externo cônico, apresentada na Fig. 1.

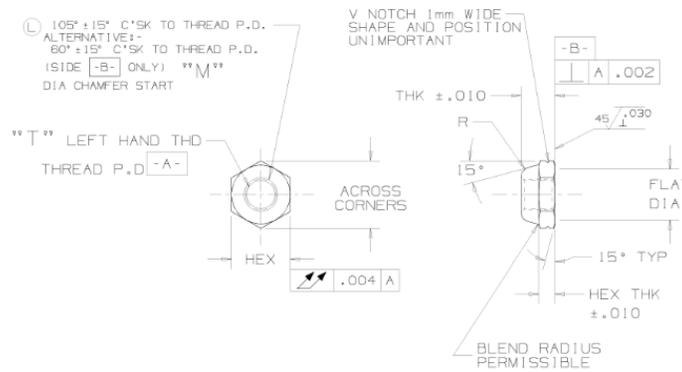


Figura 1. Porca instalada no eixo do rotor do turbocompressor (extraído de desenho de fabricação)

Em sua face externa, encontra-se um ângulo de 15°, valor sugerido na bibliografia para a implementação de embregens cônicas [5]. Será necessária a fixação da porca por meio de adesivos, pois esta tem a rosca esquerda, o que causa o desrosqueamento da peça ao imprimir-se o momento para acionar o conjunto rotativo da microturbina. Teve-se assim definido o tipo de embregem a ser utilizada.

Partindo-se das premissas levantadas, pôde-se dar início ao cálculo dos parâmetros dos principais componentes: motor, redução, acoplamento, carcaça e sustentação, fazendo-se os demais elementos de acionamento em uma fase posterior do projeto.

Durante o levantamento dos dados para os cálculos, foi encontrada uma grande dificuldade em suas obtenções. Faltaram valores para parâmetros como a inércia rotacional do conjunto a ser acelerado, suas dimensões e a rotação final que deve ser atingida por ele, sendo assim necessário que seja feita uma estimativa inicial de tais parâmetros. Foram tomados então como base valores definidos como mínimo para o acionamento, que tivessem uma margem de segurança para o acionamento da turbina. Valores esses como a inércia do sistema rotativo aproximado por formas geométricas que o descrevessem, velocidade de auto-sustentação de 30 000 rpm e um torque necessário para a aceleração de 3 N.m.

3. Modelos desenvolvidos

3.1. Modelo 1: Corpo lateral, redução monofásica (2 engrenagens)

O Modelo 1 é apresentado no relatório final, e sua estrutura se localiza principalmente na direção normal ao eixo da turbina, a fim de tentar minimizar sua influência no escoamento do ar na entrada do turbocompressor. Esta estrutura facilita ainda sua instalação na bancada atual da microturbina.

A desvantagem do modelo é a necessidade de se empregar uma engrenagem de 300 mm, por haver uma única fase de redução. Isso faz com que o conjunto inteiro tenha um tamanho muito maior do que seria possível obter, tendo em vista a finalidade do projeto. Assim, foi projetado um segundo modelo com redução bifásica, apresentado a seguir.

Não foram feitos desenhos para o Modelo 1, por se ter partido diretamente para uma segunda opção de modo construtivo. Os cálculos referentes ao modelo são apresentados no relatório semestral. Utilizando-se um motor de arranque de um carro pequeno (modelo utilizado para cálculo foi um BOSH ALO314, 0,8 kW), a 1000 rpm, são atingidas velocidades da ordem de 12 000 rpm na microturbina. Assim, garantiu-se uma margem de segurança, uma vez que foi definido inicialmente no início do projeto que 10 000 rpm eram suficientes para o processo de acionamento (valor este mais tarde alterado para 30 000 rpm).

3.1. Modelo 2: Corpo lateral, redução bifásica (4 engrenagens)

O Modelo 2 traz todas as vantagens citadas no Modelo 1 com um tamanho reduzido em 33%, e adicionando perdas muito pequenas no sistema (o acréscimo de 2 mancais e 1 par de engrenagens beira uma perda adicional da potência disponível estimada em 2%).

Os cálculos estruturais foram realizados utilizando a potência nominal bruta como margem adicional de segurança, pois assim os esforços resultantes nos componentes submetidos aos esforços mecânicos são maiores. Além disso, os valores das variáveis do projeto são muito pequenos, o que possibilita a adoção de maiores fatores de segurança.

O Modelo 2 pode ser visualizado na Fig. 2, na qual duas vistas 3D permitem entender a forma de sua carcaça e a disposição geral de seus componentes.

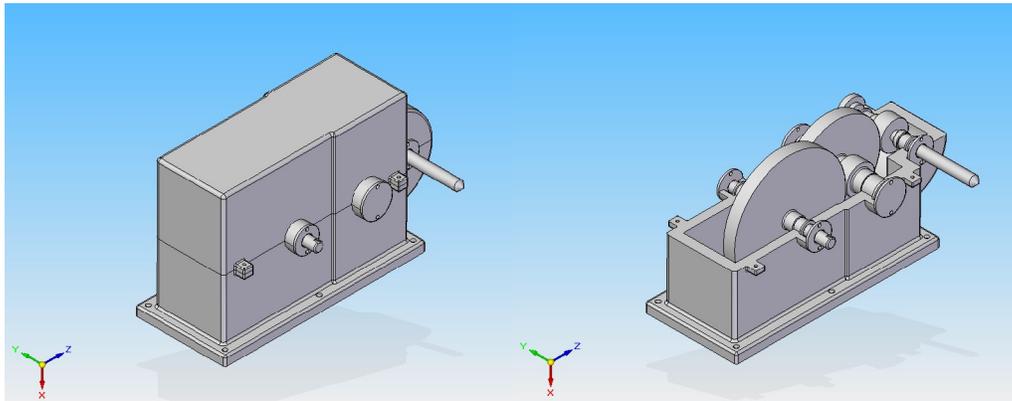


Figura 2. Vista 3D do Modelo 2. À esquerda, modelo fechado; à direita, modelo sem a tampa superior

No eixo do acoplamento foi projetado um mecanismo de deslocamento axial, que aplica a força constante necessária para se atingir o atrito mínimo no contato com o turbocompressor, através do rosqueamento de um corpo cilíndrico (vide Fig. 3).

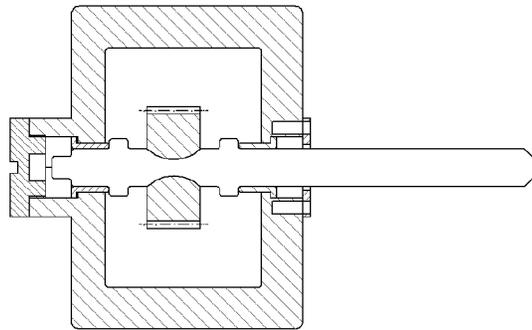


Figura 3. Vista em corte permite visualizar mecanismo de aplicação de força e deslocamento axial

Para a construção do modelo, foram feitas pesquisas em busca de componentes já existentes no mercado. Dentre os encontrados, foram selecionados os mancais de deslizamento de bronze sinterizado e os de rolamento (que fazem parte de uma solução abandonada por dificultarem o deslocamento axial do eixo). Porém, a solução para as vedações ainda não foi escolhida, devido à grande diversidade existente. O critério de seleção utilizado será o preço, o que irá exigir maior tempo de pesquisa. Nos desenhos de conjunto, um espaço foi reservado para estes componentes.

Os cálculos referentes ao modelo são apresentados no relatório semestral. Utilizando um motor de arranque de um carro pequeno, a 1000 rpm, são atingidos valores de aceleração da microturbina da ordem de 12 000 rpm. Foi definido no início do projeto, que 10 000 rpm eram suficientes para seu acionamento, garantindo-se assim uma margem de segurança (valor este mais tarde alterado para 30 000 rpm). O motor de arranque utilizado foi um BOSH ALO314, 0,8 kW.

Para tentar diminuir ainda mais o tamanho do acionador foi projetado o modelo 3, no qual há uma redução planetária.

3.1. Modelo 3: Corpo lateral, redução binofásica (4 engrenagens)

Com o modelo 3, foi possível diminuir novamente o tamanho do corpo em 31% com relação ao anterior. Seu desenvolvimento foi diferenciado por se ter sido feito o uso de uma redução planetária. A Fig. 4 apresenta a vista 3D do modelo, facilitando a compreensão do esquema de montagem.

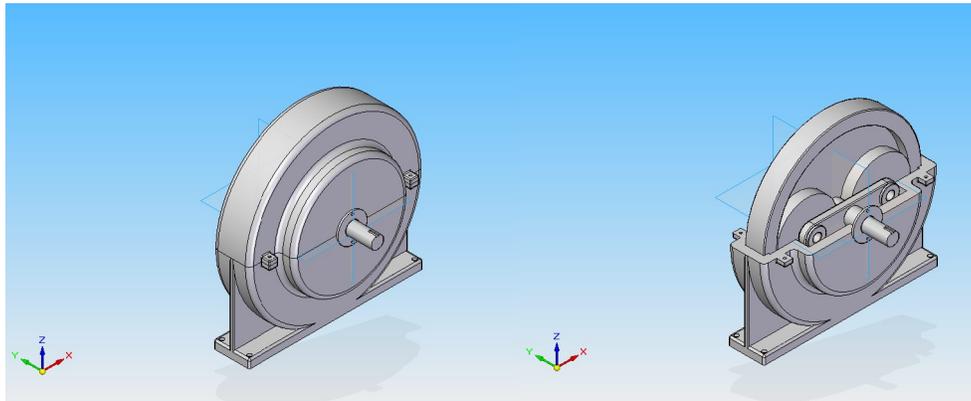


Figura 4: Vista 3D do Modelo 2. À esquerda, modelo fechado; à direita, modelo sem a tampa superior

A montagem do Modelo 3 requer sua colocação na direção do eixo do turbocompressor (corpo frontal), o que torna necessária uma redistribuição da microturbina em sua bancada atual. Como uma área maior é ocupada no espaço em frente à entrada de ar, é preciso instalar o acionador a uma distância maior do local. Com isso, é exigida uma precisão maior na sua instalação, devido ao prolongamento do eixo que é acoplado ao turbocompressor.

Este modelo apresenta um componente de aplicação de força axial no acoplamento que permite seu desacoplamento durante o funcionamento do acionador. Isso permite que as perdas no funcionamento da microturbina diminuam, uma vez que o turbocompressor não mais acionará uma roda-livre instalada no acionador. Esse mecanismo é acionado pela rotação de um disco ranhurado que fica exposto no modelo. Sua visualização pode ser feita através da Fig. 5.

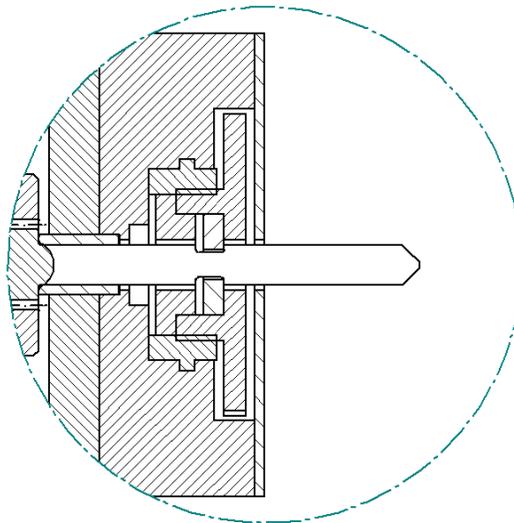


Figura 5. Vista em corte que permite visualizar mecanismo de aplicação de força e deslocamento axial

3.1. Modelo 4 (FINAL): Corpo lateral, redução monofásica (2 rodas de atrito arredondadas)

O modelo 4 é o modelo final desenvolvido no projeto, adotado como solução definitiva para o acionamento da microturbina, e traz muitas alterações com relações aos modelos anteriores, pois para este foi implementada a mudança da velocidade de acionamento de 10 000 rpm para 30 000 rpm. Foi utilizado então um novo motor de uma esmerilhadeira BOSH GWS25-180, que atinge 8000 rpm, para minimizar o tamanho da redução necessária no projeto.

O corpo do mecanismo foi mantido lateral, para minimizar a influência no escoamento do ar na entrada do bocal, e o mecanismo que desloca o acoplamento até o contato foi redesenhado de forma somente um motor elétrico de 6 V fosse capaz de fazer o acoplamento e o desacoplamento.

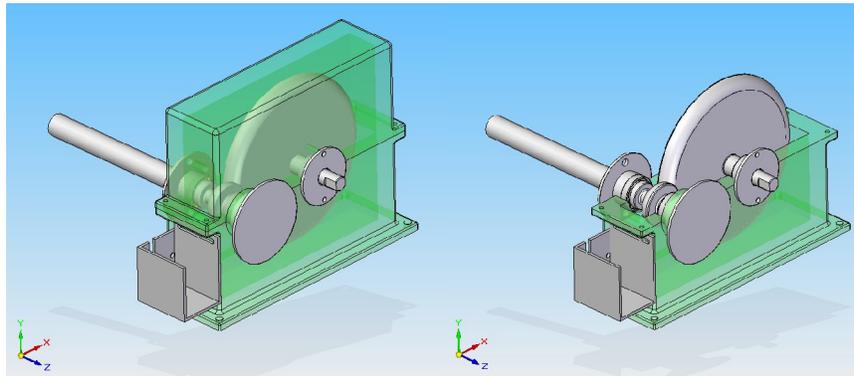


Figura 6. Vista 3D do Modelo 4. À esquerda, modelo fechado; à direita, modelo sem a tampa superior

Foi feito o uso de rodas de atrito na redução, pois os cálculos mostram que os esforços envolvidos no projeto são muito pequenos. A forma circular destas permitiu o fácil acoplamento e desacoplamento ao mover-se o eixo de saída. Com isso foi possível ainda fazer com que a caixa de redução tivesse a ação de uma roda-livre, pois ao ser recolhido, o eixo de saída perde o contato com o motor acionador e com a turbina, garantindo que a turbina não seja contida durante sua aceleração.

Como a esmerilhadeira não foi adquirida para que fossem tomadas as suas medidas exatas, foi projetado um apoio adaptável, apresentado na Fig. 7. Caso seja no futuro utilizado outro equipamento para o acionamento, o apoio poderá ser aproveitado.

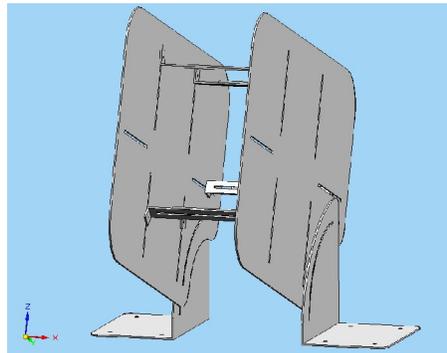


Figura 7. Vista 3D do apoio do motor BOSH GWS25-180

O orçamento para a fabricação dos componentes obtido na empresa onde os demais projetos ligados à microturbina serão fabricados foi considerado muito alto, deixando-se neste trabalho de conclusão de curso desenhos detalhados para futura implementação.

4. Referências

Livros e catálogos

Zampese, B., *“Manuais de Rolamento - notas de aula”*;

Zampese, B., 1986, *“Dimensionamento”*, Ed. Grêmio Politécnico

Shigley, J. E., *“Projeto de Engenharia Mecânica”*, Ed. Bookman, 7ª edição, 2005

MICROTURBINE STARTER MECHANISM DEVELOPMENT

Gustavo Silveira Böhme

gustavo.bohme@gmail.com

Abstract. A starter engine was developed to grant more safety to the operators during the start up process of the microturbine developed in the Polytechnic School of the University of São Paulo. A leaf blower is currently used, which requires the presence of a person near the turbo compressor in order for the start up to occur. This mechanism brings remotely the turbo compressor to the speed of 30 000 rps, without causing any kind of damage or interference to the rest of the machine. At this point, where the microturbine achieves self-sustained speed, the starter is drawn back, letting the microturbine work alone.

Keywords. machine design, starter, microturbine.