

# **DESENVOLVIMENTO DE UMA PRENSA A QUENTE DE ESCALA LABORATORIAL PARA FABRICAÇÃO DE LIGAS DE TITÂNIO.**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Heclair José de Sousa Junior (ETEP Faculdades, Bolsista PIBIC/CNPq)  
heclair@hotmail.com

Dr. Bruno Bacci Fernandes (LAP/INPE, Orientador)  
brunobacci@yahoo.com.br

São José dos Campos  
Julho de 2015

# **DESENVOLVIMENTO DE UMA PRENSA A QUENTE DE ESCALA LABORATORIAL PARA FABRICAÇÃO DE LIGAS DE TITÂNIO.**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)

Heclair José de Sousa Junior (ESEP Faculdades, Bolsista PIBIC/CNPq)  
heclair@hotmail.com

Dr. Bruno Bacci Fernandes (LAP/INPE, Orientador)  
brunobacci@yahoo.com.br

São José dos Campos  
Julho de 2015

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Dr. Bruno Bacci Fernandes, pela orientação e oportunidade de participar do seu projeto de pesquisa.

Ao chefe de laboratório, Dr. Mario Ueda, por disponibilizar os equipamentos e instalações necessárias para a realização desse projeto.

Aos colaboradores: por auxiliarem o teste de estanqueidade de gás.

À Etienne Souza Macedo pela confecção da prensa e pela pesquisa inicial sobre os diversos fatores envolvidos no sistema de aquecimento.

À Luciana Fagundes pelas alterações necessárias, construção de uma simulação no software COMSOL e pesquisa de diversos fatores relevantes.

À todos que fazem do grupo do Laboratório Associado de Plasmas (LAP) pela ajuda e por todos os conhecimentos adquiridos através deles.

Ao ITA por disponibilizar o equipamento para o teste de aquecimento indutivo.

Às agências financiadoras CNPq pela bolsa concedida.

À empresa JAMO pelo incentivo à pesquisa científica.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>6</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>7</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.1 OBJETIVO .....	9
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	<b>11</b>
2.1 REALIZAÇÃO DAS ALTERAÇÕES .....	11
2.2 ANÁLISE DE PRESSÃO .....	11
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 ALTERAÇÕES</b> .....	<b>12</b>
3.2 RADIAÇÃO.....	13
<b>3.3 TOLERÂNCIA A RADIAÇÃO</b> .....	<b>16</b>
3.4 ARGÔNIO .....	18
3.5 TESTE DE ESTANQUEIDADE DAS CONEXÕES DE ÁGUA.....	18
3.6 TESTE DE ESTANQUEIDADE DAS CONEXÕES DE GÁS. ....	18
3.7 ENSAIO.....	19
3.8 RECOMENDAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO .....	19
3.9 PRIMEIRO ENSAIO.....	20
3.10 SEGUNDO ENSAIO .....	20
3.11 TERCEIRO ENSAIO .....	21
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>24</b>
5.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS EM MEIO ELETRÔNICO .....	24

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - ALTERAÇÃO DA PRENSA.....	12
FIGURA .3.2 - ALTERAÇÃO DA PRENSA.....	13
FIGURA 3.2.1 - GRÁFICO DE EMISSIVIDADE DO CORPO NEGRO .....	14
FIGURA 4.2.2 - GRÁFICO DE EMISSIVIDADE DO CORPO DE AÇO INOXIDÁVEL 304 .....	15
Figura 3.11. 1 - Ensaio com forno aberto.....	22
Figura 3.11.2 - Parte interior do forno ao atingir o ponto crítico.....	22

## RESUMO

O presente trabalho científico iniciado em agosto de 2014, tem como objetivo a continuidade do projeto de Iniciação Científica iniciado em 2012, o projeto apresenta a fabricação de uma prensa a quente em escala laboratorial que será utilizada a princípio para sinterização de ligas de titânio. No interior desse equipamento há um disco de aço 1020 que é aquecido pela transferência de calor que há entre o disco e o corpo, de forma que aqueça as amostras localizadas no disco. Esse processo de aquecimento indutivo produz melhores propriedades físico-químicas nas amostras de titânio, se comparado aos procedimentos convencionais de sinterização por aquecimento resistivo. Durante o desenvolvimento do projeto foram acrescentadas à prensa um sistema de refrigeração e alterações nas conexões das mangueiras com objetivo de diminuir o impacto das altas temperaturas em pontos críticos do equipamento, assim como foi retirado a matriz de grafite utilizada no início do projeto. Engates rápidos também foram adicionados com o propósito de agilizar o transporte e instalação da prensa nos ensaios de funcionamento. Foram realizados testes de estanqueidade de gás e de água, constatando-se um resultado satisfatório de vedação do conteúdo do gás, devido à redução de menos de 2 psi após 1 hora, e de água, em função da falta de vazamento de líquido nas conexões após 5 minutos de fluxo de água corrente. A pesquisa também acompanha dados de radiação de modo que possa ser esclarecido que embora seja usado o método de indução eletromagnética a radiação emitida não causa danos a nenhum dos participantes da pesquisa. Também foram descritos os ensaios realizados, bem como os procedimentos e recomendações de montagem do equipamento, assim como os resultados obtidos.

## ABSTRACT

The present study was initiated in August 2014, and it has the objective of continue the project of science initiation started in 2012. Such project shows the manufacturing steps of a hot press of laboratory scale, which will be used firstly to produce titanium alloys. This hot press has a 1020 steel disc which should be heated by heat transfer from the external wall. This heating process produces better physicochemical properties on the titanium alloys if compared with those sintered by conventional process using resistive heating. Additional refrigeration system was included to the press during the development of the project in order to reduce temperature in some critical points, as well as hose connections were modified and the graphite matrix was removed. Quick hitches were also added to improve transport and installation of the press in the function tests. Tightness tests were performed to assure no air and water leakages, and the results were satisfactory because the reduction of the pressure were less than 2 psi after one hour and no water leakage was detected after five minutes of operation. The present research also approached data about radiation to eliminate the doubt about the risk involved in this research. The performed tests and procedures regarding the mounting the equipments and recommendations were described here, as well as the obtained results.

## 1. INTRODUÇÃO

O titânio e suas ligas têm despertado grande interesse de diversos setores da indústria por possuírem baixa densidade, grande resistência mecânica em altas temperaturas e excelente resistência à corrosão. No entanto, o alto custo do titânio restringe sua aplicação em diversas áreas. Com objetivo de reduzir os custos de produção das ligas de titânio, novos métodos, como a prensagem a quente na metalurgia do pó (MP), vem sendo investigados.

Visando buscar uma alternativa mais barata para a fabricação de ligas de titânio, foi projetado um forno para prensagem a quente. A prensa é composta por três cilindros concêntricos, uma carcaça de aço inox 304, um disco de aço 1020 que é aquecido por condução, onde as amostras são colocadas em pó ou em formato prensado a frio. O aquecimento da carcaça da prensa ocorre por indução: uma bobina, ligada a uma fonte de alimentação, envia uma corrente alternada gerando um campo magnético que induz correntes parasitas no exterior da carcaça e produz calor preciso e localizado.

Algumas características da prensa como: a pequena dimensão da bobina de cobre com duas espiras, o formato redondo da bobina acompanhando a geometria da carcaça da prensa, e o sistema de resfriamento a água, tornam o forno rapidamente responsivo à variação de potência de entrada, sendo possível, então, aquecer regiões específicas a uma temperatura de até 1100°C. A capacidade de uma bobina de indução magnética depende também do seu acoplamento e do tipo do material contido no núcleo da prensa. A intensidade do fluxo de corrente promovida entre a bobina e a prensa é diretamente proporcional à proximidade entre a parte externa do equipamento e a bobina. O acoplamento da bobina próximo à área externa da prensa teve o objetivo de intensificar o fluxo de corrente, aumentando, dessa forma, a quantidade de calor produzida na região de interesse específica que contém os pó a serem sinterizados.

Para aumentar a transferência de calor entre a carcaça da prensa de aço inoxidável 304, com pouca capacidade magnética, foi necessário colocar entre essas peça um material magnético, o disco de aço 1020, cujo aquecimento é mais

eficaz, do que em um não magnético devido à histerese. Metais ferromagnéticos apresentam alta resistência à variação do campo magnético, pois possuem elevada permeabilidade magnética que pode variar entre 100 a 500. O aço 1020 possui permeabilidade magnética de 100, já os materiais não magnéticos apresentam a permeabilidade inferior a 1. Materiais com alta permeabilidade magnética relativa resistem mais aos campos magnéticos gerados pela rápida variação da corrente na bobina de indução. O atrito resultante produz aquecimento por histerese. O aquecimento por histerese ocorre em temperaturas abaixo do ponto de "Curie", temperatura na qual um material ferromagnético perde suas propriedades magnéticas. O fluxo das correntes parasitas na peça é mais intenso na superfície, diminuindo rapidamente com a profundidade. Dessa forma, a parte externa aquece mais rapidamente do que o interior; 80% do calor produzido na peça ocorre na superfície externa. Esse fenômeno é chamado de efeito pelicular da peça e aumenta quando a resistividade aumenta, a permeabilidade diminui ou a frequência diminui.

Para evitar a contaminação das amostras de titânio durante o processo de aquecimento é utilizado o gás argônio, escolhido por ser inerte e não inflamável, mesmo quando aquecido até 10000 °C. No entanto, o gás argônio é asfixiante, e por esse motivo, os testes são realizados em local ventilado para assegurar a integridade física dos pesquisadores. A corrente de gás argônio deverá ser introduzida lentamente com pressão de 5 psi. O controle da pressão será feito através dos dois manômetros interligados a prensa. Durante o aquecimento indutivo da prensa, junto à tampa da prensa estará funcionando dois sistemas de refrigeração, um interno e outro externo, projetados para evitar a dissolução dos orings de vedação. A temperatura da prensa será medida através de um pirômetro óptico.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho de pesquisa consiste no projeto e construção de uma prensa a quente com aquecimento por indução. Apesar de a prensagem a quente ser um método mais econômico para obtenção de ligas de titânio, o alto

custo de uma prensa industrial a quente restringe as pesquisas de materiais sinterizados. Essa pesquisa busca tornar viáveis as pesquisas de metalurgia do pó, através da criação de uma prensa a quente barata, em escala laboratorial, para sinterização de materiais metálicos ferrosos e não ferrosos.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 REALIZAÇÃO DAS ALTERAÇÕES

Para realização das alterações apresentadas no projeto foi necessário o uso de apenas um software para projetar os respectivos desenhos apresentados. A utilização do software *solidworks* auxiliou com êxito na realização das atividades.

Todas as alterações tais como a remoção da matriz de grafite e os novos furos realizados nas bordas do disco de aço 1020 foram todos realizados na oficina de usinagem do INPE com supervisão do respectivo responsável pela oficina.

### 2.2 ANÁLISE DE PRESSÃO

O método utilizado para avaliar a pressão interna do forno consistiu em um sistema que inclui dois barômetros para medição e controle da pressão interna da carcaça do forno.

Esse controle de pressão é necessário para que durante a realização dos testes de estanqueidade e dos ensaios práticos pudessem ser analisados qualquer perda de pressão assim como analisados os aumentos de pressão devido à agitação do gás em alta temperatura.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

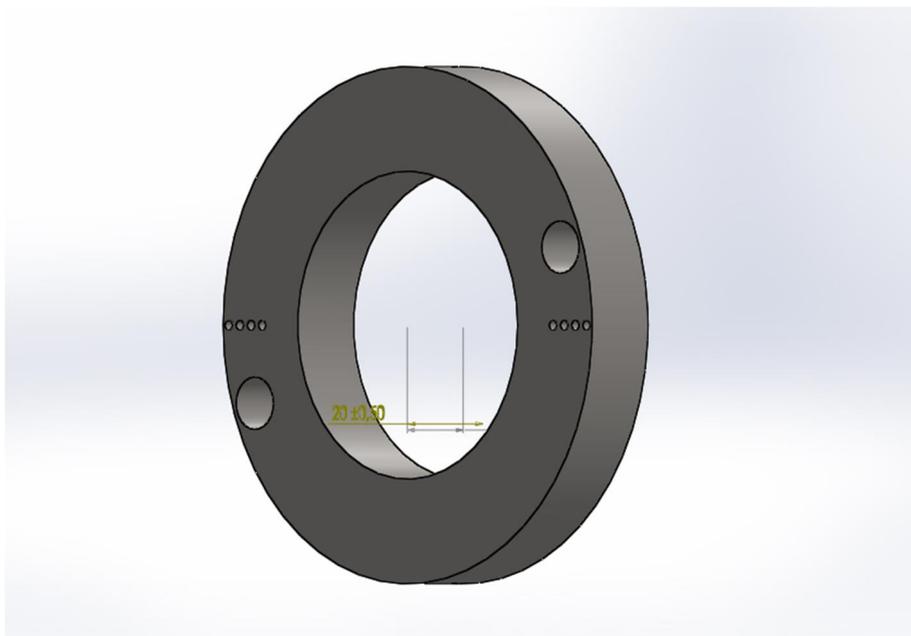
#### 3.1 ALTERAÇÕES

As alterações realizadas no projeto inicial do forno tem o intuito de facilitar a sinterização do pó de titânio em uma peça sólida.

A primeira alteração foi à retirada da matriz de grafita e redução do tamanho do disco de aço 1020 localizado dentro do corpo de aço inoxidável 304 que compõe o corpo do forno. Não obstante a retirada da matriz da prensa de aço, realizamos o corte do disco de aço 1020 reduzindo seu tamanho original de 30 mm para 20 mm de forma que tornássemos possível o posicionamento do disco na região com maior fluxo de calor, sendo assim a transferência de calor concentrada na região irá proporcionar uma possível sinterização com maior contato térmico.

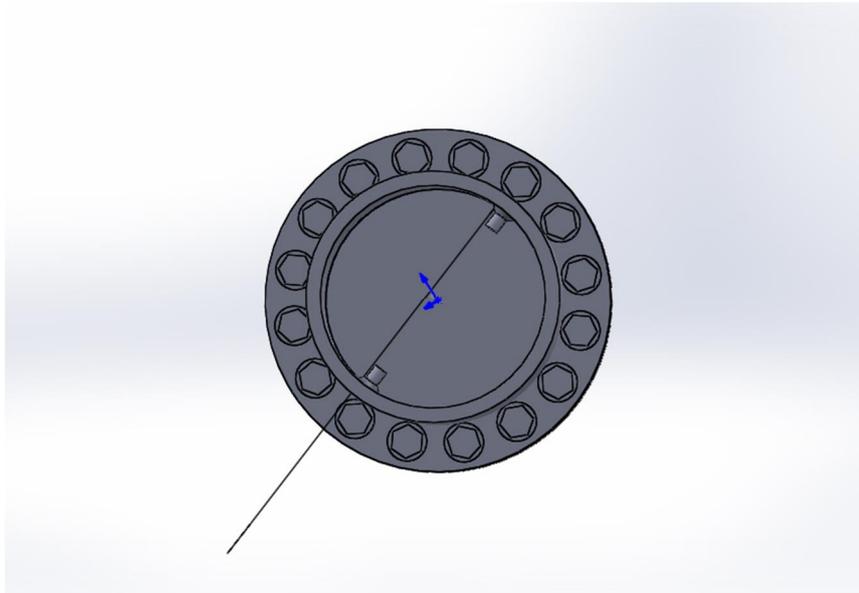
Com a retirada da matriz de grafita, foram feitos furos de 10 mm de diâmetro por 10 mm de profundidade o mais próximo possível da borda do disco para que haja uma maior concentração de calor na região que irá acomodar o pó de titânio no disco.

Figura 3.1 - Alteração da prensa.



Após estas alterações constatou-se a necessidade de fixar pontos de solda no interior do corpo para manter o disco na posição necessária de forma que não houvesse nenhum tipo de locomoção do posicionamento esperado.

Figura .3.2 Alteração da prensa



Após os pontos de solda serem soldados em cada lado do interior do corpo nós posicionamos o disco de aço 1020 com as amostras na posição desejada, ou seja, no local que estimamos uma maior concentração de calor irradiado pela bobina de indução eletromagnética.

### 3.2 RADIAÇÃO

O estudo relacionado à radiação térmica aplicado no desenvolvimento do projeto científico tem grande importância, uma vez que a segurança e bem estar do homem em seus trabalhos laboratoriais são de extrema e suma importância, pois se deve ter cuidado com a saúde dos pesquisadores, sejam os envolvidos na pesquisa e desenvolvimento do forno, ou aqueles que irão usufruir do produto finalizado em suas pesquisas.

Foram traçados gráficos baseado na comparação da curva de um corpo negro e seus diversos comprimentos de onda de forma que podemos comparar o

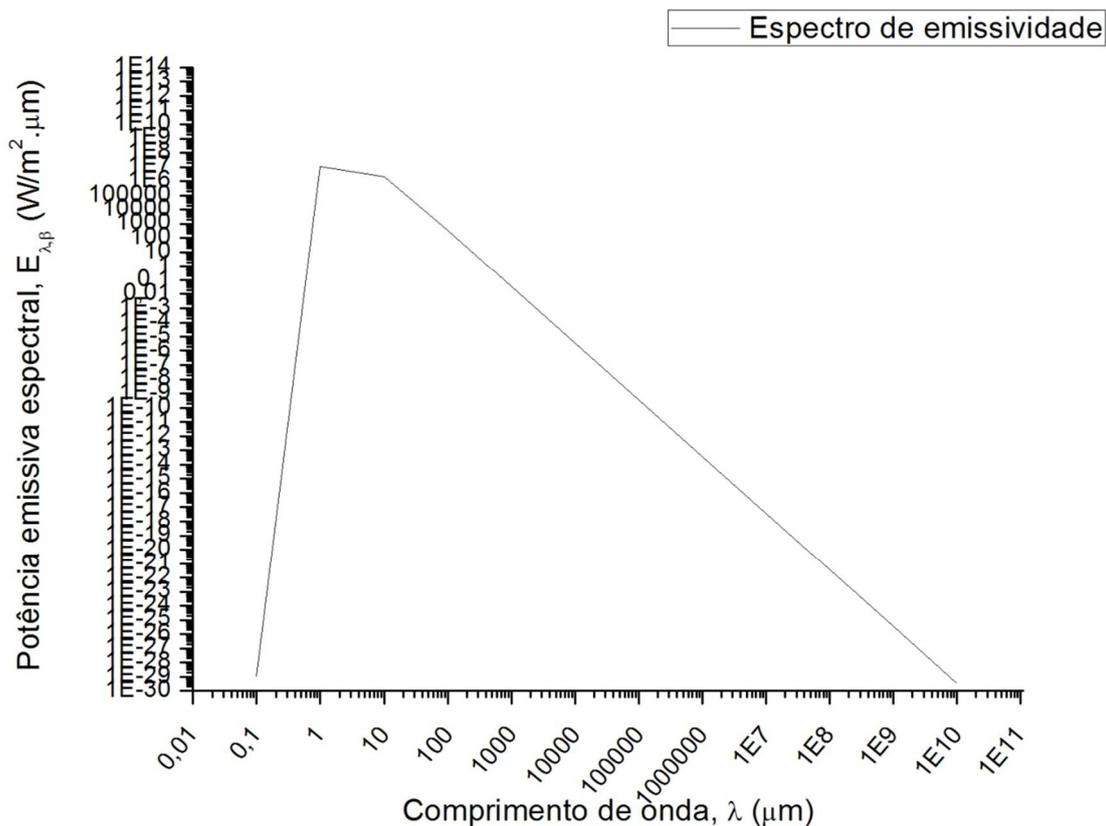
corpo ideal do corpo de aço inoxidável 304 utilizado no nosso modelo, ou seja, comparando o corpo ideal com o corpo real podemos distinguir a radiação emitida para que haja uma avaliação sobre os danos que podem ser causados a saúde dos pesquisadores e futuros usuários do equipamento.

### Definição de corpo negro

Como o absorvedor e emissor perfeito, o corpo negro serve como um padrão contra o que as propriedades radiativas das superfícies reais podem ser comparadas. (INCROPERA et al., 2007 p. 736)

Seguindo este princípio utilizamos a criação do gráfico do corpo negro para que houvesse um padrão a se comparar com o gráfico de emissão do corpo real.

Figura 3.2.1 - Gráfico de emissividade do corpo negro



### Definição de Radiação Térmica.

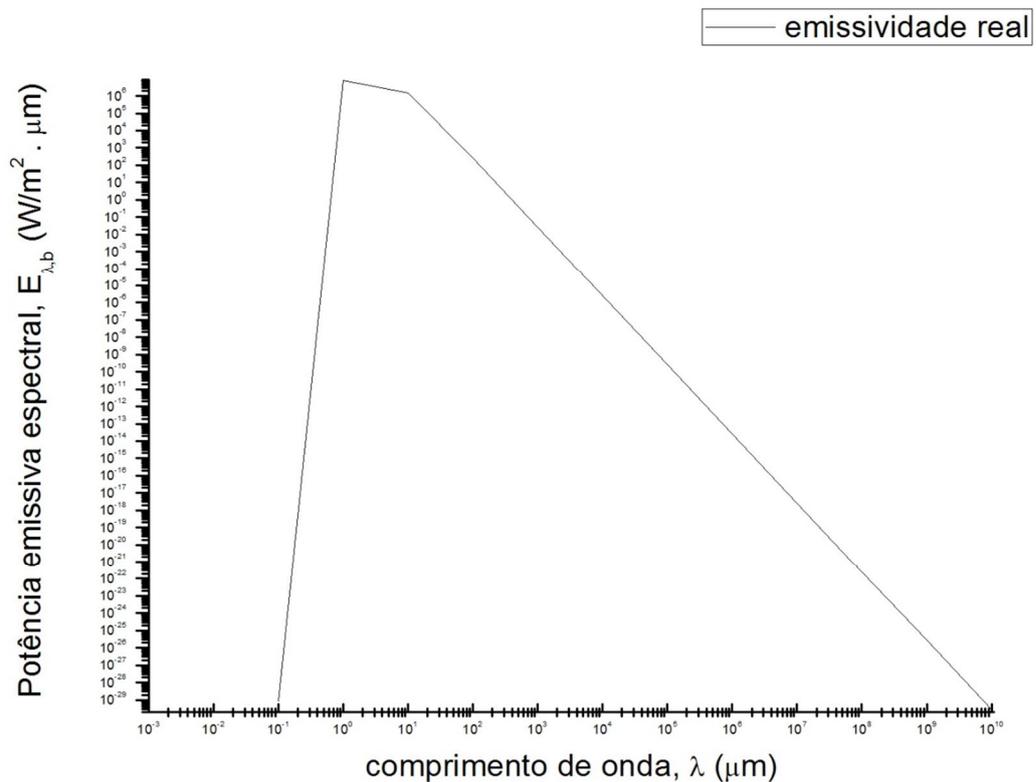
A radiação térmica é a energia emitida pela matéria que está a uma temperatura diferente de zero.+(INCROPERA et al., 2007 p. 9)

Através deste mesmo conceito consideramos a radiação do corpo do forno, ou seja, através do calculo da distribuição de Planck que consiste na intensidade do espectro emitido pelo corpo, dado pela equação:

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi^5 k^4 T^4}{15c^3 h^3} \frac{1}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{hc}{\lambda k T}\right) - 1 \right]}$$

Através deste calculo para cada comprimento de onda traçamos o gráfico do corpo negro e após isto feito aplicamos o valor da emissividade nos resultados, ou seja, utilizamos a emissividade do corpo de aço inox 304 para saber qual a emissão de radiação em cada comprimento de onda. Desta maneira obtivemos o seguinte gráfico:

Figura 4.2.2 - Gráfico de emissividade do corpo de aço inoxidável 304



Deslocamento de Wien

Para que seja possível descobrir qual o maior comprimento de onda emitido pelo corpo do forno é necessário pesquisar sobre diversas maneiras e uma delas é o deslocamento de Wien.

O deslocamento de Wien poderá fornecer para este trabalho o fundamento necessário para determinarmos se a radiação emitida é, ou não prejudicial a saúde dos envolvidos no desenvolvimento do forno.

O cálculo consiste em utilizarmos a equação  $\lambda_{max} = \frac{C_3}{T}$  onde a terceira constante de radiação é  $C_3 = 2898 \mu\text{m}\cdot\text{K}$ .

Neste caso o forno desenvolvido neste projeto terá um comprimento de onda máximo baseado neste cálculo, ou seja,  $\lambda_{max} = \frac{2898}{2176,98} \mu\text{m}$  que é igual a  $2176,98 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ , ou 2176 nm.

Desta forma enquadramos a emissão de radiação do corpo do forno em infravermelha, ou seja, não é prejudicial à saúde.

### 3.3 TOLERÂNCIA A RADIAÇÃO

#### Radão

O radão é uma substância química de alto risco cuja emissão de radiação a torna a principal causa do câncer de pulmão no mundo, gerando assim diversos estudos sobre a emissão radioativa vinda do solo para o corpo humano.

“Você não pode vê-lo, cheirá-lo, ou prová-lo, mas o radão é a principal fonte de exposição à radiação natural e a segunda principal causa de câncer de pulmão.” (EPA).

#### Raios cósmicos

Os raios cósmicos são derivados de toda emissão vinda de fora do planeta, mas que chegam em condições leves devido às diversas camadas de gases existentes no planeta.

Desta forma os locais com menor altitude recebem quantidades menores de radiação cósmicos devidos às diversas camadas de gases e a parte absorvida pelo solo.

### O corpo humano

Assim como qualquer corpo físico o corpo humano também é um emissor de ondas eletromagnéticas, ou radiação térmica. A quantidade desta emissão varia de acordo com a temperatura assim como qualquer outro corpo emissor.

A maior parte da radiação emitida pelo corpo humano é na região do infravermelho, principalmente no comprimento de onda de 12 micrometros.+ (LEE, Olivia 2010).

Desta forma a quantidade em milirem emitida pelo corpo humano anualmente é de 25 mrem/ano.

### Radiação Infravermelho

A radiação infravermelha é uma radiação que age em frequência acima da capacidade humana de visão. Os raios infravermelhos são emitidos por todos os corpos que emitem calor e tem este nome devido a sua coloração estar após o vermelho.

Este tipo de radiação é emitido por corpos que possuem calor, neste caso o corpo humano é um emissor desta radiação que não é prejudicial à saúde por não ser ionizante, ou seja, uma radiação que não irá enfraquecer o sistema imune humano, ou causar danos às camadas de tecido humano.

### Radiação não ionizante

A radiação não ionizante está presente em nossas vidas de diversas formas, desde a comida que preparamos no forno microondas até o celular que utilizamos diariamente. Este tipo de radiação caracteriza-se pelos longos comprimentos de

onda que possuem e pelo fato de estes comprimentos gerarem espectros que não possuem energia suficiente para uma excitação, ou desordem molecular.

### 3.4 ARGÔNIO

A utilização do gás argônio (Ar) dentro do forno durante os procedimentos é para que as amostras do pó de titânio sejam totalmente isoladas do contato com oxigênio para não formar o dióxido de titânio. Este mesmo gás também é utilizado para que haja isolamento das partículas de nitrogênio, uma vez que deste forma evitamos a formação de qualquer propriedade indesejada tal como o nitreto de titânio.

O argônio exige medidas de segurança para sua utilização, pois este gás é prejudicial a saúde, ou seja, um gás asfixiante exigindo assim medidas de segurança como por exemplo um rígido teste de estanqueidade para que constado que não tenha nenhum vazamento nos engates rápidos o forno está pronto para que se inicie o processo de teste.

### 3.5 TESTE DE ESTANQUEIDADE DAS CONEXÕES DE ÁGUA.

O teste de estanqueidade apresentou vazamento nos primeiros minutos após iniciado. Vazamento que ocorreu devido ao fato de haver uma conexão mal encaixada, portanto assim que determinado o local do vazamento foi verificado e refeito o encaixe dos tubos ao engate rápido e reiniciado o teste mais uma vez.

Assim que reiniciado o teste permitimos um fluxo de água de 10 - dez . minutos onde analisamos durante este intervalo de tempo todo e qualquer novo vazamento que pudesse ocorrer, não constatado nenhum vazamento concluímos que o sistema de arrefecimento está adequado para a realização do ensaio final.

### 3.6 TESTE DE ESTANQUEIDADE DAS CONEXÕES DE GÁS.

O teste de estanqueidade gasosa trata do vazamento de gás para o meio externo. Uma vez que por utilizarmos o gás argônio para isolar as amostras de

titânio do contato com o oxigênio, é necessário testar que não haverá nenhum vazamento que possa afetar o teste e os usuários do equipamento, pois o gás argônio é asfixiante.

O teste iniciou-se com a colocação dos manômetros para medir a queda de pressão que ocorresse durante o período de uma hora, ou seja, preenchemos o equipamento com 14 psi e verificamos durante o intervalo de tempo de uma hora a queda de pressão ocorrida para analisarmos se ela não irá influenciara no momento de sinterização do material contido no forno. Após a queda de 2 psi neste intervalo podemos constatar a confiabilidade do encaixes para que ocorra a vedação no ensaio final.

### 3.7 ENSAIO

O ensaio que foi realizado no Instituto Técnico Aeroespacial . ITA . no Laboratório de processamento de materiais . LPM . cedido voluntariamente pelo Doutor André Antunes responsável pelo equipamento de indução térmica para que fosse possível a realização dos ensaios.

A fase de teste iniciada no mês de março de 2015 teve início com a montagem de todo o aparato necessário para iniciar o ensaio, ou seja, seguindo as instruções de montagem para que todas as conexões de água para arrefecimento do forno e de gás argônio para preenchimento do interior do corpo do forno fossem feitas corretamente de forma que não houvesse vazamento de nenhuma substância.

### 3.8 RECOMENDAÇÕES PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO

É recomendado que para realização dos ensaios fossem primeiro feitos os testes de vedação de gás e após este seja feito o teste de estanqueidade de água para que o sistema de arrefecimento não seja comprometido e desta forma o teste seja realizado com segurança.

É de grande importância que o ensaio seja realizado por duas pessoas, de forma que uma destas seja responsável pelo equipamento de indução e o outro seja

responsável pela averiguação de temperatura e pressão para que não ocorra nenhuma situação de risco.

É recomendado que seja levado um kit de chaves de boca e chaves Allen pois, serão necessários ferramentas para se prender o cilindro de oxigênio a conexão do forno e também para regular a altura do equipamento de indução em relação ao posicionamento do forno.

### 3.9 PRIMEIRO ENSAIO

O primeiro ensaio realizado em março de 2015 teve início no período da manhã com auxílio e supervisão do Dr. Bruno Fernandes Bacci durante a montagem do equipamento e principalmente durante o preenchimento do forno com o gás argônio, de forma que fosse evitado todo e qualquer tipo de falha prejudicial aos colaboradores envolvidos no ensaio.

O teste iniciado com o aquecimento indutivo após alguns minutos em alta temperatura gerou um vazamento do gás em um dos engates rápido, ocasionando assim uma perda significativa de pressão para que fosse continuado o ensaio naquele momento.

Devido a este vazamento, o teste do dia foi encerrado para que fosse possível reparar o defeito apresentado, de forma que para o teste subsequente não houvesse problemas que pudessem interromper mais uma vez.

### 3.10 SEGUNDO ENSAIO

O segundo ensaio também foi realizado sobre a coordenação e supervisão do orientador do presente trabalho após ser reparado o defeito apresentado no anterior.

Deu-se início ao teste após serem realizados todas as conexões de gás argônio e de água para resfriamento. Após a verificação das conexões, iniciou-se então o preenchimento do interior do corpo do forno para que ocorresse a imersão das amostras de titânio no gás para evitar o contato das amostras com o oxigênio durante a mudança de fase.

Durante o segundo ensaio o forno permaneceu em 14 psi de pressão durante o período inicial, apresentando uma boa vedação no início do ensaio até um momento no qual a agitação do gás argônio aumentou a pressão dentro do corpo da prensa sendo necessário abrir a válvula de saída para reduzir a pressão interna de forma que não apresentasse riscos aos envolvidos no ensaio.

Foi constatado durante este ensaio no momento em que o corpo alcançou o maior pico de temperatura para dar-se início a mudança de fase, notou-se uma queda de pressão de aproximadamente 1psi a cada 30 segundos, fazendo com que o gás argônio começasse a vazar de dentro do corpo da prensa por alguma extremidade não visível e que não foi possível ser identificada.

### 3.11 TERCEIRO ENSAIO

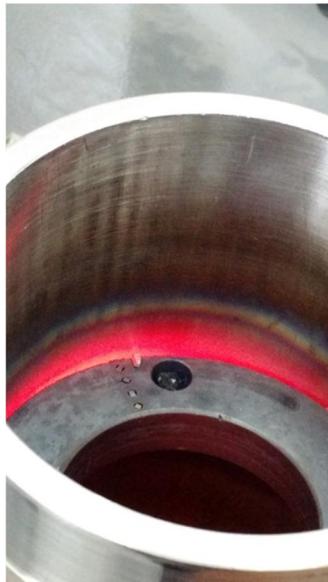
O terceiro ensaio foi realizado no final do mês de Maio com o forno aberta para que pudessem ser analisadas durante o teste quais as reações que acontecem no interior do forno, pois foi constatado que nenhuma das amostras contidas no disco alcançou a temperatura de fusão, ou seja, nenhuma amostra mudou de fase durante os ensaios.

Neste ensaio realizado com o corpo do forno aberto foi possível que se acompanhasse o aumento gradativo da temperatura e o que estava acontecendo dentro do forno, ou seja, visualizar quais os efeitos da temperatura externa que a carcaça de aço inox 304 estava recebendo através da indução e transmitindo para o disco de aço 1020. Foi notado que o disco no interior do forno não estava conduzindo o calor como se era esperado, ou seja, o disco não estava absorvendo a temperatura do exterior do corpo e desta forma não obteve a temperatura necessária para que alguma das amostras atingisse a mudança de fase.

Figura 3.11. 2 - Ensaio com forno aberto



Figura 3.11. 3 - Parte interior do forno ao atingir o ponto crítico



Baseado na imagem 3.11.2 pode-se notar que uma amostra sobre o disco e encostada na borda da carcaça não realiza mudança de fase.

#### 4. CONCLUSÃO

Através da análise dos últimos resultados pode-se trabalhar neste projeto procurando a melhor maneira de tornar a condutividade térmica tão viável quanto nos outros testes.

As alterações trouxeram uma nova perspectiva onde se pode constatar através de cada um dos testes que as amostras colocadas ao redor do disco não foram sinterizadas, ou seja, não houve mudança de fase, logo desta maneira se pode concluir que a simulação fornecida pelo COMSOL e realizada pela Luciana . responsável anterior pelo projeto . pode estar errada, uma vez que se esperava que ocorresse todo o trabalho projetado dentro da prensa.

Como resultado obtido ainda pode-se admitir que seja necessário a realização de testes de estanqueidade do gás em alta temperatura, uma vez que mesmo com todos os métodos adicionados para reduzir a temperatura em determinados pontos ainda existem vazamentos de gás que ocorrem em alta temperatura. Todos os engates rápido e meios de condução do cilindro até a prensa foram testados para que ficasse claro que o ponto de vazamento estivesse em um local não visível.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INCROPERA, F. et al. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. *John Wiley & Sons*.  
6 ed.

### 5.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS EM MEIO ELETRÔNICO

#### **Source of radiation exposure.**

Disponível em:

<<http://www.epa.gov/radiation/sources/>>

Acesso em 02 de Dez 2014.

LEE SHUK-MING, Olivia. Radiation emitted by human body - thermal radiation,  
2010.

Disponível em:

<[http://www.hko.gov.hk/education/edu02rga/radiation/radiation\\_02-e.htm](http://www.hko.gov.hk/education/edu02rga/radiation/radiation_02-e.htm)>

Acesso em 11 de Dez 2014

#### **Non ionizing radiation**

Disponível em:

<[http://eeae.gr/en/index.php?fvar=html/president/info\\_radiation\\_mi](http://eeae.gr/en/index.php?fvar=html/president/info_radiation_mi)>

Acesso