

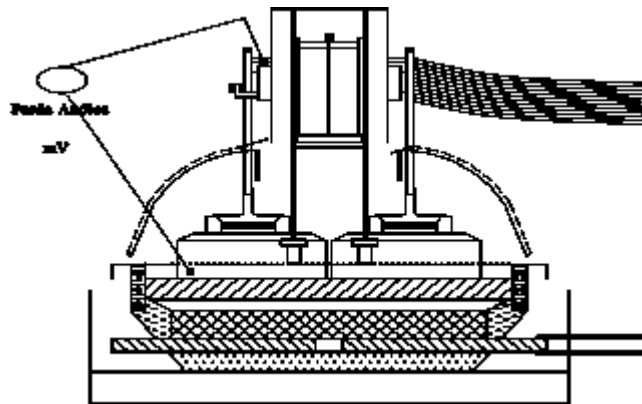
SIMULAÇÃO TERMO-ELÉTRICA-ESTRUTURAL POR ELEMENTOS FINITOS DE HASTES E ANODOS USADOS EM CUBA ELETROLÍTICA.

Este trabalho consistiu na simulação termo-elétrica-estrutural pelo método de elementos finitos no conjunto Anodo/Haste utilizado na redução de alumínio pela ALUMAR em São Luis, MA. A análise foi realizada usando o software comercial da ALGOR.

O processo Hall-Héroult é o método mais empregado atualmente na produção industrial de alumínio. Por meio dele é produzido alumínio líquido através da redução eletrolítica da alumina (Al_2O_3) em alumínio fundido dentro de uma cuba eletrolítica.

A cuba de redução eletrolítica consiste em uma cuba aberta onde os anodos, suspensos por meio de hastes de cobre, ficam imersos no banho de alumina com o alumínio já fundido. No fundo da cuba ficam posicionados os catodos. A redução se dá pela aplicação de uma corrente elétrica no anodo que flui para o catodo através do alumínio fundido. Logo, existe um *gap* entre o anodo e o catodo cujo valor deve ser o menor possível para que a tensão elétrica seja mínima. Porém este *gap* não pode ser tão pequeno que ocasione um curto circuito. A corrente sai da cuba por coletores posicionados abaixo dos blocos dos catodos.

Na análise por elementos finitos foram utilizados elementos sólidos com 8/6 nós (Type 39, brick/wedge no Algor). A malha gerada resultou em 37638 elementos e 32874 nós.



Esquema de uma cuba para redução de Alumínio

O fluxo de corrente elétrica em regime permanente em bons condutores obedece a equação de Poisson. Em três dimensões a equação fica:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right) = 0$$

Onde Φ é o Potencial elétrico (V) e ρ a resistividade elétrica ($\Omega.m$).

A análise elétrica feita no Algor consiste em obter a diferença de potencial elétrico (tensão) entre suas extremidades sendo conhecida a corrente que passa pela geometria modelada. A resistência elétrica do conjunto pode então ser calculada pela lei de Ohm.

A corrente que passa pelo conjunto Anodo/Haste, devido à sua resistência elétrica, gera uma certa quantidade de calor conhecido por Efeito Joule.

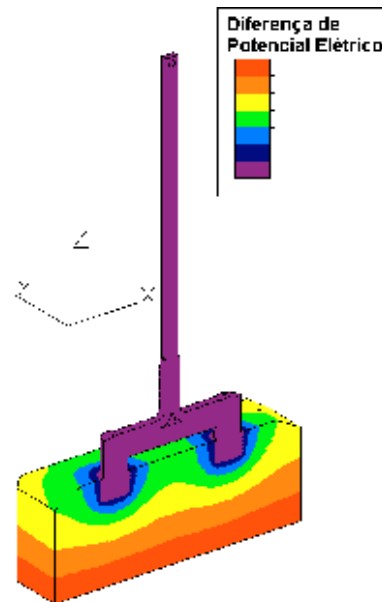
Sabendo-se que a densidade de corrente J em forma de vetor é dada pela lei de Ohm:

$$\vec{J} = \frac{1}{\rho} \cdot \vec{E}$$

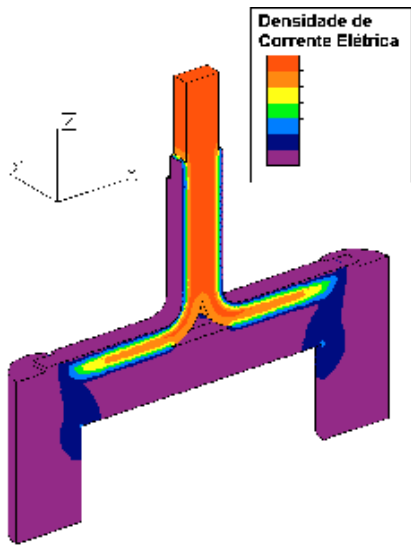
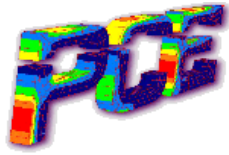
A perda de potência por unidade de volume, p , é dada por:

$$p = J^2 \cdot \rho$$

Esta perda de potência é igual ao calor gerado por unidade de volume, podendo ser usado como dado de entrada numa análise térmica por elementos finitos para cálculo da distribuição de temperatura.



Distribuição da tensão elétrica no conjunto Anodo+Haste



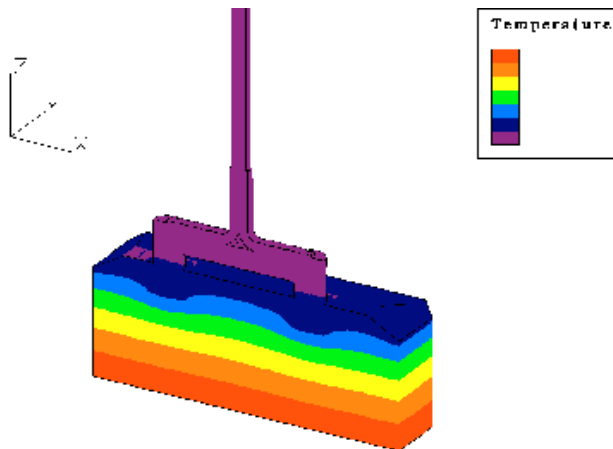
Densidade de corrente elétrica na Haste

O objetivo da análise térmica é obter a distribuição de temperaturas no conjunto anodo/haste durante a operação de redução do alumínio. Este perfil de temperaturas é utilizado como entrada no modelo de análise de tensões por elementos finitos, para o cálculo das tensões de origem térmica.

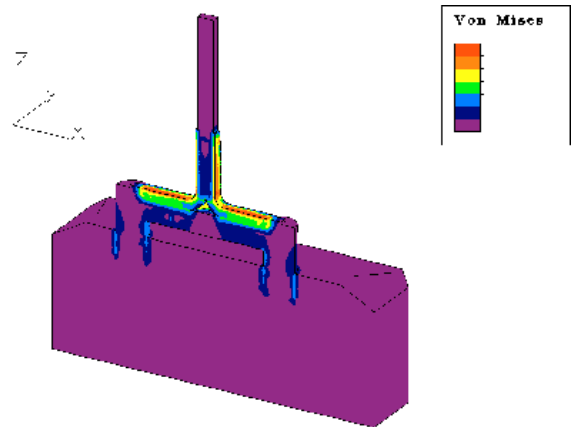
A equação de campo utilizada pelo ALGOR na solução de problemas de condução de calor em regime permanente, e em três dimensões, é a equação de Poisson.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -I$$

Onde T é a temperatura (°C), k a condutividade térmica (W/m°C) e I a taxa de calor gerado internamente por unidade de volume (W/m³).



Mapa da distribuição de temperatura em °C



Mapa de Tensões pelo critério de von Mises (N/mm²)

A análise da perda anódica por elementos finitos nos permite otimizar a distribuição da densidade de corrente elétrica, reduzindo a queda de potencial e aumentando a eficiência elétrica. Isto permite reduzir o consumo de energia elétrica para produção de alumínio, energia esta que representa cerca de 20% do custo operacional.

As tensões que ocorrem na haste do anodo são devidas principalmente ao carregamento de origem térmica. A diferença entre os coeficientes de dilatação térmica entre os diferentes materiais que compõe a haste são responsáveis por estas tensões.

Desta forma foi proposto, pela PCE, um modelo otimizado que resultou em um ganho de aproximadamente 60 mV por cuba em relação ao conjunto Anodo/Haste atualmente utilizado. Além disso, obteve-se uma redução do nível máximo de tensões de cerca de 25%.

Copyright PCE Ltda 2003.