

## Estudo de desgaste de ligas A380 tixoconformadas

### Wear study of A380 thixoformed alloys

#### RESUMO

Neste trabalho analisou-se o comportamento de desgaste erosivo da liga de alumínio reciclado A380 tixoconformada. O desgaste foi avaliado na liga modificada com 600 ppm de estrôncio em condição como fundida e tixoconformada com dois tempos de retenção 0s e 60s. O ensaio de erosão por jato de lama foi realizado conforme a norma ASTM G73-10, no equipamento DUCOM - Slurry Jet Erosion Tester. Foram usados os ângulos de impactos de erodente de 30° e 90°, sendo neste último caso, perpendicular ao jato de lama. Produziu-se 3 amostras da liga A380 para cada condição. As amostras foram inicialmente caracterizadas, avaliando as porosidades presentes na superfície e a microdureza. As superfícies, após desgaste, foram caracterizadas por imagens estereoscópicas e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Foram determinadas as perdas de massa causada pelo desgaste erosivo da liga A380 com 600 ppm de estrôncio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estrôncio. Ligas de alumínio. Desgaste mecânico.

#### ABSTRACT

In this work, the erosive wear behavior of the A380 thixoformed aluminum alloy was analyzed. The wear was evaluated in the modified alloy with 600 ppm of strontium in condition as cast and thixoformed with two retention times 0s and 60s. The slurry jet erosion test was carried out according to the ASTM G73-10 standard, on the DUCOM - Slurry Jet Erosion Tester equipment. The erodent impact angles of 30° and 90° were used, in the latter case, perpendicular to the slurry jet. For each condition, 3 A380 alloy samples were produced. The samples were initially characterized, evaluating the porosities present on the surface and the microhardness. The surfaces, after wear, were characterized by stereoscopic images and scanning electron microscopy (SEM). Mass losses caused by the erosive wear of the A380 alloy with 600 ppm strontium were determined.

**KEYWORDS:** Strontium. Aluminum alloys. Mechanical wear.

**Victor Santos Watanabe**  
[victorwatanabe@outlook.com.br](mailto:victorwatanabe@outlook.com.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Luciano Augusto Lourenço**  
[lalouren@utfpr.edu.br](mailto:lalouren@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Hipólito Domingo Carvajal Fals**  
[hipolitofals@utfpr.edu.br](mailto:hipolitofals@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, busca-se constantemente evoluir no processo de fabricação dos materiais em geral, procurando encontrar alternativas para o desenvolvimento de componentes com ótimas propriedades mecânicas e custo mais acessível. Dentre essas alternativas, o mercado passou a implementar o processamento dos metais em seu estado semissólido, pois após longos estudos, foi comprovado que essa modalidade de processamento agregava diversas vantagens, sendo a principal delas a formação de uma morfologia esférica ao invés da tradicional estrutura dendrítica. Com isso, via-se que as propriedades mecânicas nesses metais eram superiores, principalmente quando conformadas, viabilizando novos caminhos para a produção de componentes industriais que exigiam peças que apresentassem baixa ocorrência de defeitos.

Com a evolução neste seguimento, a fabricação passou a ter maior eficiência, pois os materiais produzidos possuíam praticamente a dimensão final desejada, chamado de *near net shape*, e precisavam de pouco, ou nenhum, acabamento posterior. Além da alta produtividade, os materiais não apresentavam aprisionamento de ar, comum no processo de fundição, e reduzia-se drasticamente a quantidade de porosidade na superfície. Outro benefício é a uniformidade da microestrutura, o que garantia as excelentes propriedades mecânicas.

O processo de fabricação por tixoconformação consiste na realização de duas etapas principais, sendo a primeira delas a produção do metal no estado semissólido através da solidificação parcial, onde o metal é mantido a uma certa temperatura entre o intervalo solidus-liquidus por um determinado tempo, a fim de se obter as mudanças microestruturais pretendidas. Finalizado o tempo, o material é resfriado na forma de lingotes. Posteriormente, o material é novamente aquecido ao intervalo de temperatura entre a fase líquida e sólida e inserido na matriz de tixoconformação onde ele é forjado na geometria e nas dimensões da matriz (Ferreira, 2017, p. 33).

Entretanto, a viabilização deste procedimento depende de materiais que podem ser aplicados no estado semissólido e do custo de fabricação das matrizes, o que aumentava o valor da matéria prima, pois existiam poucos fornecedores.

Dessa forma, a alternativa foi estudar o comportamento de outros metais no estado de semissólido, sendo o foco deste trabalho a liga reciclada de alumínio A380, tradicionalmente utilizada em processos de fundição.

A liga de alumínio A380, além da baixa densidade, possui alta resistência mecânica e boa usinabilidade, propriedades ideais para componentes automotivos, tais como motores, transmissão e caixas de engrenagens (Lus, Turkeli, Kinikoglu, 2011, p. 1).

Neste trabalho a liga de alumínio A380 foi tixoconformada e modificada com estrôncio, uma vez que o estrôncio é capaz de melhorar o comportamento mecânico da liga modificando a estrutura da fase eutética do silício.

O estrôncio é um importante modificador que age na morfologia do silício precipitado, fazendo com que as plaquetas poligonais sejam alteradas para plaquetas arredondadas (Guimarães, Arruda, 2018, p. 20).

Este age de forma a reduzir a nucleação da fase eutética do silício à medida que a concentração de estrôncio aumenta. A nucleação pode ser reduzida até determinado ponto crítico, onde não haverá mais alterações mesmo adicionando-se porções maiores de estrôncio (Guimarães, Arruda, 2018, p. 20).

Como sabemos, todos os materiais podem sofrer algum tipo de desgaste devido a sua intensa utilização. Bayer (2004) afirma que “[...]O desgaste é ocasionado pelo movimento relativo junto a outra substância gerando deformação plástica no material”. Existem diversos tipos de desgaste, neste trabalho estudaremos o desgaste erosivo.

O desgaste erosivo é causado através do impacto de partículas sobre a superfície de um material, partículas dos quais estão presentes em um determinado fluido. A intensidade do desgaste, chamada de taxa de erosão, pode variar de acordo com a energia cinética das partículas. Componentes industriais como pás de turbinas, tubulações, ventiladores e hélices tendem a possuir maior desgaste por erosão devido as impurezas presentes no ar ou no fluido no qual ele está inserido. (ASM International, 2017).

Assim, analisaremos o comportamento ao desgaste por erosão da liga reciclada de alumínio A380 tixoconformada e verificaremos a influência do estrôncio neste desgaste.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A liga A380 utilizada foi obtida comercialmente na forma de lingotes provenientes de alumínio reciclado com aproximadamente 7 kg, sendo fracionados em partes menores utilizando uma serra fita modelo DPT 180/300<sup>a</sup> da marca Diplomat<sup>®</sup> 3001 para manuseio da matéria prima e melhor distribuição no cadinho do forno de indução.

Para o refino de grão foi utilizado a liga Al-5Ti-1B de composição 94wt%Al-5wt%Ti-1wt%B para a concentração de 0,2% de Ti resultando no refino da fase Al- $\alpha$ , obtida na forma de varetas e seccionada em partes menores.

A liga com composição 90wtAl-10wt%Sr foi utilizada como modificador de grão da fase eutética, obtida em varetas e partida em pedaços menores para melhorar a dissolução.

A fusão do material foi realizada no Laboratório de Conformação Mecânica da UTFPR – Campus Ponta Grossa em um forno de indução da marca GRION com potência de 35 KW e a capacidade do cadinho com aproximadamente 2,4 kg de carga de alumínio. O refinador de grão assim como o modificador da fase eutética foram adicionados com 5 minutos de antecedência à liga-mãe, para que ocorresse

a total dissolução dos elementos envolvidos, proporcionando homogeneidade na liga desejada.

As ligas foram preparadas utilizando a mesma composição química, mantendo o padrão de 0,2% de Ti com refinador de grão, o estrôncio, utilizando 600ppm. Para o vazamento foram utilizados 4 moldes cilíndricos cônicos, representados pela figura 1.

Figura 1 – Moldes para lingotes



Fonte: Autoria própria (2019)

Foi necessária a determinação do balanço de massa das ligas mantendo a capacidade de segurança do cadinho do forno de 2,4 kg. Utilizou-se a quantidade de material mantendo a porcentagem em peso (wt%) de 2% do refinador TiBAl e do modificador estrôncio. A condições de vazamento estão descritas na tabela 1.

Tabela 1 - Condições de vazamentos

Amostras	Refinador(g)	Modificador (g)	A380 (kg)	Amostras
A380 +(600 ppm)	91,99	13,80	2,19	A380 +(600 ppm)

Fonte: Autoria própria (2019)

No processo de tixoconformação da liga foi utilizado o sistema de indução, no qual os tarugos fundidos foram aquecidos até a fração semissólida desejada, verificando a distribuição de homogeneidade da temperatura sobre a peça.

A peça então foi aquecida até o tarugo atingir a temperatura de 562°C, que é o ponto onde ele encontra-se no estado de semissólido com 60% de fração sólida. Foram adotados os tempos de 0s, 30s e 90s de retenção da peça no estado semissólido durante o processo de tixoconformação, resultando assim em 3 amostras diferentes por cada tipo de liga produzida. A figura 2 representa as amostras tixoconformadas.

Figura 2 – Amostras tixoconformadas com 0s, 30s e 90s de retenção



Fonte: Autoria própria (2019)

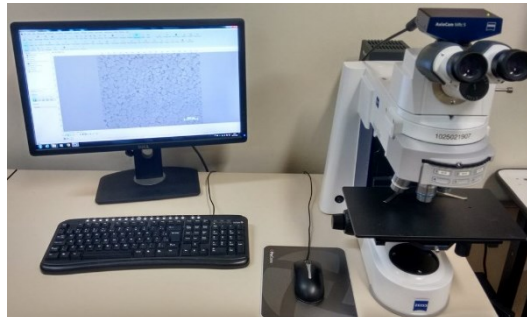
As amostras obtidas, tanto fundidas como tixoconformadas, passaram por um processo de preparação para que os ensaios futuros pudessem ser realizados.

Primeiramente as amostras foram padronizadas sendo cortadas utilizando a máquina de policorte da marca MAXICUT, assim teríamos uma análise mais confiável dos dados.

Realizou-se o lixamento das amostras com a lixadeira da marca AROTEC com quatro lixas diferentes, em ordem decrescente de granulação, sendo 200mesh, passando por 320mesh, 500mesh até a mais fina com 600mesh, tendo como finalidade diminuir a rugosidade para melhor visualização no microscópio ótico. Foram utilizados também alumina 1,00  $\mu\text{m}$  e 3,00  $\mu\text{m}$ . Por fim, as amostras foram submetidas ao polimento em sílica coloidal de 0,04  $\mu\text{m}$  com pH neutro utilizando a politriz vibratória BUEHLER VibroMet 2 durante 1h para melhorar a visualização da microestrutura.

Para a análise microscópica, foi utilizado o microscópio do Laboratório de Caracterização de Materiais (LabCMat) da UTFPR – Campus Ponta Grossa, da marca ZEISS modelo Axio Imager.A2m, não sendo necessário nenhum ataque químico para revelar as porosidades. A Figura 3 traz o microscópio utilizado.

Figura 3 – Microscópio ótico ZEISS modelo Axio Imager.A2m



Fonte: Autoria própria (2019)

As medições de microdureza nas superfícies das amostras foram realizadas de acordo com ASTM E384-99 e utilizou-se do método Vickers. Foram realizadas 7 endentações na superfície de cada amostra. As medições foram obtidas com equipamento Shimadzu HMV-G20 Series (Kyoto, Japan) com carga de 300 gf.

Para analisar a porosidade presente nas amostras utilizou-se imagens obtidas no microscópio da marca Zeiss Axio com o zoom de 50x e utilizou-se o software Imager A2 para mensurar a área dos poros e sua proporção em relação a área total. Para tanto, seguiu-se como parâmetros os valores médios das áreas dos poros ( $\mu\text{m}^2$ ), os valores médios das quantidades de poros e as dimensões dos poros.

Para que o ensaio pudesse ocorrer, foi necessário produzir um suporte quadrado de 25 mm x 25 mm x 5 mm com um furo centralizado de 16 mm de diâmetro, a fim de alocar corretamente as amostras. A figura 4 mostra o encaixe do equipamento.

Na produção do suporte utilizou-se uma chapa de alumínio com 5mm de espessura, 100 mm de comprimento e 25 mm de largura. Posteriormente essa

chapa foi usinada para a realização dos furos e seccionada em 4 chapas iguais de 25 mm.

Figura 4 – Suporte da máquina de Slurry Jet



Fonte: A autoria própria (2020)

Com o suporte para a amostra finalizado, realizou-se o corte dos lingotes nas dimensões determinadas, sendo 16mm de diâmetro e 5mm de espessura. No total, seccionou-se 6 amostras, sendo 3 amostras A380+600 ppm Sr como fundidas e 3 amostras tixoconformadas.

O ensaio de erosão por jato de lama foi realizado conforme norma ASTM G73-10 (2017). O equipamento utilizado para testes em casa revestimento foi o DUCOM – Slurry Jet Erosion Tester. Os parâmetros variáveis do equipamento e os parâmetros utilizados neste trabalho são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros e especificações utilizadas no ensaio de erosão por jato de lama

Parâmetro	Especificação
Equipamento	DUCOM - Slurry Jet Tester
Tipo de Erodente	Sílica (areia)
Rpm da Bomba d'água	750
Rpm da Rosca Dosadora	30
Velocidade da água (m/s)	25,48
Quantidade de Erodente (g/min)	1788
Ângulo do Suporte	90°
Diâmetro do Bocal (mm)	4

Fonte: A autoria própria (2020)

Antes do primeiro ensaio e a cada intervalo entre os ensaios, as amostras foram lavadas e secadas, realizando-se a medição da perda e massa com a utilização da balança de precisão Shimadzu AUX 220 (Kyoto, Japan) e, utilizando o equipamento MEV, obteve-se as imagens da superfície desgastada para acompanhar e verificar o mecanismo de desgaste. As imagens foram coletadas em

cada intervalo de tempo entre os ensaios. A metodologia utilizada para a realização deste ensaio é verificada na Tabela 2.

Tabela 2 - Metodologia utilizada para o ensaio de erosão por jato de lama

Intervalo de tempo entre os ensaios (min)	0	5	5	10
Tempo total de ensaio	0	5	10	20

Fonte: Autoria própria (2020)

O erodente usado para os testes demonstrou variação de tamanho e a forma geométrica do mesmo foi principalmente angular. A granulometria variou entre 200  $\mu\text{m}$  e 400  $\mu\text{m}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido a paralisação como consequência da pandemia de COVID-19, não foram possíveis obter resultados, pois os ensaios não puderam ser realizados.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos professores Hipólito Domingo Carvajal Fals e Luciano Augusto Lourençato pela oportunidade e pela ajuda, sempre dispostos em passar seus conhecimentos profissionais e pessoais. Gostaria de agradecer a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Ponta Grossa pela disponibilização das estruturas da universidade e por todo o suporte, tanto em materiais como equipamentos. Um agradecimento especial a minha namorada, minha família e meus amigos por sempre me incentivarem a crescer e me auxiliarem nessa etapa da minha vida.

## REFERÊNCIAS

ABAL – Associação brasileira do alumínio. **Tratamento térmico**. São Paulo: ABAL, 2003.

ASM HANDBOOK, **Friction, lubrication, and wear technology**, V. 18, ASM International, 2017.

FERREIRA, João Paulo Gabre; **Estudo microestrutural e reológico da liga reciclada de alumínio A380 modificada pela adição de estrôncio**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Ponta grossa, 2017.

GUIMARÃES, Bernardo Lohmann; ARRUDA, Elisson Jobbins; **Análise da microestrutura e da dureza de ligas modificadas a partir da liga A380 após tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento**. Trabalho de conclusão

de curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Ponta grossa, 2018.

LUS, Huseyin; TURKELI, Altan; KINIKOGLU, Nihat; **Swage casting of A380 alloy.** Technical Report. Elsevier, 2011.