

SUBSTITUIÇÃO DOS SEGMENTOS COLETORES DE GÁS DE CUBAS SODERBERG DE PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO - UM ESTUDO DE CASO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA PARA AUXÍLIO AO PROCESSO

Lucas de Jesus Costa, lucas.costa@fieb.org.br
Danilo Gomes de Silva, danilo.gomes@gmail.com
Valter Estevão Beal, valter.beal@fieb.org.br

¹Centro Universitário SENAI CIMATEC, Av. O.Gomes, 1845, Piatã. Salvador BA. CEP: 41650-010.

Resumo Uma das tecnologias mais usadas para a produção de alumínio utiliza o processo Hall-Héroult em cubas Soderberg. Tal processo gera gases poluentes que são coletados através de segmentos ou trechos de ferro fundido que fazem parte da estrutura e que ficam em torno da cuba. Devido a desgaste e quebra durante a operação estes segmentos precisam ser substituídos. Atualmente esse processo é realizado manualmente, um trabalho insalubre e com baixa produtividade. Para resolver esse problema foi desenvolvido um manipulador acoplado a um braço mecânico controlado a distância por um operador. Testes simulando as condições operacionais apresentaram bons resultados com uma redução de 47% no tempo de substituição dos segmentos. Mesmo com resultados iniciais bastante promissores, testes em ambiente industrial necessitam ser realizados de modo a mensurar os reais ganhos da implementação da solução.

Palavras-chave: : Sistema de auxílio Hidráulico, Manipulador Mecânico, Coletores de Gases, Cubas Eletrolíticas Soderberg, Processo Hall-Héroult

1. INTRODUÇÃO

A indústria brasileira do alumínio tem uma importante participação no cenário mundial ocupando a 11^a posição na produção de alumínio primário com 772,2 mil toneladas. Desse total, 302,2 mil toneladas são produzidas utilizando a tecnologia Soderberg.

Nas cubas Soderberg ocorre o processo Hall-Héroult, que consiste na produção de alumínio pela redução eletrolítica da alumina (Al_2O_3), gerando gases poluentes como monóxido de carbono, dióxido de enxofre, alcatrões e fluoretos. Esses gases são coletados por um canal de segmentos de ferro fundido em torno da cuba e direcionados para sistemas de depuração. Além da coleta de gases eles também tem a função de isolar o banho eletrolítico, com temperatura de cerca de 960°C, do ambiente.

Com o tempo os segmentos se desgastam e quebram levando a emissão de gases poluentes para o ambiente e a perda de eficiência no processo. Sua substituição é realizada manualmente por operadores com a célula em produção, um trabalho insalubre e com baixa produtividade. Nesse contexto, buscando uma solução para melhorar as condições de trabalho dos operadores e aumento da produtividade foi desenvolvido um manipulador acoplado a um braço mecânico controlado a distância de modo a tornar a operação de substituição dos segmentos facilitada. Neste artigo, portanto, mostram-se as etapas de desenvolvimento da ferramenta de manipulação.

2. INTRODUÇÃO AO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO

Na etapa de redução da alumina ocorre o processo Hall-Héroult no qual o alumínio é produzido pela redução eletrolítica da alumina (Al_2O_3) dissolvida em um banho de criolita (Na_3AlF_6) e fluoretos fundidos. Esse processo gera gases poluentes tais como monóxido de carbono, dióxido de enxofre, alcatrões e fluoretos. Uma das tecnologias utilizadas nesse processo é a Soderberg na qual o anodo é consumido continuamente. A Figura 2 mostra o desenho esquemático de uma cuba Soderberg. Nesta cuba os gases gerados no processo são coletados por um canal de segmentos de ferro fundido presos no flange do anodo e direcionados para sistemas de depuração. Além da coleta de gases eles também tem a função de isolar o banho eletrolítico, com temperatura de cerca de 960 °C, do ambiente.

2.1. Estudo de caso do procedimento de substituição dos segmentos coletores de gás

À medida em que o forno opera, os resíduos da produção bem como os ciclos de aquecimento e resfriamento fazem com que o material refratário e os segmentos responsáveis pela coleta dos gases se fragilizem e desgastem levando a quebra, o que faz com que a troca desses componentes seja inevitável e constante.

Existem quatro modelos de segmentos coletores de gás e a Figura 3 mostra a distribuição desses modelos no entorno da cuba. Esses modelos são de ferro fundido e possuem uma massa que varia de 38 a 99 kg. Cada cuba possui 30 segmentos unidos uns aos outros através de parafusos, como há no país unidade de produção de alumínio com quase mil cubas tem-se nessa unidade cerca de 30.000 segmentos. Essa quantidade faz com que sejam necessárias equipes para realização da tarefa de substituição dos segmentos defeituosos.

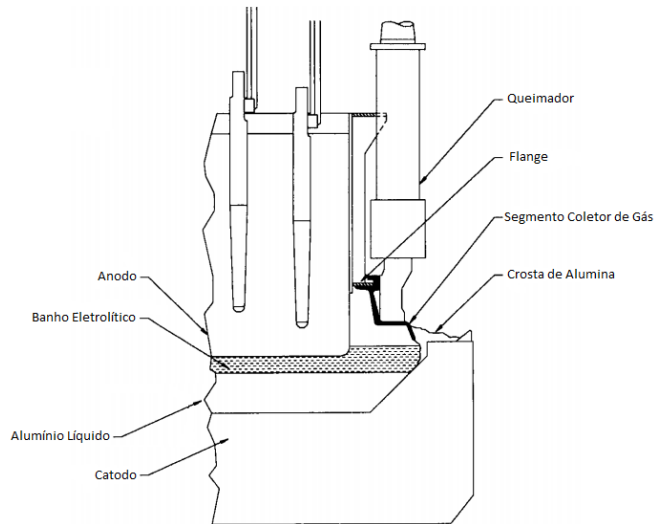


Figura 1: Desenho esquemático de uma cuba Soderberg. Fonte: Corradi, 2001.

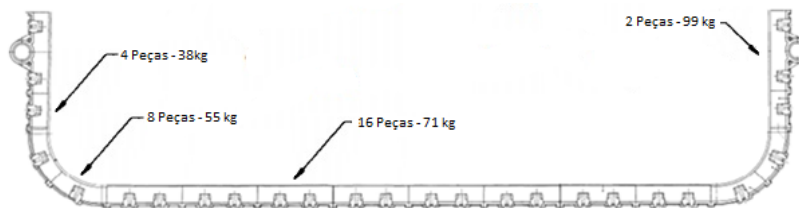


Figura 2: Esquemático da disposição dos segmentos coletores de gás em um lado da cuba Soderberg. Fonte: CBA, 1977, adaptado.

A operação de substituição dos segmentos possui as seguintes etapas:

1. Limpeza do parafuso de fixação lateral de união das peças;
2. Corte do parafuso lateral de união das peças, com maçarico;
3. Retirada das cunhas de fixação do segmento do flange com martelo hidráulico;
4. Remoção do segmento defeituoso;
5. Limpeza do local;
6. Colocação de novo segmento;
7. Colocação e aperto do parafuso lateral de união das peças;
8. Colocação da cunha de fixação do segmento no flange com marreta;

O tempo médio de troca de cada peça é de 17 minutos, sendo essa tarefa realizada por dois operadores. Devido as condições insalubres do ambiente e da atividade de substituição dos segmentos os operadores das equipes revezam essa atividade com outras durante o turno de trabalho.

3. DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

O desenvolvimento da ferramenta de manipulação foi feito em três etapas conforme o entendimento dos requisitos do projeto foi sendo melhorado. Os principais requisitos que nortearam o desenvolvimento dessa ferramenta foram:

- Necessidade de baixo custo;
- Facilidade de fabricação dos componentes individuais, de modo que uma fabricação em série pudesse ser viável;

- Geometria versátil o suficiente para que a ferramenta pudesse manipular qualquer um dos anéis que compõem a estrutura do forno de produção de alumínio;
- Dimensões reduzidas, requisito importante pelo fato de haver locais ao redor do forno de difícil acesso;
- Resistência mecânica adequada tanto para sustentar a massa do anel (o mais pesado possui uma massa de 99 kg) quanto para resistir aos esforços de remoção dos anéis (condição mais crítica de carregamento) bem como aos esforços de colocação.

Com base nos documentos fornecidos, esboços iniciais foram gerados de modo que os requisitos acima mencionados pudessem ser atendidos. Foco maior na primeira versão foi dado à geometria da ferramenta para que fosse possível garantir que a mesma conseguiria se encaixar aos anéis e transportá-lo. Indica-se na figura 3, abaixo, as principais partes da ferramenta:

1. Garras fixas;
2. Garra móvel ou pinça;
3. Sacador;
4. Atuadores de acionamento do sacador;
5. Atuador de acionamento da garra móvel;
6. Atuadores de giro da ferramenta;
7. Vibrador Hidráulico;
8. Batente;
9. Estrutura de suporte da ferramenta.

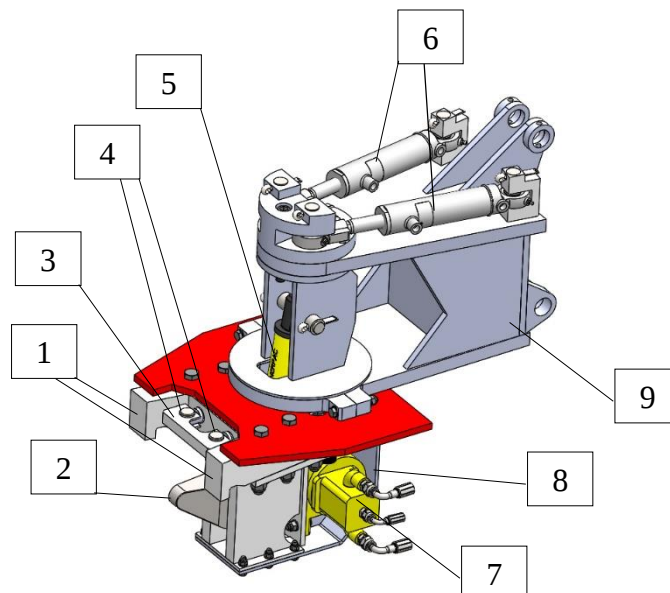


Figura 3: Identificação dos componentes principais do manipulador mecânico. Fonte: Autoria Própria, 2017.

Após o desenvolvimento ficou claro que alguns dos requisitos não foram atendidos a contento, sobretudo os referentes às dimensões da ferramenta e à resistência mecânica. Embora o tamanho da ferramenta atendesse ao desejado, ficou claro que existia a possibilidade de se reduzir ainda mais o tamanho dela de modo a haver ganhos tanto em massa (e, portanto, em economia de material) quanto em facilidade de operação o que em última instância traria benefícios ao tempo gasto na operação de troca.

No que se refere à resistência mecânica, o conjunto de remoção dos anéis, composto por uma barra metálica transversal ligada a dois atuadores hidráulicos e responsáveis por aplicar uma força de 10 toneladas-força sobre o anel não possuía resistência mecânica suficiente para o propósito, por não haver guias de apoio laterais no conjunto, visto que as hastes estariam submetidas a esforços dessa natureza; como resultado, as hastes empenharam, o que causou a inutilização dos atuadores.

A segunda versão da ferramenta buscou solucionar os pontos fracos identificados no primeiro protótipo. As principais mudanças foram:

- Geometria do sacador, que foi alterada de uma barra para um bloco de aço e passou a ser operado por dois cilindros posicionados na parte traseira da ferramenta;
- A geometria das garras fixas foi simplificada, de modo tanto a facilitar a sua manufatura quanto melhorar o seu encaixe nos anéis;
- As dimensões globais do manipulador mecânico foram reduzidas, o que trouxe ganhos em redução de massa e facilidade de operação.

As partes constituintes da segunda versão da ferramenta são as mesmas que a versão anterior, exceto pela remoção do vibrador hidráulico, que se mostrou pouco efetivo no processo de retirada dos anéis da cuba.

Um requisito informado tardiamente à equipe de desenvolvimento foi a necessidade do uso de aço inox 304 paramagnético nas partes onde a ferramenta de manipulação entraria em contato com os anéis, visto que a corrente elétrica dos fornos de fundição induzia a formação de campo magnético com intensidade suficiente para manter todo o conjunto aderido ao forno.

Devido a essa informação tardia em particular, um problema surgiu: o aço inox 304, que é um material com alta ductilidade, baixa resistência a abrasão e, portanto, que possui baixa dureza superficial em seu estado natural e não pode ser tratado termicamente.

Deste modo ao ser submetido aos esforços laterais o sacador se deformava e aderiria nos lados internos das garras fixas, o que inviabilizou a etapa de remoção.

Deste modo, chegou-se à terceira e última iteração do manipulador, conforme imagem abaixo. As principais mudanças em relação às versões anteriores foram:

- A geometria do conjunto de remoção foi alterada: uma estrutura de suporte foi desenvolvida para dar maior sustentação ao sacador;
- À parte inferior da estrutura de suporte do sacador foi soldada uma chapa de aço inox para evitar a magnetização da ferramenta, visto que essa superfície fazia contato com os anéis durante o procedimento de remoção/colocação deles;
- A espessura das garras fixas, também construídas em aço inox 304 foi aumentada, conferindo maior robustez ao conjunto;
- Um maior trabalho de otimização foi feito na geometria da garra fixa, de modo a facilitar o encaixe do anel à ferramenta;
- Prolongamento das garras fixas, para aumentar o afastamento entre o forno e a parte central da ferramenta de modo a evitar choques entre eles durante os procedimentos de remoção e colocação do anel.

Por fim, as principais partes da versão final do protótipo são, de acordo com o ilustrado na figura 4:

1. Sacador;
2. Estrutura de suporte do sacador;
3. Atuadores hidráulicos de acionamento do sacador;
4. Garras fixas;
5. Garra móvel;
6. Estrutura de suporte da ferramenta;
7. Atuadores hidráulicos de giro da ferramenta;
8. Atuador de acionamento da garra móvel;
9. Estruturas laterais de suportação do atuador de acionamento da garra móvel

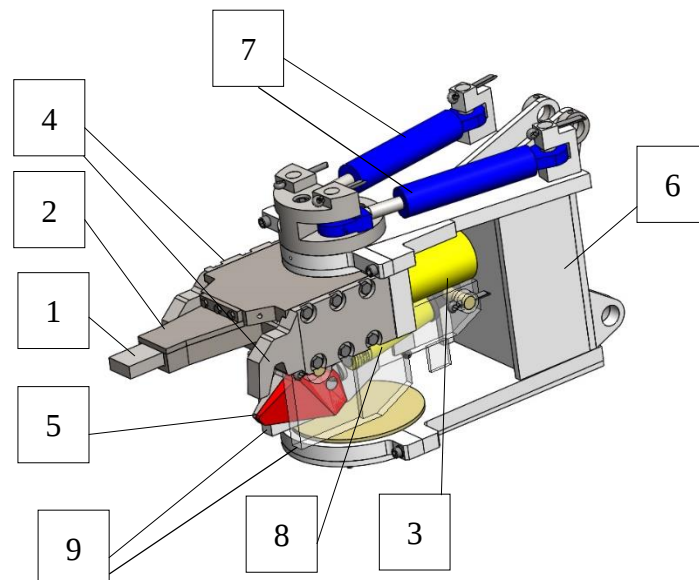


Figura 4: Identificação dos componentes principais do manipulador mecânico em sua versão final. Fonte: Autoria Própria, 2017.

3.1. Resultados e discussão

Com o objetivo de melhorar as condições de trabalho para os operadores e diminuição do tempo de substituição dos segmentos coletores de gases foi desenvolvido um manipulador mecânico operado hidráulicamente. Esse manipulador atua nas etapas 3, 4 e 6 do processo de substituição sendo essas as mais críticas envolvendo maiores esforços e riscos de acidente devido ao calor nas proximidades do banho de alumínio fundido na cuba e a massa dos segmentos.

O manipulador foi acoplado a um braço mecânico e foi implementado um sistema eletro-hidráulico de controle permitindo sua operação a distância com joystick. O sistema completo é composto pelo manipulador e braço mecânico acoplado a um trator que realiza sua movimentação. A Figura 4 mostra o modelo CAD 3D do manipulador mecânico desenvolvido. Na Figura 5 é mostrado o modelo CAD 3D do braço com o manipulador e um dos segmentos. A Figura 6 apresenta o protótipo construído em ambiente de testes. Na Figura 7 pode ser observado o protótipo em operação com o manipulador transportando um dos segmentos. Na Figura 8 é mostrado o controle do sistema com a cinta para uso pelo operador.

Em testes realizados em ambiente controlado conseguiu-se um tempo médio de troca de 9 minutos, o que em termos percentuais representa uma redução de 47%. Com o uso do sistema as tarefas mais críticas e insalubres foram realizadas pelo manipulador e controladas a distância melhorando as condições de trabalho para os operadores.

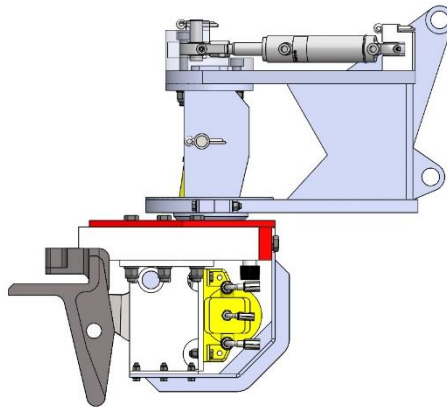


Figura 5: Modelo CAD inicial do manipulador mecânico desenvolvido – Fonte: Autoria Própria, 2017.

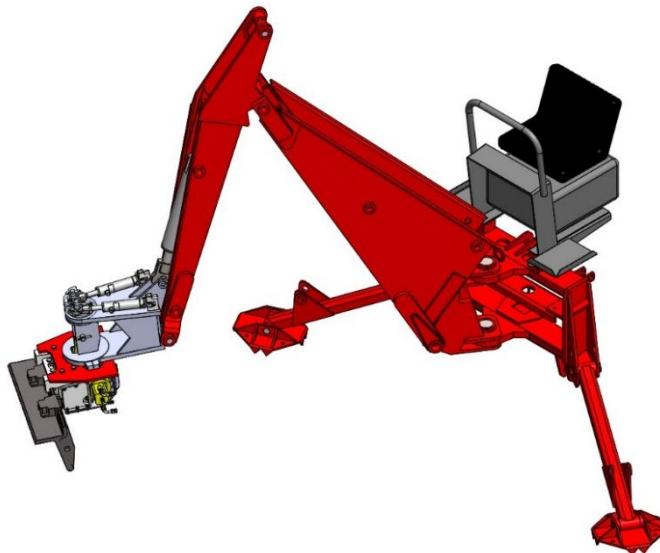


Figura 6: Modelo CAD 3D do braço com o manipulador e um dos anéis coletores de gás. Fonte: Autoria Própria, 2017.

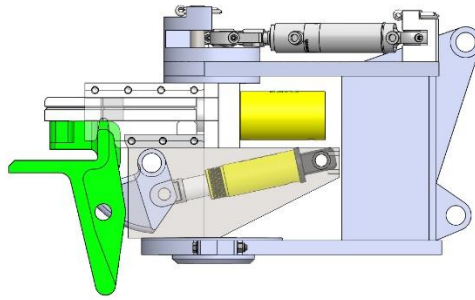


Figura 7: Vista lateral em CAD 3D da segunda versão desenvolvida do manipulador. Fonte: Autoria Própria, 2017.

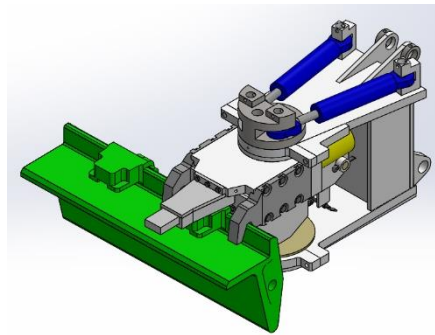


Figura 8: Vista isométrica da versão final do manipulador, em CAD 3D. Fonte: Autoria Própria, 2017.

A solução desenvolvida e implementada para auxílio ao processo de substituição dos segmentos coletores de gás se mostrou tecnicamente viável visto que em ambiente de testes promoveu um aumento da produtividade com a redução no tempo de substituição de 47%. Além disso melhorou as condições de trabalho dos operadores realizando as tarefas mais críticas e insalubres do processo. Mesmo com resultados iniciais bastante promissores, testes em ambiente industrial necessitam ser realizados de modo a mensurar os reais ganhos da implementação da solução.

4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento dessa solução técnica permitiu facilitar o procedimento de substituição dos segmentos coletores de gases, trazendo redução no tempo dispendido no processo estimada em até 47% bem como benefícios indiretos à empresa, através da melhoria das condições de trabalho dos operadores envolvidos no processo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem imensamente à Empresa onde o estudo de caso foi aplicado e a EMBRAPPII por possibilitar a realização e permitir a divulgação desse trabalho no CONEM.

6. REFERÊNCIAS

- H. COTTREL, Alan. Introdução à Metalurgia. 3º edição. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993. 810 p. v. Único.
- ALVES LIMA CORRADI, Christiano. Metalurgia das ligas de alumínio e tratamentos no metal líquido. 1º edição. ed. Minas Gerais: SENAI - DR.MG, 2001. 122 p. v. Único.
- CHEUNG, Cheuk-Yi et al. Characterization of individual anode current signals in aluminum reduction cells. Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 52, n. 28, p. 9632-9644, 2013.
- WANG, Lawrence K.; HUNG, Yung-Tse; SHAMMAS, Nazih K. (Ed.). Handbook of advanced industrial and hazardous wastes treatment. CRC Press, 2009.
- United States Environmental Protection Agency. Profile Of The Nonferrous Metals Industry. Washington, USA. 1995.

United States Environmental Protection Agency. Analysis of Priority Pollutants at a primary Aluminum Production Facility. Washington, USA. 1979.

BENEDUCE, F. Metalurgia Extrativa dos não ferrosos - PMT 2509 PMT 3409. Notas de Aula. Acessado em < <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=1690234> > no dia 06/12/2017 às 15:45.

Associação Brasileira do Alumínio – ABAL. Anuário Estatístico ABAL 2016. São Paulo, Brasil. 2015.

HYDRO. Production Steps. Disponível em < <https://www.hydro.com/en/about-aluminium/Aluminium-life-cycle/Production-steps/> > Acesso em 20 mar. 2018.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo desse trabalho e garantem que todas as informações contidas neles são verídicas e não violam nenhum acordo de propriedade intelectual e/ou de confidencialidade que porventura possa existir entre as partes interessadas.

REPLACEMENT OF THE GAS COLLECTORS STRUCTURES OF THE SODERBERG ALUMINUM PRODUCTION CELLS - A CASE STUDY ON THE IMPLEMENTATION OF A AID SYSTEM FOR THE PROCESS

Lucas de Jesus Costa, lucas.costa@fieb.org.br¹

Danilo Gomes da Silva, danilo.gomes@gmail.com²

Valter Estevão Beal, valter.beal@fieb.org.br³

¹ SENAI CIMATEC, Av. O.Gomes, 1845, Piatã. Salvador BA Brazil CEP: 41650-010

Abstract. One of the most used technologies for Aluminum production is the Hall-Héroult process in Soderberg vats. Such is the generation of gases which are separated by segments or sections of cast iron which are part of the structure and which are around the vessel. An escape and leak during an operation of these operations need to be replaced. The same process is performed manually, unhealthy and with low productivity. To solve this problem, a manipulator connected to a transport plane by an operator has been developed. Tests that simulate operating conditions as good results with a 47% reduction in the replacement time of the segments. Even with the initial results very promising, the tests in an industrial environment are carried out in order to measure the real ones.

Keywords: Hydraulic Aid System, Mechanical Manipulator, Gas collectors, Soderberg Electrolytic Tanks, Hall-Héroult Process.