

DESENVOLVIMENTO DE FORNO ESTACIONÁRIO, AQUECIDO POR PLASMA TÉRMICO, PARA A REFUSÃO DE SUCATAS DE ALUMÍNIO¹

Rafael Razuk Garcia²
Antonio Carlos Cruz³
Choyu Otani⁴
Oskar Wessel Bender⁵

Resumo

O mercado da reciclagem de alumínio vem crescendo em volume anualmente. Entretanto, os processos utilizados para refusão do metal não têm sofrido grandes mudanças, caracterizando-se principalmente por utilizarem sais protetores que acabam por gerar resíduos Classe I. A utilização do plasma térmico como fonte de aquecimento em fornos tem como principal vantagem não depender de reações de combustão como fonte de energia e, desta forma, pode operar em atmosfera isenta de oxigênio, dispensando o uso de sais protetores. Além disso, o aquecimento por plasma caracteriza-se por intensa transferência de energia, o que acelera consideravelmente o processo de fusão. Como resultado final, esses fornos apresentam um rendimento metálico significativamente elevado, baixo consumo de energia e o óxido gerado, por não conter sais contaminantes, encontra mercado na indústria de cimento e de refratários. Neste contexto, realiza-se o desenvolvimento de um forno plasma estacionário para refusão de sucatas de alumínio. Neste trabalho serão apresentados os resultados dos primeiros testes desse equipamento nos quais foi obtido rendimento metálico de 95% e consumo específico de energia de 426 kW por tonelada de sucata processada.

Palavras-chave: Plasma térmico; Refusão; Sucata de alumínio.

DEVELOPMENT OF A STATIONARY THERMAL PLASMA HEATED FURNACE FOR THE REMELTING OF ALUMINUM SCRAP

Abstract

The aluminum's recycling market grows in volume every year. Most of the processes applied to scrap remelting have as a main characteristic the use of protective salts that generates waste needing landfilling disposal. The use of thermal plasma as heat source to the furnace has the main advantage of not depending on the combustion reaction and, therefore, can operate free of oxygen, thus avoiding the use of protective salts. Moreover, thermal plasma heating is characterized by intense energy transfer which considerably accelerates the remelting process. As a final result, plasma heated furnaces exhibit significantly high metallic recovery and low energy consumption. Because the oxide produced do not contain contaminant salts, it can be used as raw material for the cement and refractory industries. In this context, a development of a stationary plasma heated furnace for the remelting of aluminum scrap is carried out. In this paper we present the results of initial experiments in which a metallic efficiency of 95%, and a specific energy consumption of 389 kW per ton of scrap have been obtained

Key words: Thermal plasma; Remelting; Aluminum scrap.

¹ Contribuição técnica ao 12º Seminário de Metais Não-ferrosos, 31 de outubro a 1 de novembro de 2011, São Paulo, SP.

² Msc. – RecAltech Tecnologia Plasma.

³ PhD. – RecAltech Tecnologia Plasma.

⁴ Dr. – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

⁵ Msc. – RecAltech Tecnologia Plasma.

1 INTRODUÇÃO

A indústria secundária do alumínio processa uma grande variedade de matérias primas, sendo elas sucatas de alumínio e sobras de produção, como peças em não conformidade, aparas e recortes. Tais sucatas são provenientes principalmente de processos produtivos tais como as indústrias aeronáuticas e as indústrias de fundição de rodas e pistões para automóveis. No setor aeronáutico, sobras de produção, como cavaco de usinagem, retalhos de estamparia e recortes de matéria prima, podem representar cerca de 95% da matéria prima inicial. Já no setor automotivo, cerca de 25% do total do alumínio utilizado é transformado em cavaco e retalhos. Tais dados justificam a razão pela qual existe uma forte demanda por serviços de reciclagem que apresente elevado rendimento metálico e preserve a composição desses materiais.⁽¹⁾

No processo de refusão do alumínio, o principal problema a ser atentado é o controle e diminuição da geração de óxido de alumínio, ocasionado pela reação entre o banho de alumínio e o oxigênio presente na atmosfera do forno. Tal óxido é um subproduto indesejado no processo de refusão, cuja sua formação deve ser minimizada devido ao fato de provocar perdas energéticas e metalúrgicas no processo, sendo que este material possui características de um isolante térmico e com o movimento do banho, a camada de óxido sobrenadante é quebrada, e a movimentação dos pequenos pedaços no banho, agrega alumínio metálico à sua massa, formando a chamada borra de alumínio.⁽²⁾

No processo convencional de refusão de sucata de alumínio são utilizados basicamente três tipos de fornos: o forno rotativo horizontal aberto, o forno rotativo basculante selado (tipo “pêra”) e o forno reverbero (tipo *side-well*), sendo todos eles utilizam a queima de combustíveis fósseis como forma de aquecimento, o que acaba por introduzir grande quantidade de oxigênio no interior do forno.⁽³⁾ Em complemento à esses dados, tem-se que a energia específica empregada nesses fornos varia entre 750 kW/tonelada e 1.000 kW/tonelada de sucata processada e rendimento metalúrgico entre 75% e 85% do metal processado.⁽¹⁾

Como alternativa para minimizar a formação de óxido de alumínio, são utilizados sais fundentes, a base de cloreto de sódio (NaCl) e cloreto de potássio (KCl), que formam uma camada protetora sobre o banho metálico, reduzindo a exposição deste metal ao oxigênio da atmosfera do forno.⁽²⁾ Este procedimento acarreta na formação da chamada borra preta, que se caracteriza por um resíduo classe I, que deve ser depositado em aterro industrial e em local abrigado, e a volatilização desses sais, pode acarretar em emissões gasosas poluentes para a atmosfera.

No processo de fornos aquecidos por plasma térmico, o fato de não se utilizar um processo que envolva combustão como forma de aquecimento, permite que a atmosfera do forno seja controlada, reduzindo-se ao máximo a presença de oxigênio no seu interior, o que minimiza a formação de óxido e evita o uso de sais protetores. Outra vantagem na utilização de plasma como forma de aquecimento, está na forma de transferência de calor para o banho metálico, que ocorre com maior eficiência, tornando esse processo mais eficiente energeticamente.

Como forma de demonstração dessa tecnologia, foram realizados ensaios de refusão de sucata de alumínio em um forno estacionário, aquecido por plasma térmico, e os resultados apresentados neste trabalho.

2 FORNO ESTACIONÁRIO AQUECIDO POR PLASMA

O forno de refusão utilizado neste trabalho incorpora soluções inéditas em relação aos fornos utilizados industrialmente para reciclagem de alumínio. Ainda que reduzido em escala, com a finalidade de permitir a sua operacionalidade enquanto um equipamento de pesquisa, o seu projeto funcional teve como diretriz principal a montagem de um equipamento de concepção compatível com as necessidades de produção, principalmente quanto à sua temperatura de operação e identificação de possíveis problemas operacionais. Desta forma, soluções construtivas foram introduzidas no projeto as quais, uma vez testadas nesta etapa de demonstração, poderão ser diretamente incorporadas em equipamento industrial de grande escala. Trata-se de um forno estacionário, com dimensões de cavidade conforme desenho mostrado na Figura 1. O volume da cavidade foi desenhado grande o suficiente para permitir o estabelecimento do arco de plasma e também o desenvolvimento de uma chama de combustão, empregada para pré-aquecimento e, uma vez desenvolvido o conceito de forno aquecido alternativamente por plasma ou combustão, permitirá a operação comercial desse equipamento em horário de pico, quando custo da energia elétrica inviabiliza sua utilização.

O revestimento interno do forno foi executado em concreto refratário de baixo cimento, desenvolvido para fornos convencionais de alumínio. Com espessura de 145 mm, o refratário foi montado sobre duas camadas de manta cerâmica com espessura de 6,4 mm (espessura da manta solta, antes da aplicação). O volume de cavidade total do forno é de aproximadamente 960 litros. Deste volume total, 9% é utilizado para produção, 18% é utilizado para formação de anodo e o restante (73%) forma a cavidade livre destinada ao desenvolvimento do arco de plasma ou das chamas de combustão, sendo que as duas formas de aquecimento não operam simultaneamente.

A espessura de refratário adotada foi determinada para que a temperatura correspondente ao ponto de fusão do alumínio (660°C) localize-se dentro da espessura do refratário. Por um lado, este critério compromete a isolamento térmico do forno, resultando em temperaturas de paredes externas elevadas e, por decorrência, resultando em perdas térmicas elevadas. Por outro, ele evita que, em caso de aparecimento de trincas do concreto refratário, ocorram derramamentos de alumínio para a região externa da cavidade do forno.

O forno é dotado de duas aberturas através das quais se efetua o carregamento de material a processar (Porta 1 e Porta 2). O vazamento de metal recuperado é realizado através de um canal com diâmetro aproximado de 30 mm (Bica 1). Um segundo canal, localizado na soleira, permite a drenagem completa do lastro de metal (Bica 2).

A inovação importante introduzida neste projeto diz respeito à introdução do plasma como fonte de energia. Uma forma limpa de energia, que permite o adequado controle da atmosfera de processo e, com isso, a não necessidade de empregar sais protetores.

Foram realizados dois tipos de testes com essa tecnologia. Na primeira campanha de testes foi monitorado o rendimento metalúrgico e energético do processo. Nesse ensaio foi processada uma maior quantidade de metal, a maioria peças fora de especificação provenientes de processos produtivos, sendo aproximadamente 20% de sucata leve e 80% de sucata densa. No segundo ensaio realizado, foi processada uma pequena quantidade de peças densas e tarugos de ligas de alumínio, porém

com composição conhecida, para averiguar as perdas de elementos de liga no processo.

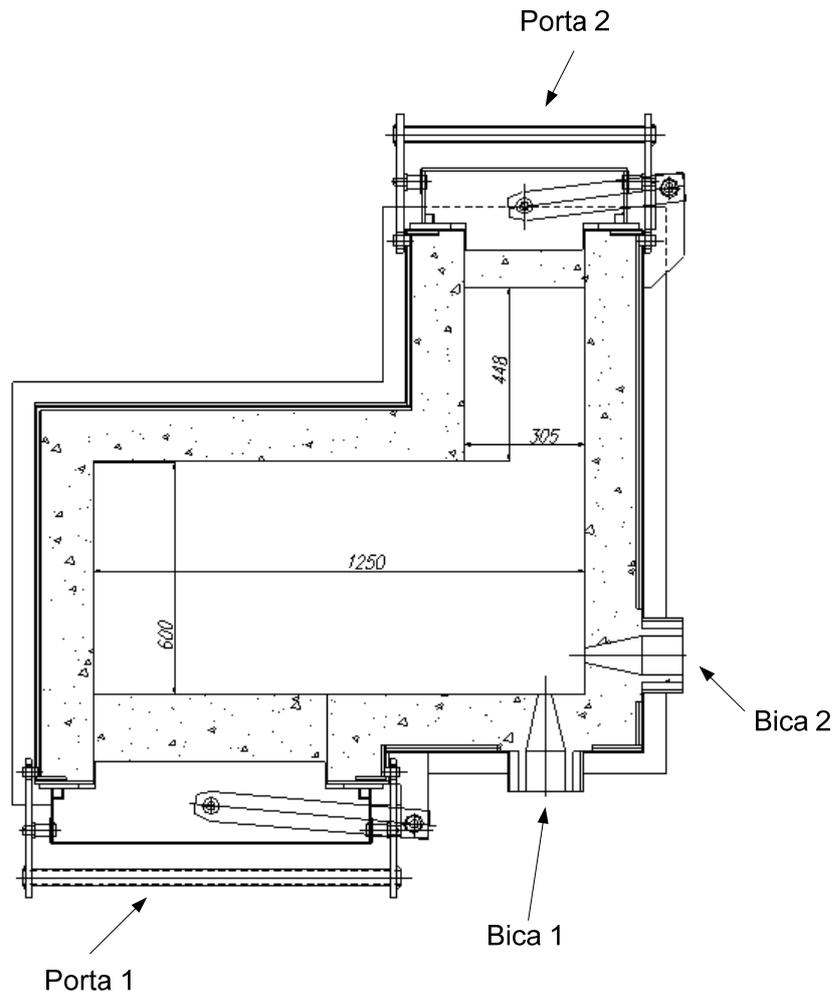


Figura 1. Vista em planta com as dimensões da cavidade interna no forno plasma desenvolvido, com as indicações das posições de portas e bicas de vazamento; altura entre soleira e teto de 790 mm e bica 1 à 200 mm do fundo do forno.

3 ENSAIOS DE FUSÃO

Os ensaios foram realizados utilizando-se o forno protótipo construído, com as dimensões apresentadas na Figura 1, e cujo equipamento montado é apresentado na Figura 2.



Figura 2. Forno plasma estacionário desenvolvido.

As cargas da primeira campanha de testes foram limitadas entre 145 kg e 160 kg, sendo que a primeira carga serviu para a formação de pé de banho para operação. Cada carga alimentada foi vazada em lingoteiras, formando lingotes de aproximadamente 25 kg cada.

A sequência do processo de alimentação da sucata, lingotamento do metal fundido, e a obtenção dos lingotes, é apresentada na Figura 3.



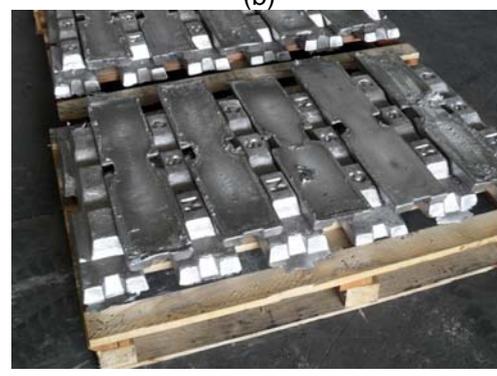
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3. Fotos ilustrativas do processo de refusão; (a) alimentação de sucata; (b) lingotamento do metal fundido; (c) lingoteiras após o vazamento; e (d) lingotes prontos.

A Tabela 1 apresenta o registro das cargas realizadas no forno que posteriormente são mencionadas no gráfico da Figura 4.

Tabela 1. Registro das cargas alimentadas no forno com as respectivas energias aplicadas

Carga	Massa (kg)	Energia aplicada (kW)	Energia específica (kW/ton)
C1	261	56,8	217,6
C2	145	103,5	713,8
C3	145	46,0	317,2
C4	153	66,6	435,3
C5	157	67,1	427,4
C6	156	62,3	399,4
C7	156	74,4	476,9
C8	159	72,0	452,8
C9	156	71,4	457,7
C10	156	64,0	410,3
C11	153	64,0	418,3
C12	116	62,8	541,4
TOTAL	1.913	810,9	424,0

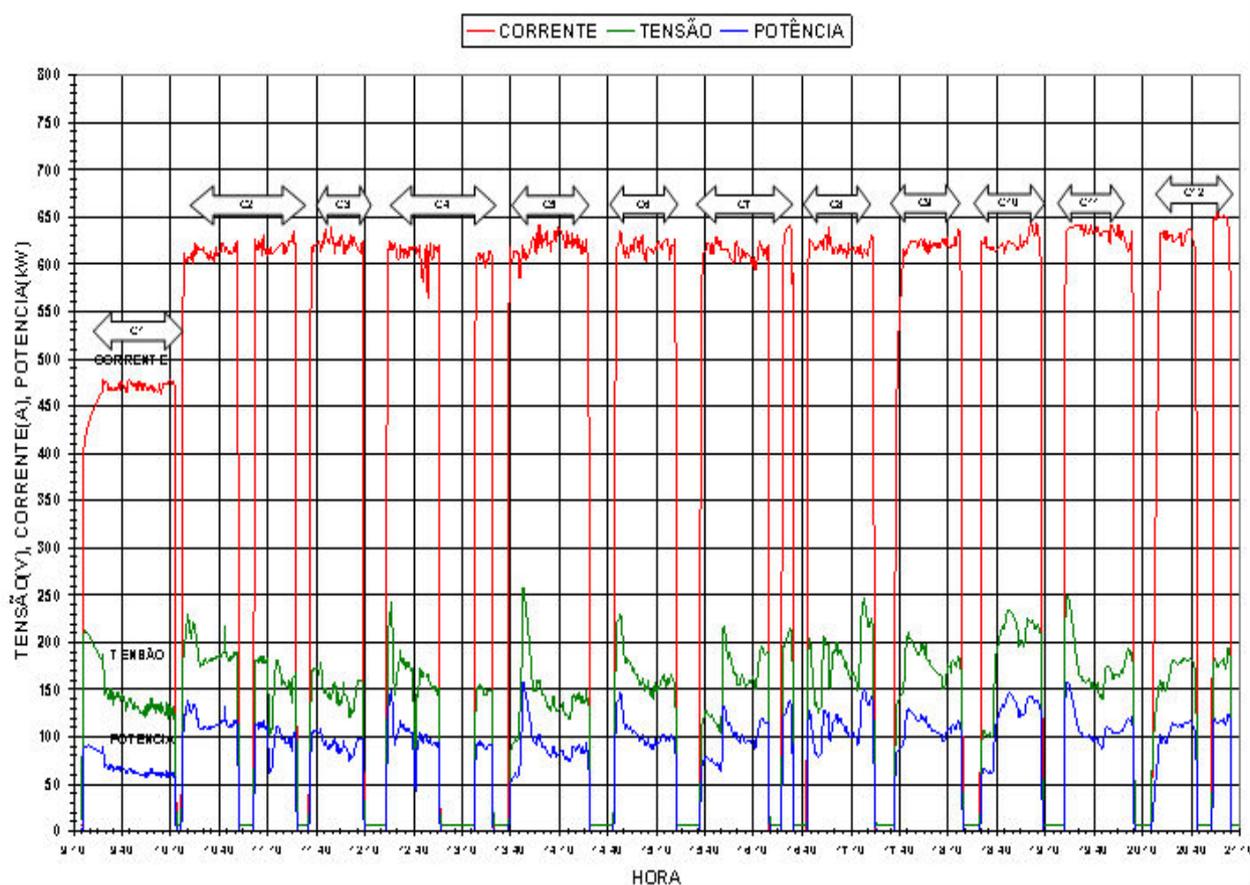


Figura 4. Gráfico de processo, indicando período de processamento das cargas, potência, tensão e corrente de plasma durante o ensaio.

Um resumo dos principais dados coletados no processo é apresentado na Tabela 2 e o resultado operacional é apresentado na Tabela 3.

Tabela 2. Resumo dos dados do processo

Total de sucata processada	1.913	Kg
Total de metal recuperado	1.820	Kg
Total de borra branca gerada	93	Kg
Energia acumulada empregada	815	kWh

Tabela 3. Resultados do processo

Rendimento metalúrgico	95,1	%
Energia específica	426	kW/ton

Na segunda campanha de teste foram processados 156 kg de peças densas e tarugos das ligas 2024, 7050 e 7475. Durante o processo de lingotamento, foram produzidos alguns corpos de prova para serem analisados quanto à sua composição química. Este ensaio foi realizado com o intuito de averiguar o comportamento dos elementos de liga no processo de refusão. A Tabela 4 apresenta a composição de cada liga processada e a composição da amostra obtida.

Tabela 4. Comparação da composição das ligas processadas com a liga obtida na amostra obtida

Ligas	Elementos [%]						
	Mg	Cu	Mn	Fe	Si	Zn	Cr
2024	1,50	4,40	0,6	0,50	0,50	---	---
7050	2,25	1,60	---	0,12	0,10	5,70	0,21
7475	2,25	2,30	---	0,15	0,12	6,20	---
Amostra	2,15	2,00	0,03	0,16	0,15	5,50	0,16

4 DISCUSSÃO

Dos resultados obtidos da primeira campanha de testes, obteve-se um rendimento energético médio da ordem de 426 kW por tonelada de alumínio processado e um rendimento metalúrgico com 95,1% de recuperação do metal processado, sendo que o pó cerâmico gerado não possui sais contaminantes. Tais resultados demonstram uma significativa evolução no rendimento energético do processo, comparado aos processos convencionais, sendo que, em um forno com maior capacidade e com alguns ajustes construtivos, deve-se chegar cada vez mais próximo da energia estequiométrica para fusão de alumínio. Quanto ao rendimento metalúrgico, o grande avanço se deu na obtenção de tal rendimento sem a utilização de cargas de sal para proteger o banho. Dessa forma, o pó cerâmico obtido é tratado como um produto secundário do processo, sendo de interesse das empresas de cimentos e refratários.

Como resultados do segundo ensaio realizado, pode-se observar que a amostra obtida é composta de teores, de elementos de liga, em quantidades que demonstram a diluição destes na liga formada, inferindo-se que não houve perda significativa dos elementos de liga durante o processo de fusão. Tal resultado demonstra outra vantagem do processo, o qual possivelmente poderá permitir a refusão de um lote de mesma liga sem perdas substanciais de seus elementos ligantes, o que reduz o custo operacional do processo.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, realizou-se ensaios de refusão de sucata de alumínio, sendo 20% de sucata leve e 80% de sucata densa, utilizando-se um forno estacionário aquecido por plasma térmico. Tal processo apresentou rendimento metalúrgico de 95,1% do metal processado e utilizou 426 kW de energia elétrica por tonelada de material processado, sem utilização de sais protetores, e demonstrou ser eficaz na manutenção dos elementos ligantes do metal. Dessa forma, com os resultados operacionais e ambientais obtidos, podemos inferir que tal conceito de forno, aquecido por plasma térmico, para reciclagem de alumínio, demonstra ser uma alternativa muito forte para novas unidades de refusão, atendendo as tendências globais por processos energeticamente mais eficientes, limpos e com ganho em rendimento metalúrgico, demonstrando estar em total evolução com os conceitos industriais para o futuro.

REFERÊNCIAS

- 1 CRUZ, A.C. e BENDER, O.W., Process and equipment for the treatment of loads or residues of non-ferrous metals and their alloys, aplicação internacional PCT/BR2005/000129, 2005.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL, 2007, São Paulo. Guia técnico do alumínio: Geração e tratamento de escória. São Paulo: ABAL, 2007.
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL, 2000, São Paulo. Guia técnico do alumínio: Manuseio do alumínio. São Paulo: ABAL, 2000.