

INSTRUMENTAÇÃO DE UM FORNO TUBULAR PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE RECICLAGEM DE MATERIAIS COMPÓSITOS

Lucas Benedito de Almeida Silva¹,
Leônidas Lopes de Melo²,
Heloise Bernardi³,
Rita de Cássia Mendonça Sales Conti⁴

Aluno do CST Lucas Benedito de Almeida Silva; e-mail: lucas_lu1989@hotmail.com¹
Professor da FATEC²

Rita de Cássia Mendonça Sales Conti; e-mail: rita.sales@fatec.sp.gov.br⁴

Área do Conhecimento: 3.06.00.00-6 Engenharia Química/3 3.06.03.00-5 Tecnologia Química / 3.06.03.20-0 Tratamentos e Aproveitamento de Rejeitos.

Palavras-chave: Reciclagem; Materiais Compósitos; Tratamentos Térmicos, Instrumentação.

INTRODUÇÃO

O uso de materiais compósitos vem aumentando significativamente com o desenvolvimento da tecnologia. A procura por novos materiais que respondam às necessidades de resistência e leveza é a principal responsável por esse aumento. Um dos usos para estes materiais é a substituição do aço e alumínio na indústria em geral, além de outras áreas como a de segurança e balística (NAGLIS e ALMEIDA, 1998). Os compósitos poliméricos são materiais avançados de engenharia constituídos por fibras de reforço como a aramida, vidro ou carbono (os tecidos podem ser orientados de forma unidirecional, bidirecional ou multiaxial), combinadas com uma matriz polimérica geralmente, de resinas epóxi, fenólica, bismaleimida ou poliamida (PAIVA et al 2006). Um destes compósitos, muito utilizado em blindagem, é a mistura de fibra de aramida (Kevlar®) e resina de policloropreno (Neoprene®). Estes materiais juntos formam um compósito com elevada resistência mecânica, certa resistência à temperatura, estabilidade dimensional, módulo de elasticidade relativamente alto e baixa densidade (em relação às fibras de carbono e vidro). A fibra de aramida é responsável pela resistência mecânica e térmica, já o policloropreno garante o módulo de elasticidade e mantém o material unido, protegendo-o contra ácidos, ozônio entre outros agentes agressores (BELLINI, 2012). Com o passar dos anos, com o fim da vida útil, as indústrias substituem peças feitas destes materiais, inclusive coletes a prova de balas, que serão substituídos e posteriormente descartados. Para que estes materiais não sejam destruídos ou armazenados em depósitos de lixo busca-se destiná-los à reciclagem, como por exemplo, separando-se as fibras de aramida da matriz polimérica do policloropreno. É possível a reutilização das fibras de aramida para a confecção de novos materiais compósitos, por exemplo, em pastilhas de freio ou na substituição do amianto (BELLINI, 2012). A fibra de aramida quando separada corretamente da resina mantém suas principais características. Para realizar esse processo de separação é necessário um processo pirolítico ou químico no compósito. A pirólise consiste em um processo de degradação térmica de materiais macromoleculares em quantidade mínima ou na total ausência de oxigênio, geralmente em uma atmosfera inerte com outros gases de interesse para o processo (SANTOS, 2013). Para que a reciclagem da fibra de aramida através de um processo pirolítico seja bem-sucedida é necessário o controle da temperatura do forno acima da temperatura de degradação do policloropreno e abaixo da temperatura de degradação da fibra de aramida. Com isso, a matriz polimérica é degradada e a fibra não. Este trabalho é de grande importância, pois o desenvolvimento e consumo de compósitos vem aumentando anualmente e conseqüentemente o descarte dos mesmos (CHAWLA, 2012). A reciclagem destes materiais é dificultada por suas propriedades, tornando-a praticamente inviável economicamente.

A aramida é uma fibra de propriedades mecânica e tenacidade excelentes que pode ser reciclada e utilizada para outros fins. Ao reciclar as fibras há preservação de recursos naturais, além da possibilidade de ganho econômico.

OBJETIVO

Para que se tenha um processo de reciclagem eficiente utilizando o método de pirólise é necessário que se tenha um equipamento devidamente instrumentado e calibrado. Portanto, este trabalho tem objetivo de instrumentar, calibrar e a realizar testes sistemáticos testes para validação dos resultados. O forno tubular foi instrumentado com 1 controlador para garantir o controle de rampa e de temperatura, 2 indicadores para as tomadas de temperatura dos termopares e 3 termopares distribuídos ao longo do forno para que se garanta que a homogeneidade de temperatura durante todo o processo de pirólise.

METODOLOGIA

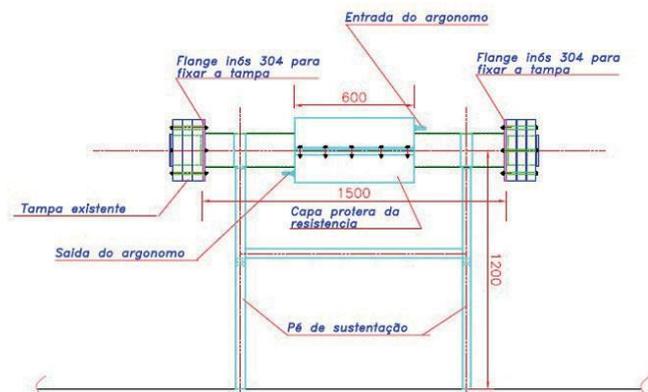
Componentes

Foi doado junto ao forno alguns componentes que poderiam ser utilizados na instalação do mesmo, o critério para uso ou não deles seriam a compatibilidade e utilidade ao projeto. Os materiais utilizados foram: 1 Controlador de Processos C704, 2 Indicadores de processo I506e e 3 Termopares tipo K.

Descrição do forno

A Figura 1 apresenta a imagem e o desenho em vista frontal do forno tubular que foi instrumentado para aplicação na reciclagem de resíduos de blindagem automotiva para recuperação de aramida. Dados do Forno elétrico tubular experimental: Peso: 50Kg, Temperatura máxima: 1000°C, Tensão de operação: 220V, Resistencia media: 4,3Ω e Corrente: 51,16^a.

Figura 1: a) Forno que será utilizado e b) Desenho detalhando as dimensões e os componentes do forno



Fonte: Autores (2019)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teste funcional do controlador

Para testar se o controlador é hábil para controlar o forno foi feito um teste funcional, foi utilizado um aquecedor de água portátil de 1000 W, uns dos termopares tipo k, e um balde d'água de 7 litros. O objetivo do teste era comprovar que o controlador poderia manter uma temperatura constante no corpo d'água através do controle de acionamento do contator. Primeiramente foi adaptado uma tomada ligada a saída do contator, e uma das saídas de controle por relé que o controlador oferece foi ligado a bobina do contator. O aquecedor foi ligado a tomada e imerso em água junto ao termopar. Antes de testar a função de programação de rampa-patamar do controlador, utilizou-se um SP (Set-Point) específico de 60°C, temperatura que à água deveria permanecer enquanto o controlador estivesse ligado. O controlador não estava conseguindo manter a temperatura, tendo uma diferença na faixa de 20-30°C, apesar de uma variação de temperatura ocasional ser esperado essa variação estava programada para ser da ordem de 5°C. Após a operação A.t (Auto Tune) do controlador, onde é mantido um SP específico e a função PID se ajusta ao comportamento do aquecedor e ambiente que o termopar estava inserido, notou-se uma melhora considerável na resposta do controlador. Tendo um controle mais confiável foi testado a função rampa-patamar, rampa de

2,0°C/min até 60°C por 30 min, resfriamento utilizando a inércia do forno com rampa de 2°C/min até 20°C. Este último teste funcional provou que o controlador está apto a controlar o forno.

Teste operacional do forno

Com o objetivo de garantir a integridade da rede elétrica e como o forno nunca havia sido ligado efetuou-se um teste operacional do forno. Antes de ligar diretamente o forno utilizou-se de duas resistências de aproximadamente 6Ω em série com o mesmo, essas duas resistências foram imersas em água para que a temperatura em geral não ultrapasse os 100°C. Antes de iniciar o procedimento de rampa-patamar em alta temperatura, foi realizado o procedimento A.t na temperatura de 100°C, como não houve grande problema na rede e o forno pareceu estável foram retiradas as resistências após o procedimento. Logo se efetuou o procedimento de ram- pa-patamar 1º etapa: rampa de 3,3°C/min até 100°C por 20 min, 2º etapa: rampa de 5°C/min até 200°C por 30min e 3º etapa: resfriamento utilizando a inércia do forno com rampa de 5°C/ min até 100°C, assim ao término do processo não havia dúvida sobre a viabilidade do controle utilizado.

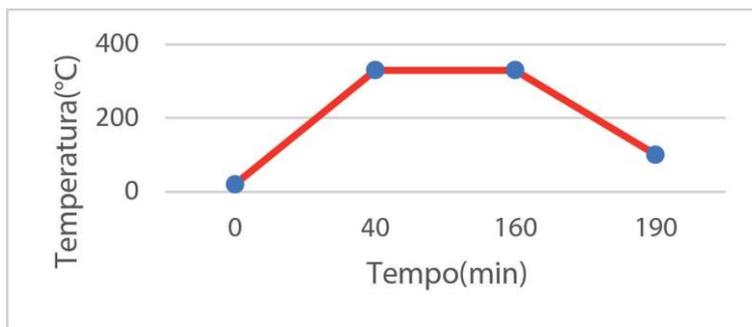
Cura do forno

Por conta da cerâmica que é responsável pelo isolamento térmico do forno ter vestígios de umidade é necessário curar o forno, esse processo ocorre ao se manter o forno em determina- das temperaturas por tempos determinados. O processo de cura foi efetuado para atender os requisitos fornecidos pelo fabricante para que seja possível a utilização do forno. A descrição do processo de cura é dada a seguir: 1º etapa: rampa de 6,7°C/min até 200°C por 30 min, 2º etapa: rampa de 6,7°C/min até 400°C por 30min, 3º etapa: rampa de 6,7°C/min até 600°C por 30min e 4º etapa: resfriamento utilizando a inércia do forno com rampa de 9,7°C/min até 20°C por 60min.

Pirólise dos corpos de prova

Dois testes anteriores foram realizados utilizando os corpos de prova (cdp) de material compósito aramida impregnado de neoprene. O primeiro teste de 350°C por 1,5 horas (cdp1) e o se- gundo teste foi de 330°C também por duas horas (cdp2). Verificou-se que o cdp 1, após o processo de pirólise, apresentou resíduos de neoprene na superfície da fibra. Já o cdp2 apresentou baixa de resistência mecânica de rasgamento, com as mãos, da fibra pirolisada. Decidiu-se, portanto, realizar um terceiro teste. O terceiro corpo de prova (cdp3) foi submetido ao tratamento térmico (Figura 2), com a diminuição da temperatura máxima, mas o tempo de permanência nesta temperatura foi mantido. O resultado obtido para o cdp3 apresentou deterioração da matriz de policloropreno e a fibra de aramida podia ser facilmente retirada e estava em bom estado para ser reutilizada.

Figura 2: Rampa-patamar de cura do terceiro corpo de prova



Fonte: Autor (2019)

Teste de distribuição de temperatura

Com objetivo de averiguar se mais de um corpo de prova poderia ser pirolisado ao mesmo tempo, foram utilizadas outras três amostras similares entre si que foram colocadas em três regiões diferentes do forno, a localização onde os corpos de prova foram colocados (Figura 3). O tratamento térmico foi o mesmo utilizado para pirolisar o cdp3. Percebe-se que os corpos de prova das regiões mais afastadas do centro tiveram uma parte pirolisada com sucesso e outra não enquanto o corpo da região 2 a central foi completamente pirolisado, levando a conclusão que o forno não possui homogeneidade de temperatura ao longo do seu comprimento.

Figura 3: Regiões do forno e corpos de prova tratados em diferentes regiões dos fornos.



Fonte:Autor (2019)

CONCLUSÕES

Com este projeto pode-se perceber a grande importância da integração entre os sensores responsáveis por alimentar os controladores e o hardware. O controlador precisa ser bem modelado para que possa prever os vários padrões de comportamento do hardware. As dificuldades encontradas no decorrer do projeto foram de integrar uma estrutura já instalada e um equipamento novo, tendo que realizar várias adaptações no controlador para que pudesse executar sua função de tomar medidas e controlar as variações de temperatura ocorridas dentro do forno. Após todos os testes apresentados, pode-se observar que o forno está apto a realizar a tarefa de pirolise, porém devido a alguns parâmetros do controlador não estarem perfeitamente ajustados ao forno e a interface do mesmo ser extremamente não intuitiva levou a alguns erros, com ocorreu no segundo corpo e prova, esses erros podem ser mitigados alterando os parâmetros PID e testando a resposta do forno, assim aperfeiçoando o resultado final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

BELLINI, J. **Fibras de aramida e sua aplicação na conexão de cabos ópticos**. 2012. 45f, Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnólogo em Polímeros) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, Sorocaba, 2012.

CHAWLA, K. K. **Composite Materials: Science and Engineering**. Birmingham: Springer, 2012.
NAGLIS, M. M. M.; D'ALMEIDA, J. R. M. Avaliação dos Modos de Falha sob Impacto de Compósitos de Matriz Polimérica Reforçados por Fibras. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. p.54-60, Jan-Mar. 1998.

PAIVA, J. M. F.; MAYER, S.; CÂNDIDO, G. REZENDE, M.; M. C.. Avaliação da Temperatura de Transição Vítrea de Compósitos Poliméricos Reparados de Uso Aeronáutico. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 16, nº 1, p. 79-87, 2006.

SANTOS, N. A. V. Pirólise Rápida de Coprodutos do Processo Produtivo do Biodiesel: Efeito das Condições de Pirólise e Caracterização dos Produtos. 2013. 162 f. Dissertação (Mestrado em

Agroquímica) – Programa de pós – Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof^o-Dr Leonidas Lopes de Melo pela orientação e o conhecimento detalhado sobre instrumentação e controle de processos e o Eng. Regis Guimarães Silva pelo apoio e ensinamentos de usinagem e ajustagem mecânica. Agradeço também ao CNPq pela concessão da bolsa PIBITI, processo 147010/2018-7.