

ANÁLISE DE VARIABILIDADE EM MALHA DE CONTROLE DE FORNO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO

Cesar Dantas do Rego, Fran Sérgio Lobato, Sergio M. da S. Neiro, Rubens Gedraite
Faculdade de Engenharia Química
Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, cesardantas@equi.ufu.br

Resumo - Este trabalho aborda aspectos importantes no processamento de níquel, dando enfoque para a etapa de redução do minério a níquel metálico, onde fornos de redução são empregados. Tais fornos requerem um controle rigoroso em sua temperatura de operação, e para isto é aplicado um avançado sistema de malhas de controle visando otimizar a operação dos mesmos. A malha de controle em questão atua manipulando as vazões de ar e de óleo combustível alimentadas no forno redutor de níquel de forma a garantir uma combustão incompleta com a formação de uma atmosfera redutora (rica em CO), além de controlar a temperatura do mesmo.

Palavras-Chave – Forno de redução de minério, controle de temperatura, variabilidade.

TEMPERATURE CONTROL LOOP VARIABILITY ANALYSIS IN REDUCTION ORE ROASTER

Abstract - This file is about some important aspects in the nickel processment, prioritizing the step of reduction of ore to metallic nickel, where reduction roaster is used. This rosters requires a hard control in the operation temperature, so is applied an advanced loop control to optimize the operation. The loop control mentioned works manipulating air and oil flow wich are feeded in the nickel reduction roaster ensuring an incomplete combustion wich results a reducing atmosphere (rich in CO), besides control the temperature.

Keywords – Reduction ore roster, temperature control, variability.

I. INTRODUÇÃO

O processo Caron é uma rota hidrometalúrgica de produção de níquel que destina se à produção de níquel eletrolítico. Em uma primeira etapa, o minério já homogeneizado passa por uma britagem através de britador de rolo duplo, em seguida é britado e seco ao mesmo tempo num britador de martelos, e na seqüência é moído em moinho de bolas em circuito fechado com ciclones. O

minério moído e seco vai para os fornos de redução onde são adicionados gases redutores (H_2 e CO), em seguida, é resfriado e encaminhado aos tanques de temperagem onde se adiciona solução amoniacal. A polpa sofre ação do ar, oxidando o níquel e o cobalto e estes passam para solução através do processo de lixiviação. Após esta etapa, Ni e Co são extraídos por decantação, a solução rica em níquel e cobalto é purificada e na seqüência é encaminhada para torres de precipitação e secagem, obtendo-se o carbonato básico de níquel e cobalto. Após esta etapa é realizada a eletrólise para a obtenção de níquel e cobalto metálico. O processo Caron atualmente tem sua utilização limitada em função de altos custos por tonelada de níquel produzido, quando comparado a outros processos.

O forno utilizado neste processo é o forno Nicols-Herezonff, desenvolvido inicialmente a mais de 80 anos atrás para o processamento de minérios, sendo até hoje a principal aplicação para este tipo do forno. Sua utilização no beneficiamento de minério de níquel caracteriza-se por fornos verticais com vários andares e câmaras de combustão nos andares à base do forno. O forno é alimentado com ar e óleo combustível, e tem a função proporcionar as condições necessárias para a redução do minério, ou seja, gerar um perfil de temperatura adequado juntamente com um ambiente altamente redutor (rico em CO e H_2). A Figura 1 apresenta uma representação simplificada deste forno.

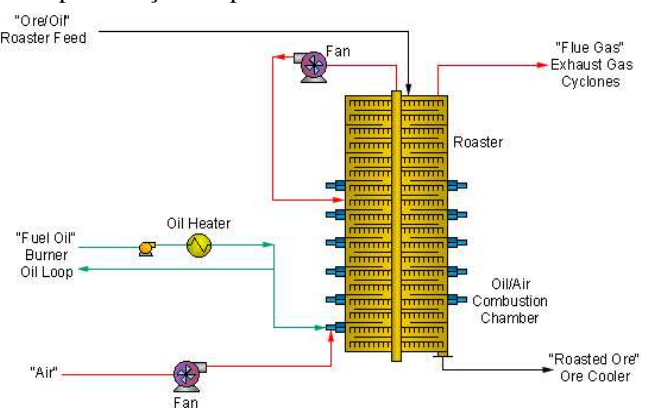


Fig. 1. Representação esquemática do forno estudado

O forno opera com a entrada de minério previamente tratado (britado e seco) e dentro de uma especificação granulométrica adequada. Este minério é introduzido pelo topo do forno e escoar por cada um dos 18 andares, onde raspadores auxiliam a transferência do material de um andar para outro. Câmaras de combustão (10 no total) situadas nas laterais do forno fazem a combustão do óleo, fornecendo o calor necessário ao forno. Uma particularidade deste tipo de forno é quanto à alimentação de ar, que deve ser sub



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

estequiométrica em relação ao óleo, proporcionando uma combustão incompleta do mesmo a qual é responsável por gerar o gás CO como produto. Altas concentrações de CO são requeridas no interior do forno, pois o gás é um agente redutor, atuando diretamente no processo de metalização do minério. Para que o perfil de temperatura desejado (vide Figura 2) e a condição de alimentação sub estequiométrica sejam atingidos é empregada uma estratégia de controle avançado que atua regulando as vazões de ar e de combustível nas câmaras de combustão.

II. O CONTROLE DO PROCESSO DE REDUÇÃO DO MINÉRIO

Para que o forno opere o mais próximo possível das condições de operação adequadas é empregado o controle da operação do forno, que se dá através de uma malha composta por um sistema de controle avançado, um sistema de controle regulatório além da instrumentação. O sistema de controle avançado atua na determinação do set-point para a operação de cada uma das câmaras de combustão, trabalhando com base na temperatura de cada câmara. Já o controle regulatório atua nas vazões de ar e óleo de acordo com o set-point determinado pelo controle avançado. O controle é realizado de forma a associar os valores da vazão de ar com a vazão de óleo, fazendo com que o ar seja alimentado subestequiométricamente, para que ocorra combustão incompleta dentro da câmara e ao mesmo tempo controle a temperatura do sistema.

T (°C)

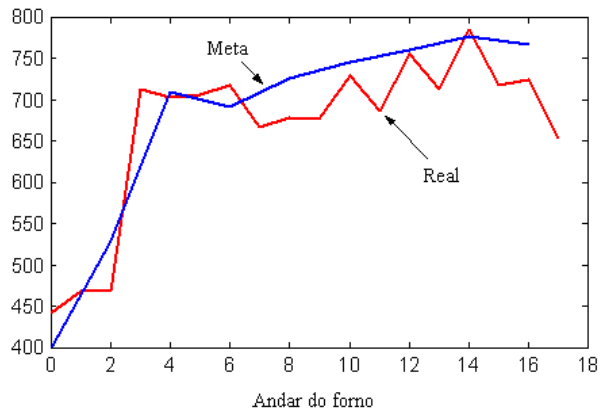


Fig. 2. Perfil de temperatura do forno

Para que a malha funcione a instrumentação dispõe de transmissores de temperatura; indicadores e controladores de temperatura; transmissores de vazão; indicadores e controladores de vazão. A Figura 3 ilustra a malha de controle aplicada ao forno.

III. ESTUDO DA VARIABILIDADE

A avaliação do desempenho da planta passa necessariamente pelo conhecimento do comportamento da mesma tanto no estado estacionário quanto no estado dinâmico. No estado estacionário é interessante a avaliação de como as variáveis de processo importantes para o acompanhamento e controle do processo flutuam em torno do valor usual de operação.

Um processo que apresente elevada variabilidade necessita ser avaliado com mais detalhes de modo a permitir uma intervenção mais direta sobre as causas raízes que são as responsáveis pelo comportamento indesejado do sistema.

Neste trabalho foi feita uma aproximação do conceito de variabilidade, utilizando-se a idéia aplicada à variabilidade em malhas de controle. Este conceito em realidade diz respeito aos desvios existentes entre a variável controlada e o valor de referência.

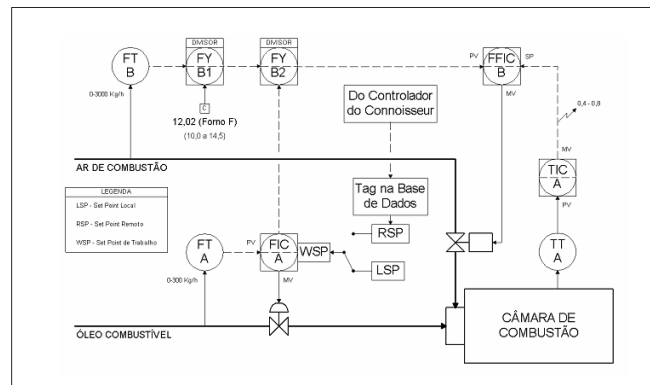


Fig. 3. Malha de controle de temperatura do forno

Existem diferentes maneiras de se quantificar a variabilidade apresentada por um processo, a saber:

- Medir a máxima variabilidade do sinal de saída do processo[2];
- Calcular ao longo do tempo a área do erro entre o valor de referência e a variável medida, usando técnicas IAE – *Integrated Absolute Error* ou ISE – *Integrated Square Error* [3];
- Duplicar o valor do desvio padrão do erro (σ) e dividi-lo pelo valor médio da saída do processo (μ), isto é, calculando $(2.\sigma/\mu)$; ou ainda
- Duplicar o valor do desvio padrão do erro ($2.\sigma$).

O critério adotado para avaliar a variabilidade apresentada pelas variáveis de processo consideradas neste trabalho baseou-se no critério de duplicar o desvio padrão e dividir o valor obtido pelo valor da média.

No que diz respeito ao comportamento dinâmico do sistema estudado, será utilizado o critério proposto por Aguirre [1]. Segundo este autor, a entrada normalmente mais usada para identificar um processo de forma não-paramétrica é a excitação em degrau. Esses ensaios normalmente permitem gerar, graficamente, modelos empíricos dinâmicos representados por uma função de transferência de baixa ordem (1^a ou 2^a ordem, eventualmente incluindo um tempo morto) com, no máximo, quatro parâmetros a serem determinados experimentalmente.

A variabilidade é uma grandeza que representa o comportamento de variáveis, dando uma noção do quanto elas variam ao longo do tempo. Uma análise nas vazões de ar e de óleo combustível (variáveis manipuladas pela malha de controle) que alimentam as câmaras de combustão do forno foi realizada, onde se constatou elevados valores de

variabilidade para determinadas câmaras. Para que fosse realizada tal análise, foram medidos experimentalmente os valores de vazão de ar e de óleo combustível, durante uma jornada típica de operação do forno [4].

A partir destes dados foi calculado o valor médio para cada vazão e o respectivo desvio padrão. Com base nestes valores, foi calculado o valor da variabilidade, onde se constatou elevados valores de variabilidade para algumas câmaras. Visando aperfeiçoar a operação do forno e entender os motivos da ocorrência desta situação foi realizado um estudo específico para o 11º andar do forno E, no qual foi simulado o funcionamento de sua dinâmica. Os modelos simplificados do processo foram obtidos de acordo com a metodologia usada na análise de curvas de resposta de sistemas [1], e foram implementados no ambiente Simulink® do aplicativo Matlab®, como apresentado na figura 3.

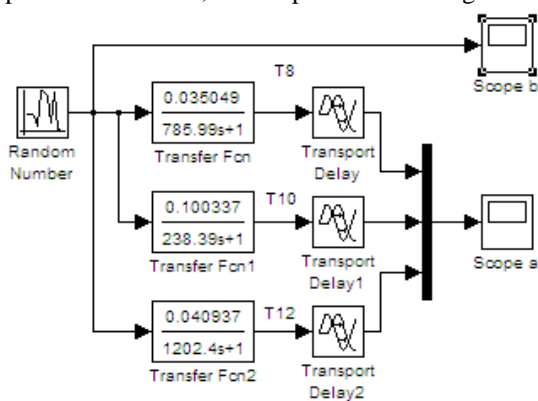


Fig. 3. Modelo simplificado do processo estudado

Com base nos resultados experimentais obtidos, a simulação considerou o comportamento variável da vazão de óleo, expressa em termos de variável desvio, como mostrado na Figura 4.

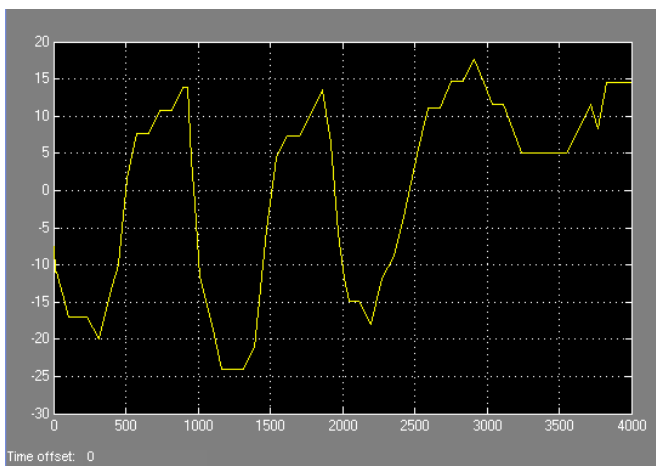


Fig. 4. Comportamento da vazão de óleo combustível

IV. RESULTADOS OBTIDOS

As variáveis de saída do modelo são as temperaturas dos andares 8, 10 e 12 do forno estudado. As temperaturas simuladas apresentaram o comportamento temporal mostrado

na Figura 5 em resposta à perturbação aplicada, na qual as curvas amarela, azul e roxa representam as temperaturas dos andares 8, 10 e 12 respectivamente.

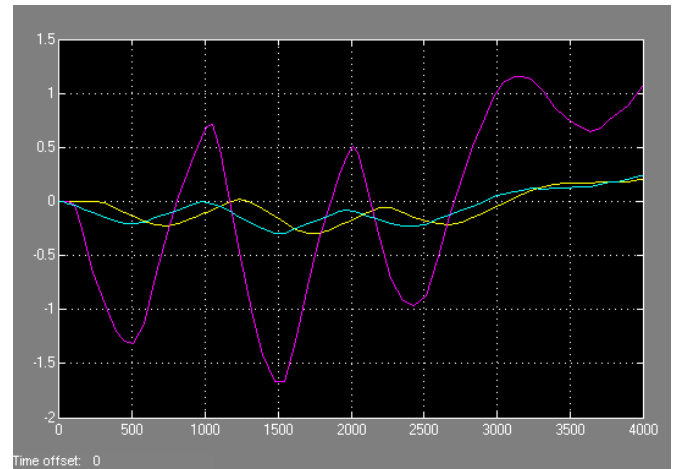


Fig. 5. Comportamento temporal da temperatura do forno

V. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos mostraram que a perturbação aplicada na vazão de óleo combustível alimentada nas câmaras de combustão do 11º andar gerou diferentes respostas de variação de temperatura para cada um dos andares analisados, sendo que os andares 8 e 10 sofreram pouca influência, enquanto que a temperatura do andar 12 se mostrou bastante sensível ao distúrbio aplicado. Tal comportamento era esperado, visto que o fluxo de minério dentro do forno é descendente. A carga térmica gerada pela queima do óleo combustível será transferida ao minério que seguirá para os andares de baixo, fazendo com que a temperatura sofra uma oscilação de acordo com a alimentação de combustível. Esta oscilação da temperatura ocorre de forma diretamente proporcional à alimentação de óleo combustível, ou seja, a temperatura sobe com o aumento da vazão de óleo combustível e cai com a diminuição da vazão do mesmo. A oscilação na temperatura dos andares acima das câmaras onde foi aplicado o distúrbio é atribuída à passagem dos gases gerados na combustão. Tal variação ocorre de forma diretamente proporcional à alimentação de óleo combustível, ou seja, a temperatura sobe com o aumento da vazão de óleo combustível e cai com a diminuição da vazão do mesmo.

VI. CONCLUSÕES

A avaliação do desempenho da planta com base nos dados experimentais mostrou ser muito difícil assegurar uma operação estável na presença de distúrbios gerados pela própria natureza do processo, tais como: variação da vazão de óleo combustível e de ar alimentada ao forno, tendência da temperatura do andar considerado variar de forma significativa em função do tempo de operação, limpeza das câmaras de combustão, etc.

Constatou-se a necessidade de emprego de sistema de controle multivariável que permita compensar os distúrbios que ocorrem em todas as câmaras de combustão. Este sistema será essencial para o estudo do comportamento transiente do sistema. A instrumentação atualmente instalada permite que dados experimentais suficientemente ricos sejam extraídos do processo, de modo a fornecer uma avaliação mais precisa da dinâmica da planta como um todo.

As causas das variabilidades verificadas empiricamente precisam ser mais bem investigadas. A equipe ainda lida com as dificuldades de estabilizar a operação da planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGUIRRE, L. A. *Introdução à identificação de sistemas: técnicas lineares e não lineares aplicadas a sistemas reais*. Minas Gerais: Ed. UFMG, 2007
- [2] LAAKSONEN, J.; PYÖTSIÄ, J. *Process variability simulated, tested, minimized*. In Tech, v.45, n.12, p.68-70, Dec. 1998.
- [3] McMILLAN, G. K. *Tuning and control loop performance*. 3rd ed., Research Triangle Park, NC, ISA – The Instrumentation, Systems and Automation Society, 1994.
- [4] GOUVEIA, R. M.; LEWIS, D. G.; RESTREPO, A.; RODRIGUES, L. A. and GEDRAITE, R. Application of Model-Predictive Control to Multi-Hearth Nickel Reduction Roasters. IFAC. Chile. 2009