

AJUSTE DO PROCESSO DE RECOZIMENTO EM CAIXA DA COSIPA PARA REDUÇÃO DO DEFEITO “CASCA DE LARANJA”¹

Lúcio Rosa da Silva²
Guilherme Klaus Pfeilsticker³
Adilson Correa⁴
Érika Ishara⁵
Karl Kristian Bagger⁶

Resumo

A produção comercial de aços de ultrabaixo carbono e aços IF na Cosipa teve início em 2001. A entrada em operação de uma nova unidade de desgaseificação a vácuo (RH) em 2004, mais moderna e de maior capacidade, permitiu reduzir ainda mais o teor de carbono destes aços em relação aos teores inicialmente alcançados. A partir de 2004, alguns corpos de prova de material IF começaram a apresentar o defeito “casca de laranja” nos ensaios de embutimento para liberação do material ao cliente. A análise das ocorrências revelou que, na maioria dos casos, o defeito ocorria nas amostras retiradas na ponta final da bobina nas linhas de acabamento a frio, região correspondente à parte externa no recozimento e à ponta final no processo de laminação à quente. Foi verificada também uma concentração das ocorrências em materiais processados com determinados tipos de fornos do recozimento n° 2 da Cosipa. A instalação de um termopar extra (TE-3) no ponto quente da carga permitiu medir o nível de superaquecimento da parte externa da bobina em relação à temperatura de controle estipulada para o termopar de controle do forno (TE-1) para cada família de forno. Os testes realizados comprovaram que os fornos que provocavam maior superaquecimento do material eram os que apresentavam maior incidência do casca de laranja. Em função dos resultados obtidos foram efetuados ajustes no processo de recozimento que permitiram reduzir a incidência do defeito casca de laranja nos aços IF laminados a frio da Cosipa.

Palavras-chave: Recozimento em caixa; Superaquecimento; Casca de laranja.

ADJUSTMENT OF BATCH ANNEALING PROCESS OF COSIPA FOR REDUCTION OF THE DEFECT “ORANGE PEEL”

Abstract

The commercial steel production of ultra-low carbon and IF steels in the COSIPA had beginning in 2001. The start-up of a new vacuum degasser unit in 2004, most modern one and of bigger capacity, allowed to still more reduce the carbon content of these steels in relation to contents initially reached. From 2004, some bodies of test of IF material had started to present the defect “orange peel” in the assays of inlaying for release of the material to the customer. The analysis of the occurrences disclosed that, in the majority of the cases, the defect occurred in the samples removed in the final tip of the coil in the cold finishing lines, corresponding region to the external part in the batch annealing and to the final tip in the hot rolling process. It was also verified a concentration of the occurrences in materials processed with determined types of furnaces of batch annealing n° 2. The installation of an extra thermocouple (TE-3) in the hot spot of the load allowed to measure the level of overheating of the external part of the coil in relation to the control temperature stipulated for the thermocouple of control of the furnace (TE-1) for each family of furnace. The carried through tests had proven that the furnaces that provoked greater overheating of the material were the ones that presented greater incidence of the orange peel. In function of the obtained results adjustments in the annealing process had been effected that had allowed to reduce the incidence of the defect orange peel in cold rolled IF steels of the COSIPA.

Key words: Batch annealing; Overheating; Orange peel.

¹ Contribuição técnica ao 44º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 16 a 19 de outubro de 2007, Campos do Jordão – SP, Brasil.

² Engenheiro Químico, Técnico Metalurgista, Assistente de Operação da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Frio da Cosipa

³ Engenheiro Metalurgista, Analista de Operação da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Frio da Cosipa

⁴ Técnico metalurgista, Assistente de Operação da Gerência de Recozimento e Encruamento da Cosipa

⁵ Engenheira Metalurgista, Analista de Produto da Gerência de Controle Integrado da Cosipa

⁶ Engenheiro Metalurgista, Gerente da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Frio da Cosipa

1 INTRODUÇÃO

A produção comercial de aços laminados a frio de ultrabaixo carbono e dos aços IF na Cosipa teve início em 2001. Em 2004, a entrada em operação de uma nova unidade de desgaseificação a vácuo (RH) mais moderna e de maior capacidade, permitiu reduzir o teor de carbono destes aços em relação aos teores inicialmente alcançados.

A partir de 2004, alguns corpos de prova de material IF começaram a apresentar o defeito “casca de laranja” nos ensaios de embutimento para liberação do material ao cliente. A deformação plástica imposta ao aço durante o processo de redução de espessura no laminador a frio deforma completamente a estrutura cristalina do material, cria regiões com alta concentração de discordâncias e outros defeitos. Nesta condição o material não pode ser conformado e precisa ser submetido a um tratamento térmico de recozimento para recuperação das suas propriedades mecânicas. O defeito “casca de laranja” é consequência de um crescimento anormal dos grãos (ou recristalização secundária) durante o processo de recozimento. Depois de estar completa a recristalização, o tamanho de grão pode continuar a crescer. Os grãos maiores continuam a crescer e os menores desaparecem. Deste modo, reduz-se a área de contorno dos grãos, e conseqüentemente diminui a energia livre.⁽¹⁾ Se o grão cristalino for grande, a superfície do material após ser submetido a uma operação de estampagem profunda apresenta o aspecto de “casca de laranja” [*orange peel*] e não permite um acabamento uniforme.

O objetivo deste trabalho é mostrar as alterações efetuadas no processo de recozimento em caixa n.º 2 da Cosipa para minimizar o superaquecimento e, conseqüentemente, reduzir as ocorrências de casca de laranja. Novos padrões de ajuste do set-point dos fornos foram implantados para reduzir o superaquecimento da bobina de base da pilha de recozimento e definidas rotas obrigatórias para o processamento de material IF.

2 PROCEDIMENTO

A análise das ocorrências revelou que na maioria dos casos, o defeito ocorria em amostras retiradas da ponta final da bobina nas linhas de acabamento a frio, região correspondente à parte externa no recozimento e à ponta final no processo de laminação à quente. Somente em alguns casos o defeito pôde ser claramente associado à temperatura de acabamento no processo de laminação à quente abaixo do padrão estabelecido para este tipo de material. Nos demais casos, a hipótese levantada foi de que a redução do teor de carbono dos aços IF teria aumentado a susceptibilidade para a ocorrência de casca de laranja devido ao superaquecimento das espiras externas da bobina durante o processo de recozimento.

A Figura 1 mostra a disposição dos termopares para medição e controle de temperatura das bases do Recozimento n.º 2 da Cosipa. O TE-1 controla a temperatura do gás e o TE-2 controla a temperatura da carga.

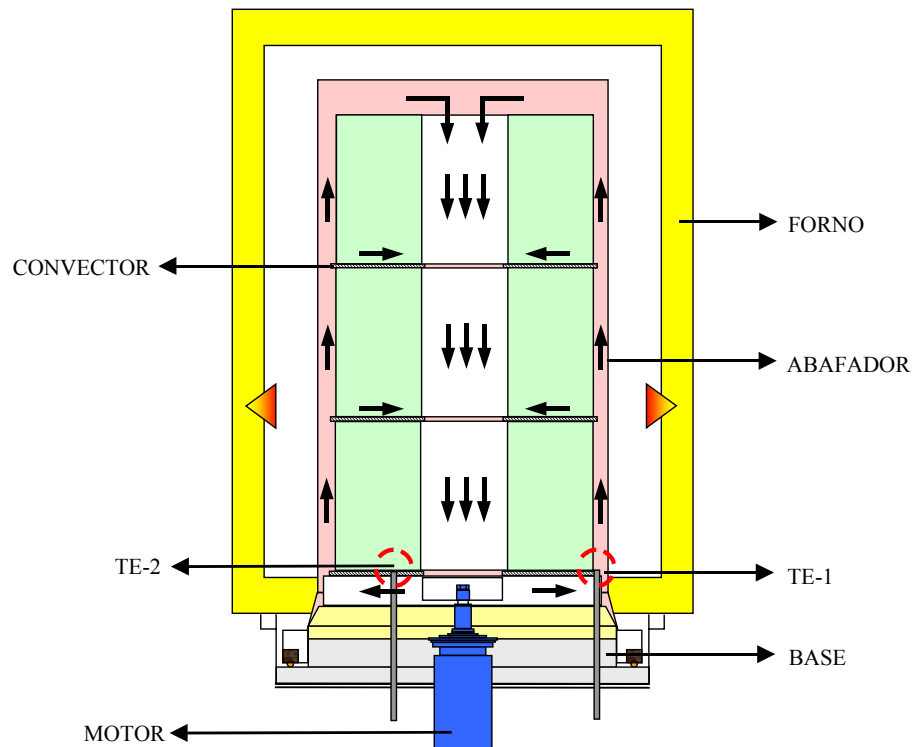


Figura 1 – Disposição dos termopares de controle

A Figura 2 mostra um diagrama esquemático das etapas do processo de recozimento em caixa e a Figura 3 uma curva típica de um ciclo de recozimento. A etapa de aquecimento do ciclo de recozimento compreende uma rampa de aquecimento inicial até a temperatura de encharque ser atingida e um período de encharque propriamente dito.

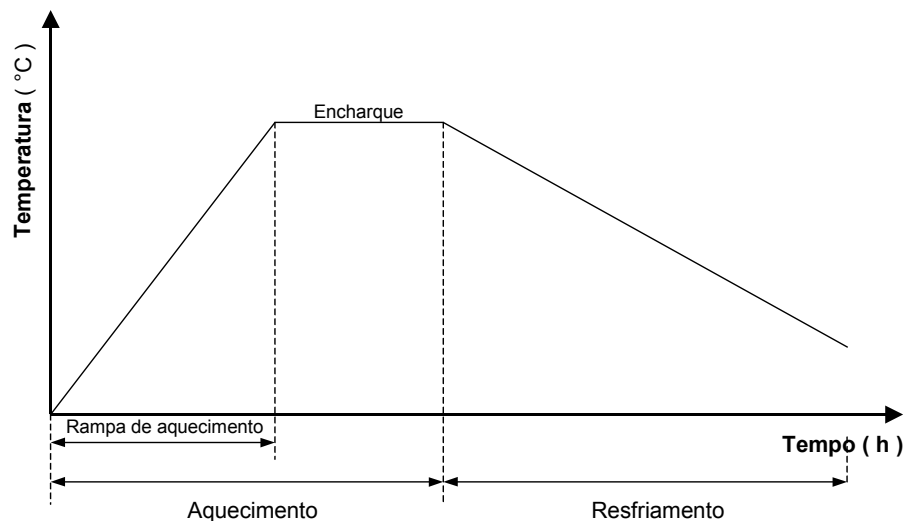


Figura 2 – Diagrama esquemático do ciclo de recozimento

O controle de temperatura é feito através dos dois termopares indicados na Figura 1. A partir do momento em que é iniciado o aquecimento (PONTO A) até o instante em que o set-point estabelecido para o controle do forno é atingido (PONTO B), o processo é controlado automaticamente pelo TE-1 (Figura 3). A partir deste

instante, a temperatura do gás varia em torno do set-point estabelecido até que a temperatura de controle pelo TE-2 (temperatura de encharque) seja atingida (\overline{BC}). A partir desse instante (PONTO C), o controle da temperatura do gás passa a ser feito manualmente pelo operador (\overline{CD}), de modo a manter a temperatura de Encharque do TE-2 por um determinado período de tempo pré-estabelecido (\overline{DE}). Completado este período de tempo (denominado de *tempo de encharque*), o forno é desligado (PONTO E) e tem início a fase de resfriamento do ciclo. O fim de resfriamento é atingido quando a temperatura indicada pelo TE-2 e o tempo total de resfriamento atingirem o valor estabelecido pelo padrão de operação vigente (ponto F). Neste ponto, a base é desabafada e as bobinas já recozidas são enviadas para o processo seguinte.

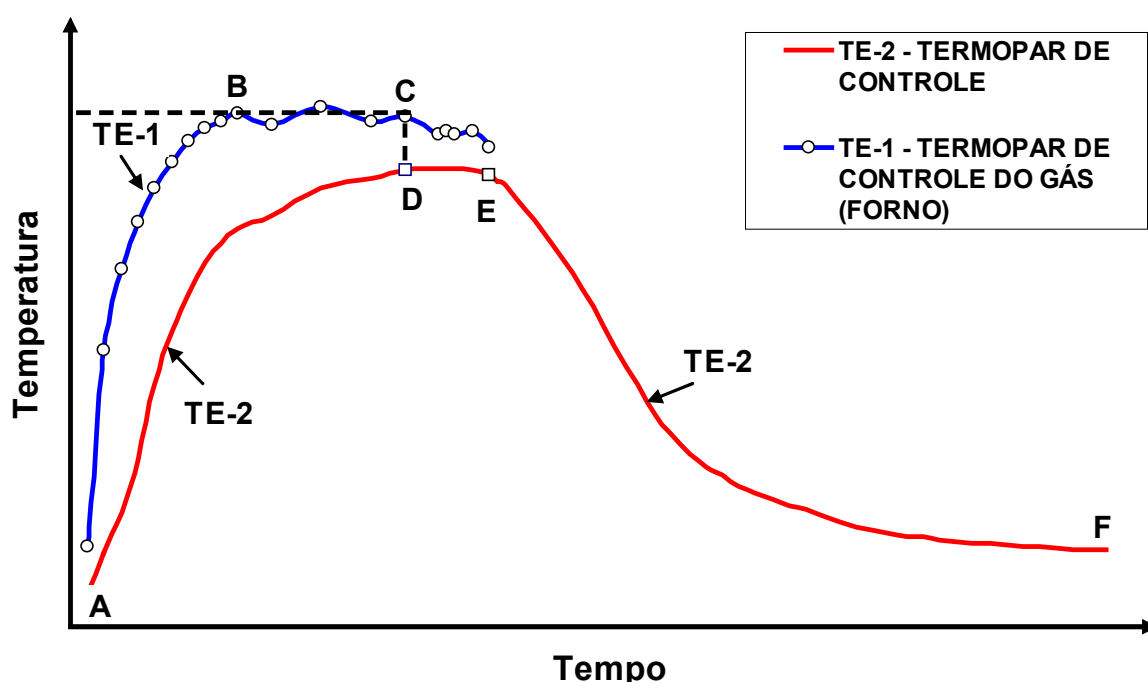


Figura 3 – Ciclo de recozimento típico

Na Cosipa, diferente de outras instalações de recozimento em caixa ⁽²⁾, o controle de temperatura do forno é feito pela indicação do TE-1, posicionado não no corpo do forno, mas sim no fluxo de gás HN, conforme mostrado na Figura 1.

O recozimento em caixa n.º 2 da COSIPA possui 58 fornos de quatro diferentes fabricantes. A análise das ocorrências de “casca de laranja” no período de 2004 a 2005 evidenciou concentração de casos nos materiais processados com os fornos de chama direta tangencial de três fabricantes diferentes.

Foi levantada a hipótese de que estes fornos, em função do projeto construtivo, pudessem estar provocando um superaquecimento exagerado das espiras externas da bobina da base da pilha de recozimento, e assim favorecendo o processo de crescimento anormal de grãos, e conseqüentemente, o aparecimento do defeito “casca de laranja”.

Para medir o superaquecimento nas espiras externas da bobina de base da pilha de recozimento provocado por cada tipo de forno foi instalado um terceiro termopar (TE-3) no ponto quente da carga. Em cada carga experimental este termopar era posicionado na bobina de base da pilha de recozimento, a uma

distância de aproximadamente cinco mm da borda da tira e numa profundidade de aproximadamente 20 mm, conforme mostrado na Figura 4.

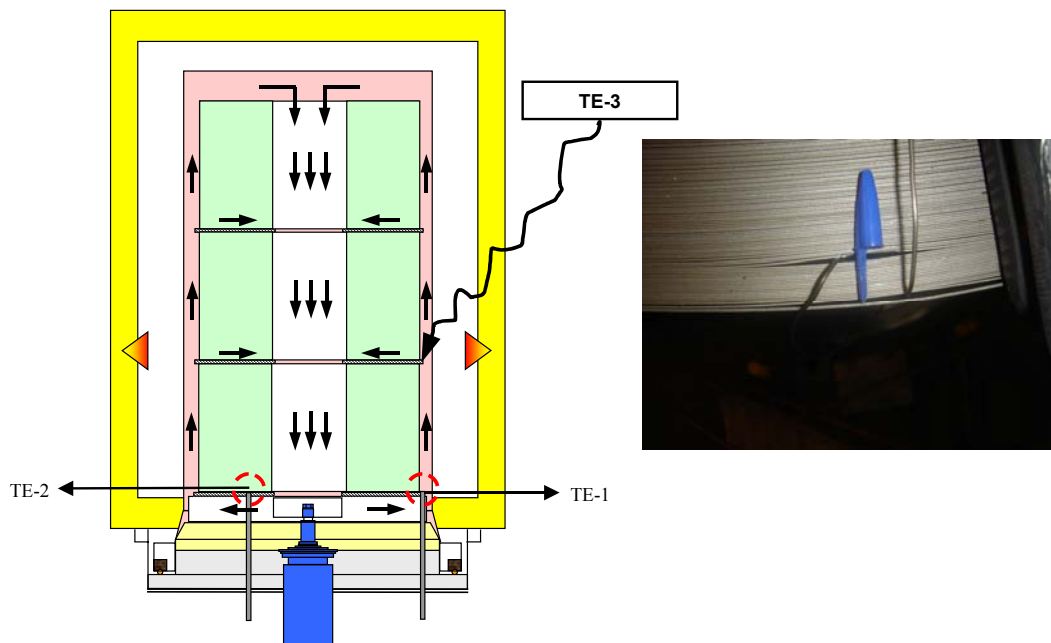


Figura 4 – Posicionamento do TE-3 na carga

Foram feitos vários levantamentos de temperatura, registrando-se a temperatura indicada pelo TE-1, pelo TE-2 e pelo TE-3, o que permitiu determinar o nível de superaquecimento das espiras externas em relação ao set-point estipulado para o gás (TE-1) para cada tipo de forno.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 5 mostra o resultado da medição de temperatura do ponto quente da carga em um dos testes realizados para um determinado tipo de forno. O gráfico mostra claramente que a temperatura das espiras externas da bobina medida pelo TE-3 ultrapassa a temperatura de controle do TE-1 definida para o forno, comprovando assim a existência do superaquecimento na parte externa da bobina. O termopar de controle deve estar posicionado no ponto quente da carga ou o mais próximo possível dele para garantir que o superaquecimento não ocorra.

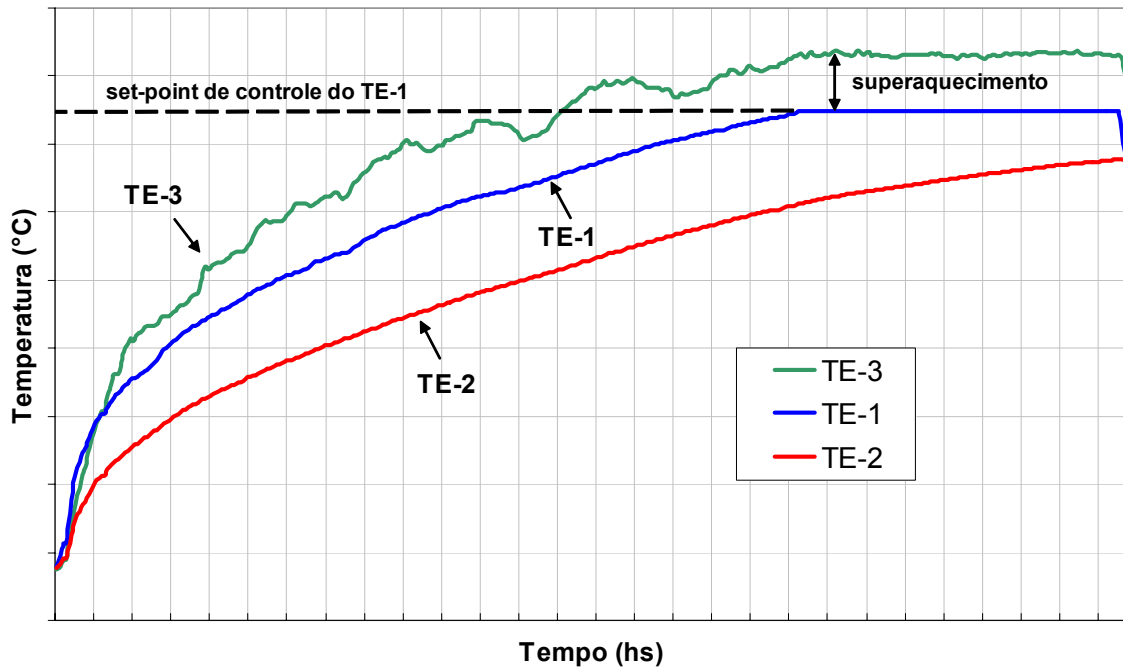


Figura 5 – Temperatura do ponto quente (TE-3)

A medição de temperatura do ponto quente através do TE-3 em 15 cargas experimentais permitiu determinar o valor médio do superaquecimento na região externa da bobina em relação ao set-point ajustado para TE-1 para cada tipo de forno (Figura 6).

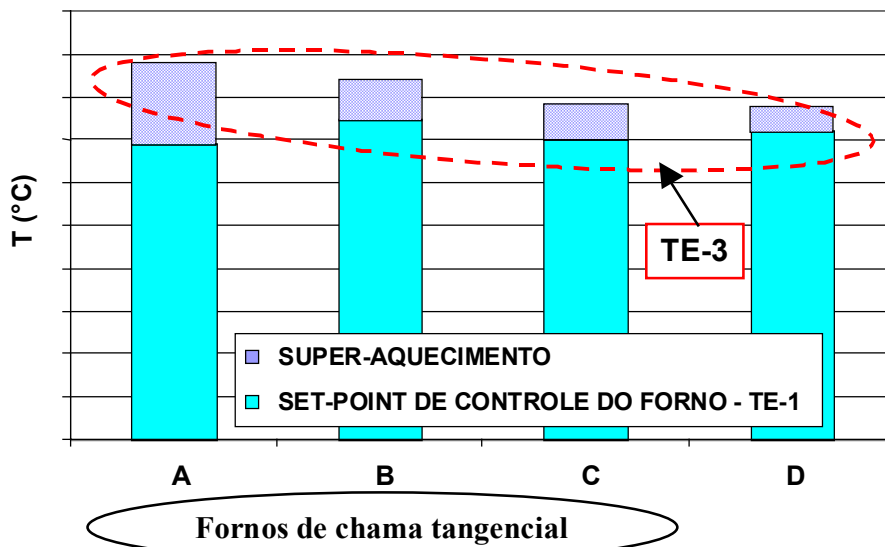


Figura 6 – Superaquecimento médio por tipo de forno

O resultado mostra claramente que o superaquecimento é maior nos fornos de chama tangencial do que nos fornos de chama direta, comprovando a hipótese de que defeito casca de laranja estaria associado ao superaquecimento das espiras externas da bobina durante o processo de recozimento provocado por estes fornos. De fato, os fornos dos fabricantes **A**, **B** e **C** de chama tangencial foram responsáveis por 90% dos casos de casca de laranja ocorridos no Rec. 2 no período de 2004~2006. Em conjunto, estes fornos produziram, entretanto, apenas 27% do total

de material EEP-cc e /IF no mesmo período, mostrando claramente a influência do tipo de forno no aparecimento do defeito.

A explicação mais viável para os fornos de chama tangencial apresentarem maior superaquecimento comparado aos demais tipos de fornos e, conseqüentemente, apresentarem maior n.º de ocorrências de casca de laranja do que os fornos de chama direta do fabricante **D** parece ser a distância entre a linha de fogo dos queimadores e o termopar de controle TE-1, muito maior nos fornos de chama tangencial do que nos fornos de chama direta frontal (figura 6). O TE-1 mede a temperatura do gás de proteção HN e serve para controlar a temperatura do forno de recozimento até a temperatura de controle estabelecida para o TE-2 (temperatura de encharque da carga) ser atingida. Como o TE-1 está posicionado abaixo da linha de fogo dos queimadores, o gás HN, que circula em sentido anti-horário na base, ao passar pelo TE-1 está frio e mais tempo é necessário para que o set-point do forno seja atingido. Na prática, isto significa que as válvulas de ar e de gás combustível do forno permanecerão 100% abertas por mais tempo, provocando o superaquecimento das espiras externas da bobina na região frontal aos queimadores do forno. Quanto maior é a distância entre os queimadores e o TE-1 maior é este efeito. Os fornos dos fabricantes A, B e C são os que efetivamente apresentam, de projeto, maior distância entre a linha de fogo dos queimadores e o TE-1.

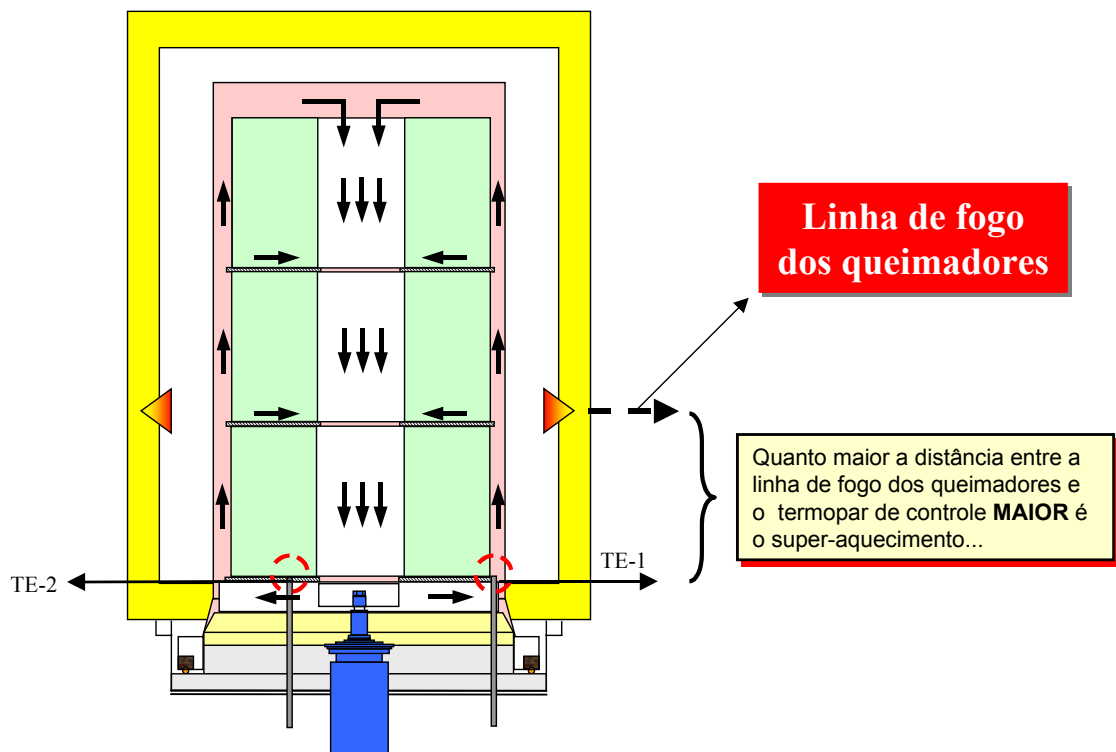


Figura 6 – Influência da distância dos queimadores até o TE-1 no superaquecimento

Algumas medições foram realizadas ajustando-se a temperatura de controle do TE-1 em temperatura mais baixa, visando compensar, ao menos parcialmente, o superaquecimento observado. A redução da temperatura de controle do TE-1, porém, não só não eliminou o superaquecimento da parte externa da bobina, como também provocou um atraso considerável do processo, já que o tempo necessário para o TE-2 atingir a temperatura de encharque aumentou consideravelmente (redução de produtividade da ordem de 32%). A redução possível da temperatura do

TE-1 é limitada, na prática, pelo valor da temperatura de controle do TE-2, pois na medida em que a temperatura de controle ajustada para TE-1 se aproxima da temperatura de controle do TE-2 estipulado pelo padrão de operação maiores são as perdas observadas de produtividade, inviabilizando a aplicação deste tipo de procedimento.

Foram realizados também alguns levantamentos de temperatura utilizando a temperatura medida pelo TE-3 para controlar o forno. Neste caso, a temperatura de controle do TE-3 foi ajustada em 700°C e 720°C. A temperatura do ponto quente não ultrapassou o valor desejado, mas, em contrapartida, também neste caso foi observada uma redução significativa da produtividade dos fornos da ordem de 28%.

Em função dos resultados obtidos no levantamento realizado, o forno do fabricante **A** foi impedido de processar material IF. Numa das experiências realizadas com este tipo de forno a temperatura da região externa da bobina medida com o TE-3 atingiu temperatura superior à 900°C.

Em função dos resultados obtidos o forno do fabricante **A** foi impedido de processar material IF. O set-point de controle do TE-1 que era inicialmente ajustado em 750°C para todos os tipos de fornos e em todos os ciclos de recozimento foi reduzido para 700°C para os ciclos de recozimento do material IF. Posteriormente, todos os fornos de chama tangencial foram bloqueados para processamento de material IF, tendo em vista que mesmo com a redução da temperatura de controle do TE-1 alguns casos de casca de laranja ainda foram detectados nos materiais processados com estes fornos.

Estudos adicionais permitiram reduzir a duração do ciclo de recozimento dos materiais IF. O tempo programado de encharque foi reduzido em sete horas sem provocar degradação das propriedades mecânicas do produto. A redução do tempo de encharque compensou a perda de produtividade verificada decorrente do abaixamento da temperatura de controle do TE-1.

4 CONCLUSÕES

A redução do teor de C dos aços IF combinado ao efeito do superaquecimento das espiras externas da bobina durante o processo de recozimento parece ser a causa do aumento observado do nº de ocorrências de “casca de laranja” nos aços IF da Cosipa a partir de 2004.

As ações de bloqueio dos fornos mais críticos, de redução do tempo programado de encharque do ciclo de recozimento dos materiais IF e de redução da temperatura de controle do TE-1 permitiram adequar o processo de recozimento em caixa aos novos níveis de teor de carbono dos aços IF da COSIPA, reduzindo as ocorrências do defeito “casca de laranja”, sem provocar nenhuma degradação de suas propriedades mecânicas e minimizando as perdas de produtividade da instalação.

REFERÊNCIAS

- 1 BROPHY, J. H.; ROSE, R. M.; WULF, J.; Ciência dos Materiais 2; Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA, Rio de Janeiro, 1972, cap. 7.4, p.103
- 2 CARVALHO, G. F.; DE SÁ, G. M.; SCUDELLER, L. A. M.; Melhoria da eficiência térmica dos fornos de recozimento em caixa da Usiminas; 38º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos da ABM; anais; p. 288-289 - 24 a 26 de outubro de 2001.