

# Defeitos de Revestimentos Cerâmicos como uma Conseqüência de Regulagem Errada do Forno\*

## *Técnicos do Centro Experimental da SACMI-IMOLA*

**Resumo:** Com base na vasta experiência acumulada através dos anos os Técnicos do Centro Experimental da SACMI-IMOLA analisam uma série de defeitos comuns aos revestimentos cerâmicos e sugerem procedimentos práticos para solucioná-los.

**Palavras-chaves:** *revestimentos cerâmicos, queima, defeitos de queima*

### Introdução

Quase todos os defeitos aparecem após da queima, porém somente uma parte deles depende exclusivamente desta etapa do ciclo produtivo. Geralmente é muito difícil se classificar os defeitos de acordo com a sua origem pois, quase sempre, eles são causados por uma série de fatores. Por isso neste trabalho não se fará uma classificação rígida dos defeitos e ao invés disso serão abordados os principais defeitos de queima e se procurará correlacioná-los com as demais etapas do processo produtivo.

### Defeitos do Pré-Aquecimento

Os problemas a enfrentar nesta parte da curva de queima são essencialmente:

- a) trincas de pré-aquecimento,
- b) coração negro,
- c) decomposição dos carbonatos e
- d) defeitos geométricos

#### *a) Trincas de Pré-Aquecimento*

Caracterizadas por fraturas irregulares que começam nas bordas e se dirigem para o centro da peça, com uma tendência do esmalte a penetrar no seu interior. As trincas de pré-aquecimento se confundem facilmente com as trincas de secagem ou de choques no transporte; para diferenciá-las pode-se fazer uso das seguintes peculiaridades:

- 1- comprimento: geralmente 30-40 mm.
- 2- formato da trinca: menores que as trincas produzidas por choques mecânicos e portanto apresentam uma penetração do esmalte menos pronunciada.
- 3- número de trincas por peça: sempre mais de uma e nunca próximas aos cantos.
- 4- localização em relação ao forno: predominantemente nos lados voltados para as laterais do forno e nas peças situadas nas fileiras próximas às paredes. Somente em condições de temperatura muito desfavoráveis se observa

trincas nos lados voltados para o centro do forno e em peças situadas nas posições centrais.

As trincas de pré-aquecimento são provocadas por um aumento muito rápido da temperatura no início do pré-aquecimento. O aquecimento nessa etapa é produzido pelos primeiros queimadores situados abaixo do plano dos rolos. Portanto, o que se deve fazer é abaixar a temperatura e a regulagem para diminuir a quantidade de calor produzido pela chama.

As trincas de pré-aquecimento são um defeito bastante incomum em indústrias que tenham ciclos de queima relativamente lentos e nas quais as peças não sejam muito espessas.

Foram encontradas trincas de pré-aquecimento em fornos com regulagens extremas que procuravam eliminar o “coração negro”.

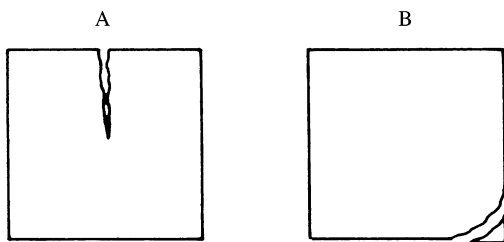
A queima do esmalte, no caso de biqueima, é feita em ciclos rápidos (40-35 min) e com biscoitos de espessura elevada, nos quais as trincas de pré-aquecimento são mais frequentes, que em monoqueima, e normalmente apresentam a ruptura dos cantos, seguindo uma linha curva. Essas rupturas, assim como as rupturas provocadas por defeitos já presentes nos biscoitos, podem prejudicar o avanço das peças no forno formando inclusive “barracas” assim como criar problemas na saída do forno, na máquina de descarga. É conveniente portanto, deixá-los cair sobre a soleira do forno através de um ou mais espaçadores produzidos pela retirada de um ou dois rolos não consecutivos, que estejam nas regiões em que as peças possam cair sobre a soleira para a sua limpeza.

Na Fig. 1 se vê as trincas características de pré-aquecimento.

#### *b) “Coração Negro”*

No caso de uma combustão incompleta dos resíduos orgânicos contidos na massa, surge na secção transversal do produto queimado sinais de “coração negro” com inten-

\* Parte do livro “Tecnologia da Fabricação de Azulejos” escrito pelos Técnicos do Centro Experimental da SACMI-IMOLA que autorizou a versão para a língua portuguesa pelo Dr. Anselmo O. Boschi e publicação na Revista *Cerâmica Industrial*.



**Figura 1.** Peças com trincas de pré-aquecimento.

sidades e formas diferentes, conforme o grau de contaminação da massa, de sua tipologia e das variáveis do processo produtivo que influenciam a permeabilidade da peça. Nas massas brancas o “coração negro” se apresenta entre o amarelo-verde-cinza e nas vermelhas entre o amarelo-cinza-preto.

A origem do “coração negro” está associada à presença de compostos que contém carbono, e são formadas como uma consequência da escassez de oxigênio que impede a completa oxidação da matéria orgânica e dos compostos de carbono assim como de fenômenos que levem à redução do óxido de ferro.

Se o “coração negro” é intenso pode levar a deformações dimensionais e o comprometimento da planaridade do produto queimado, ao surgimento de bolhas no esmalte e regiões com variações de tonalidade, chegando mesmo a provocar o inchamento com o aparecimento de cavidades lenticulares (na forma de pequenas lentes) na espessura da peça.

Contribuem para o aparecimento do “coração negro” os parâmetros que levam à redução da permeabilidade da peça, tais como a umidade e granulometria fina da massa, a elevada pressão específica de conformação, elevada espessura da peça, baixo ponto de fusão do esmalte e da massa.

Para a eliminação do problema é fundamental que as peças permaneçam por um período suficientemente longo entre 600-650 °C, onde tem início a combustão do material orgânico, e entre 800-850 °C, onde, principalmente nas massas vermelhas, o esmalte está em um estado avançado de fusão e a massa já está parcialmente gresificada e portanto dificulta a saída dos gases provenientes do suporte.

Para eliminar o “coração negro” também é conveniente que se regule o forno de modo a produzir uma forte depressão em toda a zona de pré-aquecimento com ambiente bem ventilado e oxigenado.

A otimização da curva de queima na região de pré-aquecimento, tendo por objetivo a minimização do ciclo de queima, consiste em uma rápida elevação da temperatura útil logo no início da queima (logicamente tomando os devidos cuidados para evitar o aparecimento de defeitos como as trincas de pré-aquecimento, comportamento

anômalo de determinados esmaltes, etc.) através dos queimadores mais próximos à entrada do forno e a manutenção de uma temperatura útil para uma fração do ciclo de queima o mais ampla possível. Isto deve ser feito de modo a se evitar o aparecimento de problemas como a decomposição tardia dos carbonatos, insuficiência de condições para o ajuste adequado das demais regiões da curva de queima para a obtenção das características técnicas requeridas do produto queimado, sobrecarga de trabalho nos primeiros queimadores de queima, etc.

As vezes é possível se injetar ar imediatamente antes da zona de queima para refrigerar os gases quentes provenientes da mesma e, ao mesmo tempo, oxigenar a atmosfera. Aonde isso é possível, é interessante utilizar-se painéis introduzidos no teto do forno para criar uma divisão mais nítida entre o final da zona de pré-aquecimento e pré-queima, quer seja sob o ponto de vista técnico como do regime de pressões no forno.

É facilmente intuitivo que uma regulagem ótima do forno visando solucionar o problema do “coração negro”, é de fato a menos recomendável para a economia de energia. Esse tipo de regulagem leva a um maior volume de gases saindo pela chaminé, uma maior temperatura desses gases, como uma consequência da reduzida troca de calor entre os gases quentes e o material, causado pela brevidade da região do ciclo útil, a velocidade dos gases no pré-aquecimento e pela diminuição da temperatura dos gases provenientes da queima provocando uma diminuição do rendimento do aquecimento do material sendo queimado.

Formas particulares do “coração negro” evidenciam a participação determinante de determinados parâmetros do ciclo produtivo. Em particular pode-se observar os seguintes aspectos típicos:

Aspecto como na Fig. 2

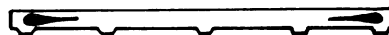
Um problema deste tipo pode ter diferentes origens:

1) Presente somente em um lado da peça.

Indica geralmente um defeito de carregamento da cavidade do molde da prensa. Geralmente esse defeito pode ser identificado na peça crua através da diferença dos valores de penetrometria e massa específica aparente de uma região para outra de uma mesma peça.

2) Presente em todo o perímetro da peça.

Indica geralmente problemas de regulagem da prensa, ou seja, velocidade excessiva do abaixamento da travessa da prensa, que provoca um acúmulo de pó fino na periferia da cavidade do molde ou um intervalo entre a primeira e a



**Figura 2.** Peça com “coração negro”.



Figura 3. Peça com “coração negro”.

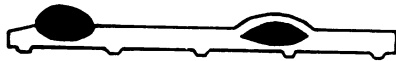


Figura 4. Peça com “coração negro”.

segunda descida da travessa muito curto de tal forma que a grande quantidade de ar que deve ser eliminada rapidamente transporta e concentra em alguma região da superfície da peça o pó mais fino.

Aspecto como na Fig. 3

Um problema deste tipo pode ter as seguintes origens:

- 1) Moagem demasiadamente fina da massa.
- 2) Pressão de conformação demasiadamente elevada.
- 3) Fusão do esmalte a temperatura baixa com perda da permeabilidade da superfície superior do suporte aos gases antes da completa combustão das impurezas. Neste caso, não podendo elevar o ponto de fusão do esmalte, é útil injetar sobre o plano dos rolos ar frio para se manter a temperatura do esmalte baixa e impedir a fusão durante uma região adequada da curva de queima.

Aspecto como na Fig. 4

Neste caso as regiões com “coração negro” estão mais espaçadas indicando impurezas de granulometria grosseira ou a presença de alguns grãos da massa com umidade elevada.

Esse problema não pode ser eliminado através de regulagens especiais do forno. Neste caso é melhor verificar a peneira de controle dos pós ou nas eventuais contaminações provenientes de equipamentos, tais como a presença de carbono proveniente da combustão incompleta do combustível utilizado no atomizador ou vazamento de óleo nas prensas, etc.

### c) Decomposição dos carbonatos

Este problema, fundamental na produção de monoporosas, é também importante quando se utiliza matérias-primas que contenham pequenas porcentagens de carbonatos e no desenvolvimento de uma curva de queima específica para esses materiais.

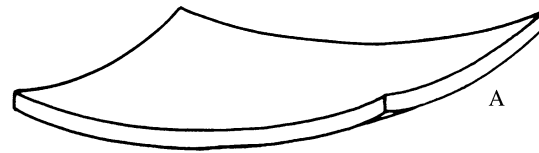


Figura 5. Peças com defeitos geométricos.

### d) Defeitos geométricos

É evidente que uma queima perfeita sob o ponto de vista geométrico, é obtida quando as peças resultam sempre planas em todas as regiões dos forno.

Na região de pré-aquecimento podem surgir problemas geométricos, principalmente de planaridade, quando a velocidade de aquecimento ou a diferença da temperatura abaixo e acima do plano dos rolos, não é adequada para o material sendo queimado.

Na Fig. 5 (A e B), são apresentados dois dos defeitos mais característicos de planaridade que tem origem no pré-aquecimento.

Esse defeito pode ocorrer quando o gradiente térmico (diferença entre as temperaturas nas duas superfícies dividida pela espessura da peça) utilizado na fase de pré-aquecimento é demasiadamente elevado em relação às características do produto sendo queimado. Claramente esta gera tensões na peça de tal ordem que levam a curvatura concava (ver Fig. 5 A) ou convexa (para este caso a Fig. 5 A deve ser invertida).

Quando durante a queima o produto atinge níveis avançados de gresificação suficientes para o aparecimento de defeitos geométricos do tipo apresentado na Fig. 5, enquanto que as superfícies laterais da peça tendem a curvar-se sobre o plano de apoio, determinando de tal forma, o denominado “efeito rolos”. Este efeito pode ser eliminado atuando-se sobre vários parâmetros do ciclo produtivo e geralmente sempre favorecendo a eliminação dos gases nas regiões consideradas, pode-se atuar sobre:

- 1) a composição da massa: reduzindo a perda ao fogo da mesma, por exemplo, aumentando os materiais inertes,
- 2) a finura da massa cerâmica: aumentando o resíduo de moagem.
- 3) a densidade do prensado: reduzindo a umidade do pó e/ou a pressão de prensagem.
- 4) o diferencial térmico: reduzir o gradiente de temperatura na zona de pré-aquecimento em função da deformação das peças nesta zona do forno.

5) a curva de queima: reduzindo o gradiente térmico de aquecimento na zona crítica do material, em resumo modificando a curva existente ou alargando o ciclo total (tempo) de queima.

## Defeitos de Planaridade Produzidos na Zona de Queima

A regulagem do forno tem por finalidade a otimização da planaridade das peças queimadas considerando também as variações dimensionais que a peça sofre quando exposta às temperaturas da curva de queima.

O tardos da superfície não esmaltada e principalmente o esmalte aplicado representam elementos que perturbam a homogeneidade das variações dimensionais ocorridas durante a queima. Em função dessa quebra da homogeneidade raramente se obtém peças planas quando as temperaturas acima e abaixo do plano dos rolos são iguais durante todo o ciclo de queima.

Consideremos uma peça no forno, imaginando-a cortada ao meio na espessura. Analisando separadamente o que ocorre com cada uma das partes, superior e inferior, pode-se dizer que a parte exposta a temperatura mais elevada sofrerá uma contração maior que a outra parte durante a queima. Dessa forma, quando as duas partes estão juntas formando uma única peça haverá uma tendência a que esta se deforme na direção da parte que isoladamente apresentou maior contração e portanto a peça apresentará uma tendência a se deformar até ficar côncava ou convexa. O nível de deformação da peça dependerá da diferença de temperatura, da diferença de retração da massa quando submetida às duas temperaturas extremas e da espessura da peça (quanto maior a espessura menor a deformação).

Acrescentamos ainda que, principalmente nos ciclos muito rápidos, as trocas de calor entre o ambiente e a peça faz com que a superfície da peça seja aquecida mais rapidamente que o seu interior, dando origem a gradientes de temperatura. Esta situação é ainda mais crítica nas extremidades das peças.

É conveniente considerar os efeitos importantes dos parâmetros cinéticos e dinâmicos (velocidade e volume dos gases) e também os mecânicos (planaridade dos rolos, interações com as paredes, encavalamento das peças) todos eles capazes de afetar a planaridade das peças queimadas.

Essas considerações gerais servem de base para o entendimento das ações recomendadas para a solução dos problemas de planaridade.

Serão analisados a seguir uma série de defeitos de planaridade que são frequentemente encontrados na produção de revestimentos cerâmicos queimados em fornos a rolo.

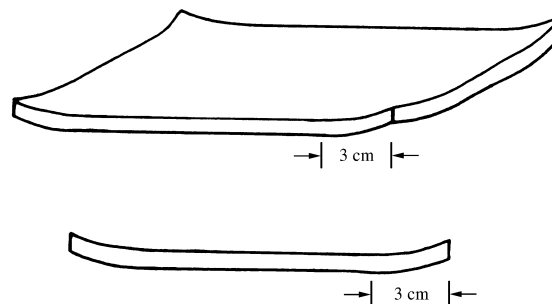


Figura 6. Peça com defeito de planaridade.

Aspecto como na Fig. 6

Todos os cantos desta peça, na região que se situa a aproximadamente 3 cm da extremidade, como mostra a Fig. 6, estão levantados para cima e o resto da superfície está suficientemente plana ou ligeiramente côncava. A distribuição do defeito no interior do forno é uniforme e constante com o tempo. O fenômeno é ligeiramente menos intenso no lado mais externo das peças laterais.

A zona do forno onde este defeito tem sua origem é o final da queima (2-5 min de ciclo) onde a diferença de temperatura entre as partes superior e inferior dos rolos não está corretamente ajustada.

Com base nos calibres médios do material na saída do forno pode-se prever diferentes ações:

- 1) no caso de calibres corretos: diminuir a temperatura na parte alta (5-10 °C ou mais, segundo a resposta da manobra) e aumentar outro tanto na parte baixa.
- 2) no caso de calibres maiores: aumentar 5-10 °C ou mais, a temperatura abaixo dos rolos.
- 3) no caso de calibres menores: diminuir 5-10 °C, ou mais, a temperatura acima dos rolos.

Aspecto como na Fig. 7

Todos os cantos da peça, em uma região de uns 3 cm da extremidade, como mostra a Fig. 7, estão curvados para baixo e o resto da superfície está plana ou com ligeira tendência para convexa. A distribuição do defeito no interior do forno é uniforme e constante com o tempo e o fenômeno é ligeiramente menos intenso nos lados mais externos das peças laterais.

A região do forno responsável por este defeito é o final da queima (2-5 min de ciclo) onde a diferença entre as

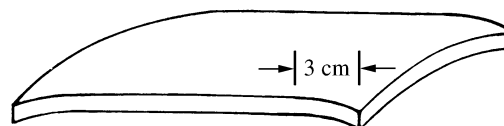


Figura 7. Peça com defeito de planaridade.

temperaturas das partes superior e inferior em relação ao plano dos rolos não está adequadamente ajustada.

Também neste caso, segundo o calibre médio na saída do forno pode-se prever algumas intervenções:

1) no caso de calibres corretos: diminuir a temperatura na parte baixa (5-10 °C, ou mais conforme a resposta à manobra) e aumentar, ao mesmo tempo, a temperatura acima o plano dos rolos.

2) no caso de calibres maiores: aumentar 5-10 °C, ou mais, a temperatura acima do plano dos rolos e eventualmente proceder como no caso 1.

3) no caso de calibres menores: diminuir 5-10 °C, ou mais, a temperatura abaixo do plano dos rolos e eventualmente proceder como no caso 1.

Aspecto como na Fig. 8

Todos os lados da peça estão armonicamente côncavos (nos formatos retangulares a concavidade é maior nos lados maiores do que não menores).

A distribuição do defeito no interior do forno é uniforme e constante com o tempo. O fenômeno, de um modo geral, é ligeiramente menos intenso nos lados mais externos das peças laterais.

A zona do forno responsável por este defeito é toda a zona de queima, especialmente a zona central e final onde a diferença entre as temperaturas das partes superior e inferior ao plano dos rolos não está adequadamente ajustada.

Como anteriormente, é importante que se verifique o calibre médio do material na saída do forno para se estabelecer as intervenções a serem realizadas:

1) no caso de calibres corretos: diminuir a temperatura acima do plano dos rolos (5-10 °C, ou mais conforme a resposta a manobra) e aumentar ao mesmo tempo a temperatura abaixo do plano dos rolos.

2) no caso de calibres maiores: aumentar a temperatura abaixo do plano dos rolos (5-10 °C, ou mais conforme a resposta a manobra) e eventualmente atuar como no caso 1.

3) no caso de calibres menores: diminuir a temperatura acima do plano dos rolos (5-10 °C, ou mais, conforme a resposta a manobra) e eventualmente atuar como no caso 1.

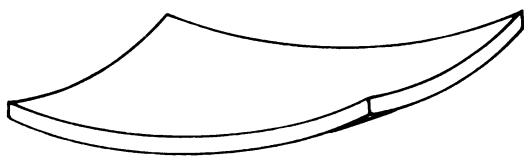


Figura 8. Peça com defeito de planaridade.

Também pode ajudar na solução do problema um ajuste do resfriamento rápido, 1-2 min do ciclo, com a injeção de ar sobre o plano dos rolos orientando o fluxo para que o mesmo não incida diretamente sobre a parte inferior das peças. A eficiência de tal regulagem é tanto maior quanto menor o espaço vazio entre as peças nesta região do forno. Este tipo de deformações é uma consequência da falta de acordo entre as dilatações térmicas do suporte e esmalte.

Aspecto como na Fig. 9

Os lados paralelos ao eixo do forno apresentam uma curvatura para cima a cerca de 7-8 cm das extremidades das peças, como mostra a Fig. 9, nas partes dianteira e traseira das peças. A distribuição do defeito no interior do forno é uniforme e constante com o tempo. O fenômeno, de um modo geral, é ligeiramente menos intenso nos lados mais externos das peças laterais e nas primeiras peças que sucedem a um intervalo na alimentação do forno. Os lados paralelos aos rolos não apresentam defeitos significativos.

A região do forno responsável por este defeito é a primeira parte da queima (entre os 850-900 °C e uns 50-100 °C abaixo da temperatura máxima) onde a diferença de temperatura entre as partes superior e a inferior do plano dos rolos não está adequadamente ajustada.

É conveniente aumentar a temperatura acima do plano dos rolos e diminuir a temperatura abaixo dos mesmos, fazendo com que as peças tenham nesta zona uma ligeira tendência a serem côncavas, nunca com tendência a serem convexas, por que assim, durante o avanço sobre os rolos elas estão livres para bascular sobre um centro côncavo, e não são obrigadas a se apoiarem sobre as pontas. É o fato de se apoiarem sobre as pontas que

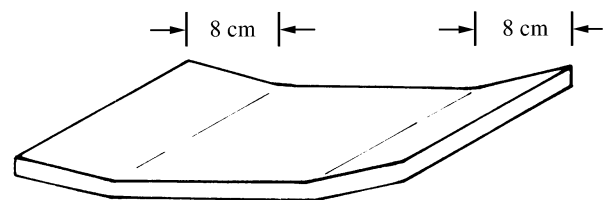


Figura 9. Peça com defeito de planaridade.

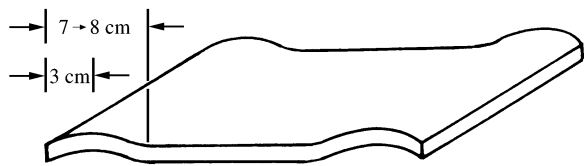
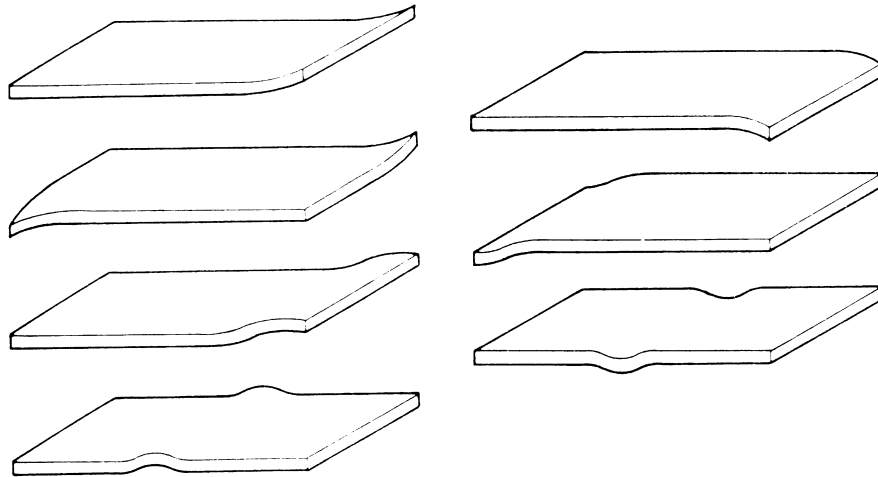


Figura 10. Peça com defeito de planaridade.



**Figura 11.** Peças com defeito de planaridade.

provoca a deformação mecanicamente das peças na fase do resfriamento.

Aspecto como na Fig. 10

Os lados paralelos ao eixo do forno apresentam uma primeira curvatura para cima a aproximadamente 7-8 cm das extremidades dianteira e traseira e uma outra curvatura a cerca de 3 cm das extremidades, como mostra a Fig. 10. A distribuição do defeito no interior do forno é uniforme e constante com o tempo. O fenômeno, de um modo geral, é ligeiramente menos intenso nos lados mais externos das peças laterais. Os lados paralelos aos rolos não apresentam defeitos significativos.

Pode existir mais de uma causa:

1) As peças se empurram entre filas sucessivas na fase de consolidação na zona de resfriamento rápido ou logo depois: neste caso é conveniente atuar sobre a velocidade dos motovariadores de velocidade e distanciar um pouco mais as filas.

2) Pode tratar-se simplesmente de um caso agudo do defeito ilustrado no item B, principalmente se o tempo de permanência na zona de queima for relativamente alto (5-10 min): atuar como indicado no item B. É importante salientar que nem sempre a simples variação das temperaturas do forno são suficientes para explicar o fenômeno, especialmente se os problemas surgem sucessivamente ao recomeçar a produção depois de paradas mais ou menos prolongadas. Se o forno possui um sistema automático de controle da temperatura, é conveniente verificar se as pressões de gás nas diversas baterias de queimadores não estão fora dos valores estabelecidos e muito diferentes entre si e se a última bateria de queimadores, abaixo do plano dos rolos, não está operando com pressões de gás particularmente elevadas.

3) Pode se tratar das combinações das deformações descritas no item B (extremidades voltadas para baixo) e

no item D (lados paralelos ao eixo do forno curvados para cima a partir de 7-8 cm das extremidades). A solução do problema começa operando-se primeiro como descrito no item B e no parágrafo 2 deste item, até que o defeito seja como descrito no item D. A partir desse ponto deve-se proceder como indicado no item D.

Aspecto como na Fig. 11

Deformações irregulares não descritas anteriormente, sempre no lado paralelo ao eixo do forno. A distribuição do defeito no interior do forno não é uniforme nem constante com o tempo ainda que se encontre posições preferenciais e formatos repetidos; a constância ao longo do tempo não é contínua muito embora seja frequente.

O aparecimento destes defeitos está fortemente ligado ao modo de avançar a carga no forno. Ele é muito comum nos casos de arranjo da carga em arco, com as peças externas mais avançadas e com tendência a convergir para o centro; Um outro fator que pode levar ao aparecimento destes tipos de defeitos é a quantidade de sujeira acumulada sobre os rolos. Outro elemento influente é o formato das peças em relação a distância entre os rolos e a espessura.

Sobre a dinâmica da deformação são feitas hipóteses sobre compressões transversais entre as peças, principalmente na região em que as peças pre-deformadas, côncavas e convexas, devem assumir a planaridade correta.

Para a solução do problema colaboram todas as ações adotadas para corrigir a geometria da carga, uma criteriosa manutenção dos rolos e, no que se refere ao ajuste da curva de queima, procurar evitar pre-deformações do material na queima.

De um modo genérico pode-se dizer que a zona do forno crítica para estes problemas está entre o final da queima e o resfriamento rápido.