

AUMENTO DAS PLANTAS CONSTEEL® NO MUNDO: FLEXIBILIDADE PARA A CARGA CONTÍNUA DE GUSA LÍQUIDO E SUCATA NO FORNO ELÉTRICO A ARCO AGORA NA SIDERURGIA BRASILEIRA

Francesco Memoli ¹
Mauro Bianchi Ferri ²
Jorge Villares de Freitas ³

Resumo

Este trabalho descreve as últimas grandes aplicações do Consteel® ao redor do mundo e as perspectivas de utilização dessa reconhecida tecnologia na retomada do crescimento da siderurgia brasileira, com atenção especial à utilização de gusa líquido como parte principal da carga no forno. O processo FEA Consteel® representa a extensão das vantagens do processo de carga e fundição contínuas – típico em FEAs carregados com 100% DRI – para o carregamento de sucata. Isto promove o benefício adicional de um pré-aquecimento da carga “ambientalmente amigável”, que ajuda a reduzir os requisitos de energia do processo. Ainda a possibilidade de injetar oxigênio em 100% do tempo de forno ligado faz do processo Consteel® a melhor opção para extrair o máximo de vantagens da carga de gusa líquido em um FEA. São descritos também detalhes do processo e peculiaridades tecnológicas desse tipo particular de operação.

Palavras-chave: Carga contínua; Sucata; Gusa líquido; Meio ambiente.

INCREASE OF CONSTEEL® PROJECTS IN THE WORLD: FLEXIBILITY FOR HOT METAL & SCRAP CONTINUOUS CHARGING IN EAF NOW IN THE BRAZILIAN INDUSTRY

Abstract

This paper describes the latest big Consteel® applications around the world and the perspectives of utilization of this recognized technology on the recovery of the growth of the Brazilian Steel Industry, with particular attention to the utilization of hot metal as main part of the charging mix. The Consteel® EAF process represents the extension of the advantages of continuous charge feeding and melting process – typical of EAFs charged with 100% DRI – to the charging of scrap. This with the additional benefit of an “environmentally friendly” preheating of the charge help the reducing energy requirements of the process. Moreover the possibility of injecting oxygen for 100% of the power-on time makes the Consteel® process the best option for taking most of the advantages coming from hot metal charging in an EAF. Process details and technological peculiarities of this particular type of operation are described.

Key words: Continuous charge; Scrap; Hot metal; Environmental.

I INTRODUÇÃO

Até hoje, mais de trinta instalações Consteel® foram contratadas em quinze países diferentes. Os novos impulsos por trás desse sucesso extraordinário incluem os aspectos ambientais do sistema, a incrível flexibilidade no tipo de carga usada no Consteel® – de 100% de sucata até 85% de gusa líquido – e o aumento diferencial de produtividade do Forno Elétrico a Arco (FEA) quando carregado continuamente.

Atualmente, todas as unidades Consteel® do mundo estão em operação, em comissionamento ou em fase de construção, inclusive a primeira que partiu em 1989. Nenhuma outra tecnologia inovadora de fusão pode apresentar o mesmo histórico.

A tecnologia básica Consteel® tem sido bem documentada^(1,2) e uma instalação típica é mostrada na Figura 1.

¹Vice Presidente, Divisão Metal Making Tenova Core, 100 Corporate Center Drive, 15108-3185 Coraopolis, PA, USA. E-mail: fmemoli@corefurnace.com.

²Gerente de Marketing e Vendas, Tenova Metal Making. Via Monte Rosa, 93, 20149 Milan, Italy. E-mail: mauro.bianchiferri@it.tenovagroup.com.

³FHE Freitas & Heer Engenharia. R. Afonso Braz, 692 cj. 22, 04511-001 São Paulo, SP, Brasil. E-mail: jvfreitas@fhe.com.br.

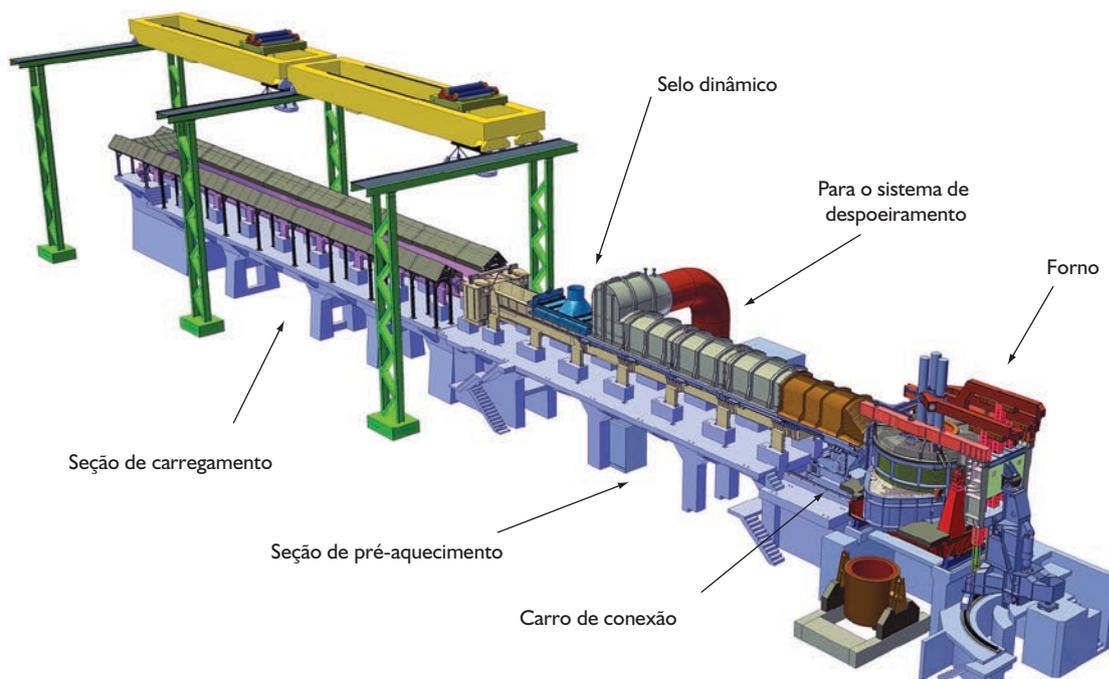


Figura 1. Layout típico de um Sistema Consteel®.

Comparando fornos convencionais de carga pelo topo e fornos Consteel®, a principal diferença é a logística no método de carregamento, ou o gerenciamento do fluxo de sucata do pátio até o forno elétrico.

O tamanho do pátio de sucata depende da taxa de alimentação de sucata e da autonomia desejadas.

O manuseio de matérias primas é normalmente executado por pontes rolantes, em número suficiente para se ter uma margem de segurança contra falhas. Em fornos convencionais de carga pelo topo, o número de pontes rolantes depende do número de cestões que precisam ser preparados em um dado tempo, considerando o tamanho da corrida do forno, a massa específica da sucata e o tamanho dos cestões.

O sistema Consteel® adota uma organização diferente do pátio de sucata, normalmente estocando o material lateralmente à seção de carga do transportador. A capacidade e o número de pontes de carregamento dependem da taxa máxima de alimentação de sucata requerida pelo forno.

O sistema Consteel® é composto basicamente de duas seções: uma de carregamento e outra de pré-aquecimento.

A ponte de carregamento transfere a sucata das pilhas ou diretamente de vagões ferroviários para a seção de carregamento do transportador. Um movimento de arraste e escorregamento permite que o material se mova em direção ao forno.

Uma barra de contenção é instalada antes da seção de pré-aquecimento para garantir que a altura da camada de sucata no transportador não exceda um valor específico.

A carga de sucata nivelada é transportada uniformemente através da seção de pré-aquecimento, onde é pré-aquecida pelos gases de exaustão do forno.

Um transportador de conexão curto e retrátil, chamado “carro de conexão”, transfere a sucata pré-aquecida para o banho no forno.

Um selo dinâmico é utilizado para reduzir ao mínimo o volume de ar admitido na seção de transição do pré-aquecedor.

O peso de corrida dos fornos Consteel® varia de 35 t a 300 t.

2 ALGUNS PROJETOS CONSTEEL® RECENTES

A Tabela I lista as instalações Consteel no mundo. Alguns projetos recentes são apresentados em seguida.

2.1 América do Sul

A Tenova foi escolhida pela VSB Vallourec & Sumitomo Tubos do Brasil Ltda. para fornecer uma planta inteiramente nova no Brasil, compreendendo um Consteel®, um FEA de 140 t e um Sistema de Despoejamento. A unidade está em construção no município de Jeceaba, MG, região de algumas das mais ricas reservas de minério de ferro do mundo. O início da produção está previsto para 2010.

O forno pode ser carregado com até 80% de gusa sólido e líquido, incluindo mais de 50% de gusa líquido. Essa combinação garantirá alta produtividade e custos reduzidos, enquanto a tecnologia Consteel® reduzirá o impacto ambiental.

Tabela I. Projetos Consteel no mundo

| | Planta | Local | Capacidade |
|----|--|---------------------------------|------------|
| 1 | *Amet JSC | Asha, Rússia | 120 t |
| 2 | *Cape Gate Vanderbijlpark | Gauteng, África do Sul | 70 t |
| 3 | *Commercial Metals Co. CMC | Mesa, AZ, EUA | 35 t |
| 4 | *Dong Bu Steel EAF1 | Asan Bay, Coreia do Sul | 160 t |
| 5 | *Dong Bu Steel EAF2 | Asan Bay, Coreia do Sul | 160 t |
| 6 | *Estructurales Corsa G.G. | Tlalnepantla, México | 120 t |
| 7 | *HTPM | Hainphong City, Vietnã | 75 t |
| 8 | *Tokyo Steel Manufacturing Co. | Kurashiki, Japão | 300 t |
| 9 | *Vallourec Sumitomo Tubos do Brasil Ltda | Jeceaba, Brasil | 140 t |
| 10 | *Viet Italy Steel | Hanoi, Vietnã | 60 t |
| 11 | Angang H.M.M. | Anshan Liaoning Province, China | 75 t |
| 12 | Celsa Nordic | Mo I Rana, Noruega | 90 t |
| 13 | Acciaieria Arvedi S.p.A. | Cremona, Itália | 250 t |
| 14 | Sovel S.A. | Plant-Almyros, Magnisia, Grécia | 130 t |
| 15 | T.S.W. Trier Stahlwerk GmbH | Trier, Alemanha | 60 t |
| 16 | Thep Viet | Ho Chi Minh City, Vietnã | 60 t |
| 17 | Jiaxin Dongfang I&S Co. | Zhejiang Province, China | 75 t |
| 18 | Ningxia Hengli Co. Ltd. Group | Hengli, China | 75 t |
| 19 | Sonasis | Casablanca, Marrocos | 120 t |
| 20 | Wheeling-Pittsburgh Steel Corp. | Steubenville, OH, EUA | 250 t |
| 21 | Tonghua Iron & Steel Group | China | 65 t |
| 22 | E'Cheng Iron & Steel Co. | Hubei Province, China | 60 t |
| 23 | Shiheng Special Steel | Shandong Province, China | 65 t |
| 24 | Wuxi Iron & Steel Co. | Jiangsu Province, China | 70 t |
| 25 | Shaoguan Iron & Steel | Guangdong Province, China | 100 t |
| 26 | Gerdau Ameristeel | Knoxville, TN, EUA | 60 t |
| 27 | Nucor Corp. | Hertford, NC, EUA | 150 t |
| 28 | Xining Special Steel | Xining, China | 60 t |
| 29 | Guiyang Steel Special Co. Ltd. | Guiyang, China | 60 t |
| 30 | ORI Martin S.p.A. | Brescia, Itália | 82 t |
| 31 | Nakornthai Strip Mill Ltd. | Chonburi, Tailândia | 180 t |
| 32 | Gerdau Ameristeel | Sayreville, NJ, EUA | 80 t |
| 33 | Nucor Corp. | Darlington, SC, EUA | 100 t |
| 34 | Kyoei Steel Ltd. | Nagoya, Japão | 110 t |
| 35 | Gerdau Ameristeel | Charlotte, NC, EUA | 41 t |

*Atualmente em fase de projeto, montagem ou comissionamento.

2.2 Ásia

A Tenova foi contratada para instalar cinco novas plantas na Ásia, incluindo a maior capacidade instalada, 360 t/h, para a Tokyo Steel em Kurashiki, Japão. A instalação, com comissionamento previsto para meados de 2010, terá um peso vazado nominal de 300 t e uma capacidade total de 420 t.

Duas unidades estão sendo fornecidas para a planta de Asan Bay da coreana Dong Bu Steel Co. A capacidade total das duas unidades será superior a 400 t/h. A previsão de início de operação é em 2009.

Um exemplo de um projeto de modernização na China está na fábrica da Anshan Heavy Machine Manufacturing Co., uma companhia do Grupo Anben baseada em Anshan. O Consteel® de Anshan é único, pois será integrado em um FEA com pesos de corrida variando entre 60 t e 120 t. O FEA alimenta um lingotamento contínuo que produz blocos de tamanhos médios a grandes.

No Vietnã, os últimos pedidos são de duas companhias, cada uma produzindo 400.000 t/ano de tarugos; em uma delas, a planta da Thép Viêt Co., localizada perto da cidade de Ho Chi Minh, a Tenova comissionou uma aciaria completa baseada em um Consteel® de 60 t, um forno panela e uma máquina de lingotamento contínuo.

2.3 Europa

Alguns dos sistemas Consteel® contratados recentemente estão localizados na Europa, como o da Arvedi em Cremona, Itália. Essa é a maior unidade da Europa, com um FEA de 250 t e 8,5 m de diâmetro, projetado para alimentar a nova linha de produção sem fim (*ESP Endless Steel Production*). Este sistema integrado está projetado para até 360 t/h (máx. 430 t/h), com alimentação de sucata e gusa sólido através de um sistema de 110 m incluindo dois transportadores de carregamento e uma seção de pré-aquecimento. O transformador é de mais de 200 MVA.

No final de 2007, dois sistemas Consteel® começaram a operar, um na Trierer Stahlwerk GmbH (TSW), na Alemanha, e outro na Sovel Hellenic Steel Processing Company S.A., na Grécia. Baseado na experiência e no sucesso da aciaria de ORI Martin, em Bréscia, Itália (o

primeiro Consteel® europeu instalado em 1998), a TSW contratou uma aciaria completa, incluindo um FEA Consteel® de 60 t, um forno panela e uma estação de desgaseificação a vácuo para a sua produção de aços especiais. Na Sovel o sistema foi instalado em um FEA de 130 t existente, que havia sido construído em 1999 sem o equipamento de carregamento contínuo de sucata, mas projetado com todas as provisões para sua instalação futura.

Os contratos mais recentes de Consteel® na Europa são os de Celsa Nordic, para sua planta de Mo i Rana, Noruega, e o da companhia russa Amet. Este último é a primeira instalação na antiga CEI, uma região com alguns dos menores custos mundiais de produção.

2.4 África

O último contrato da Tenova, em 2007, foi o da Cape Gate Pty. Ltd. para a aciaria de Davsteel em Vanderbijlpark. Esse é o primeiro Consteel® a ser instalado na África do Sul, em uma área onde se concentra a maior produção de aço sul-africana. O sistema será montado em um FEA Tenova existente e terá a produtividade e melhorias ambientais necessárias para produzir 650.000 t/ano de vergalhões, fios-máquinas e perfis leves.

3 DESEMPENHO AMBIENTAL

Na conferência de Fornos Elétricos a Arco da ISS, em Pittsburgh, EUA, em novembro de 1999, a razão da construção de novos fornos incorporando tecnologias de pré-aquecimento de sucata estava prevista para aumentar de 10% a 30% na década seguinte. Os grandes motivadores por trás desse desenvolvimento esperado eram conservação de energia, tempos de ciclos mais curtos e redução de custos operacionais. As tecnologias consideradas para eventualmente dominar o mercado de pré-aquecimento de sucata eram o pré-aquecimento de *shaft* (cuba), com 50% das instalações, e o pré-aquecimento de *twin shell* (carcaça dupla), com 37%. Somente 5% eram esperados para o Consteel®. O tempo provou que essa previsão foi imprecisa, pois a tecnologia de forno *shaft* foi abandonada. Embora esse forno tenha adquirido uma posição dominante, ele sofreu pela má imagem do desempenho ambiental, que só poderia ser corrigido por medidas caras de redução e por restrições nos tipos de sucata carregada.⁽³⁾ Em um estudo da Divisão de Proteção ao Clima – Departamento de Ar e Radiação – da Agência de Proteção Ambiental americana (EPA), sobre ganhos de energia primária comparando o forno *shaft* com o Consteel®, foram calculados ganhos de 0,63 GJ/t, para o forno *shaft*, e 0,66 GJ/t, para o Consteel®.⁽⁴⁾ Embora em princípio o conceito do forno *shaft* aqueça a sucata a temperaturas mais altas, por razões ambientais a necessidade de tratar os fumos a jusante é cara. Como isso não é necessário no Consteel, sua eficiência global de recuperação de energia é maior.

Desde então a Tenova aprimorou a capacidade de pré-aquecimento. Por exemplo, uma pesquisa demonstrou que os gases de exaustão do FEA passam pelo túnel de pré-aquecimento a uma temperatura regular acima de 900°C e pré-aquecem a carga de sucata até uma temperatura na superfície superior a 600°C, com uma temperatura média na faixa de 300 a 400°C, dependendo do tipo da sucata.⁽⁵⁾ Adicionalmente, o processo Consteel® provou reduzir o pó gerado

no forno pela eliminação do carregamento pelo topo.⁽⁶⁾ Como a carga por cestão não é necessária, o dimensionamento do sistema de exaustão pode ser minimizado, reduzindo o custo associado aos equipamentos de despoeiramento em novas plantas, ou evitando despesas adicionais de tais equipamentos no caso de um aumento de produção em plantas existentes. Como o túnel de pré-aquecimento possui uma seção transversal maior que a de um duto de exaustão normal, a velocidade dos fumos na seção do túnel é muito menor que a velocidade em uma curva do quarto furo de um FEA. Isso significa que as partículas de pó maiores depositam na parte inferior do túnel e são levadas pela sucata de volta ao forno. Desta forma, cerca de 20% a 30% do pó total produzido no FEA é reciclado, resultando em uma considerável redução de custos ambientais. A abóbada do FEA permanece fechada durante todo o tempo para reduzir perdas de energia e corte nas emissões de gases e outros poluentes.

4 ENERGIA ELÉTRICA

O consumo elétrico médio em FEAs é tipicamente 400 kWh/t. Utilizando o processo Consteel®, este número pode cair para aproximadamente 335 kWh/t – 355 kWh/t.⁽⁷⁾ Assim como o efeito do pré-aquecimento, que reduz a demanda de energia, os 30% a 50% de pré-debanho empregados, comparados aos mais usuais 10% a 15% em fornos convencionais, geram uma inércia térmica que ajuda a fusão da sucata, sem a necessidade de queimadores óxi-combustíveis.

Em regiões do mundo em que a energia elétrica é problemática, o Consteel® é particularmente benéfico porque o transformador pode ser um terço menor que o de um FEA convencional. O Consteel® pode produzir até 2,5 t/h de aço líquido a 1.620°C, com 1 MW de potência ativa. Um FEA convencional de 100 t/h exigiria um transformador de cerca de 60 MW, enquanto um forno Consteel® de 100 t/h requer aproximadamente 40 MW. A Figura 2 também mostra um perfil de energia elétrica mais uniforme, reduzindo assim os custos associados com a demanda de carga.

Carregando sucata continuamente, o arco é mais estável e, estando coberto por escória espumosa, reduz consideravelmente os distúrbios elétricos *flicker* (cintilação), harmônicas e ruídos para a rede com um custo de capital mínimo.⁽⁸⁾

O nível de ruído é um item muito importante a resolver, às vezes até mais importante que o *flicker*. Emissões de ruído de um FEA carregado pelo topo e de um FEA de fusão contínua são comparadas na Figura 3 mostrando significativa redução de ruído.

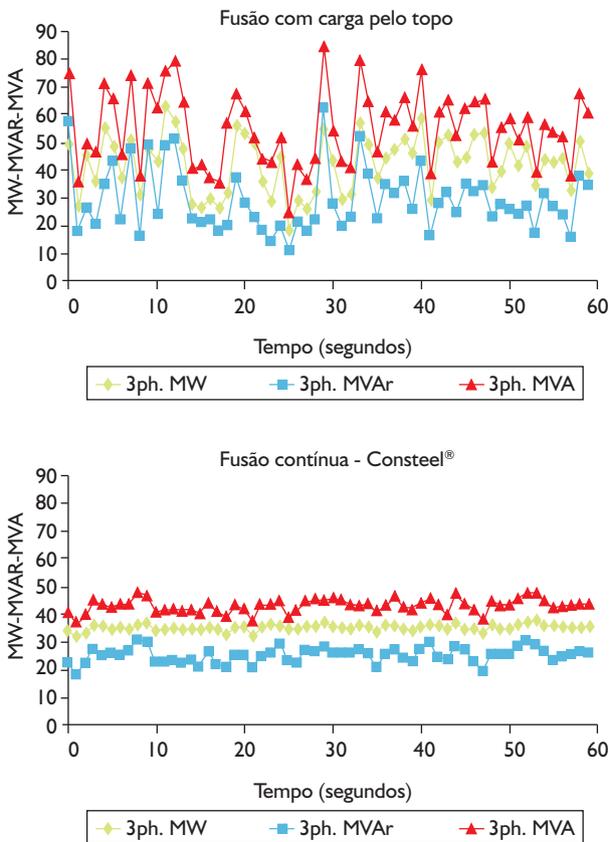


Figura 2. Potência do transformador para carga pelo topo versus Consteel®.

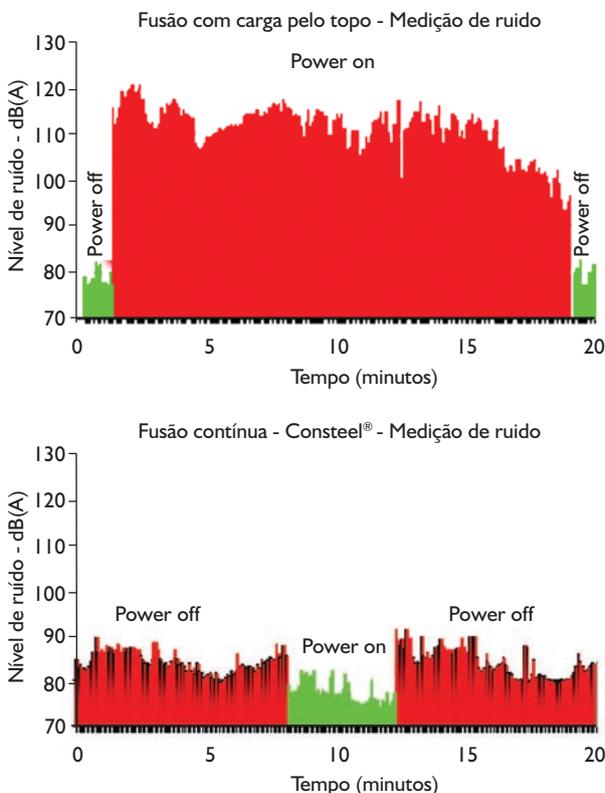


Figura 3. Nível de ruído para carga pelo topo versus Consteel®.

5 CONTROLE DE PROCESSO

As características ambientais do sistema Consteel® têm sido agora aprimoradas com um dos mais inovadores produtos da Tenova, chamado tecnologia Goodfellow EFSOP®, introduzido no Canadá no final dos anos 1990.^(9,10) O EFSOP é um sistema de controle de circuito fechado que analisa continuamente a composição dos gases de exaustão – monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxigênio e hidrogênio – e executa as retroações necessárias no sistema de injeção química. Isso otimiza o uso de energia química no forno, e também detecta possíveis vazamentos de água, proporcionando uma contribuição significativa para operações de fusão mais seguras.

Uma das melhorias do Consteel® acoplado ao EFSOP é a possibilidade de monitoramento do teor de carbono do aço líquido pela medição da composição do gás de exaustão. Dessa forma a descarburização fica totalmente sob controle, otimizando o uso de oxigênio injetado. A possibilidade de utilizar oxigênio adicional de pós-combustão permite otimizar a combustão do monóxido de carbono gerado no banho de aço. A energia liberada é então usada para pré-aquecer a sucata ao longo do túnel de pré-aquecimento, melhorando o efeito de pré-aquecimento do sistema padrão. Como resultado, a quantidade de CO nos gases de exaustão é minimizada.

A planta de ORI Martin tem sido também um lugar importante de desenvolvimento para várias das tecnologias que hoje complementam o sistema básico, tal como o controle automático de velocidade da sucata baseado na medição em tempo real do peso do FEA e assim o cálculo do consumo de energia específica. Essa característica de automação foi implantada com sucesso em ORI Martin, deixando para o operador do FEA apenas a tarefa de supervisão do processo, sem qualquer intervenção manual real durante as fases de fusão e refino. Um detalhe tecnológico adicional que foi acrescentado em ORI é o carregamento contínuo de carbono e cal por correia sobre o carro de conexão transportador, uma solução de projeto inserida hoje em todos os novos sistemas Consteel®.

6 QUALIDADE DA SUCATA

A massa específica e o tipo de sucata são preocupações constantes para usuários de FEAs. Isso foi especialmente importante para aciaristas chineses onde a qualidade, disponibilidade, seleção e preparação da sucata sempre foram críticas. Após a instalação das plantas Consteel®, no entanto, eles logo perceberam que podiam carregar qualquer tipo de sucata desde 100% pesada até 100% cavaco, e desde emaranhados de arame até cascão de distribuidor. Isso resulta em grande flexibilidade operacional quando o suprimento de sucata é variável.

7 CARGA DE GUSA LÍQUIDO

Os primeiros usuários a adicionar gusa líquido em um forno Consteel® foram os chineses. Na operação do Consteel®, é possível substituir a sucata por uma porcentagem relevante de gusa líquido sem aumentar o uso de oxigênio acima dos 30 N.m³/t - 35 N.m³/t de aço produzido. Este é, de fato, o consumo normal aproximado de oxigênio de um forno de alta potência (UHP).

A adição de gusa líquido de forma contínua no banho é equivalente a injetar carbono com a lança: o oxigênio injetado consome o carbono proveniente do gusa líquido na medida em que ele entra no banho. Consequentemente, não há necessidade de tempo extra para a descarburização.

A Figura 4 mostra o consumo de energia calculado com uma carga metálica incluindo gusa líquido em porcentagens variadas e o balanço feito de sucata pré-aquecida.

O gusa líquido fornece calor adicional ao banho tal que, com cerca de 30% de gusa líquido e injeção de oxigênio, o consumo de potência elétrica é reduzido em mais de 80 kWh/t.⁽¹¹⁾ Adicionalmente, quando gusa líquido é carregado, a produção de uma grande quantidade de CO fica disponível no banho, auxiliando a escória espumosa.

Hoje, a carga de gusa líquido tem um papel importante na Shaoguan, cuja instalação está indicada na Figura 5. É a única planta FEA capaz de utilizar regularmente uma taxa de gusa líquido superior a 85% devido a melhorias na injeção de oxigênio.

A boa experiência com o carregamento contínuo de sucata e metal líquido em seis plantas chinesas usando esse procedimento ajudou a definir o processo de fusão da nova aciaria da planta americana de Wheeling-Pittsburgh Mingo Junction. Esse é o primeiro FEA construído nos EUA para substituir um dos altos fornos existentes e suas baterias de coque.⁽¹²⁾ Wheeling-Pittsburgh é uma das maiores unidades Consteel® em operação no mundo e a primeira nos EUA projetada para alimentar contínua e simultaneamente gusa líquido e sucata em um novo FEA. O forno possui uma capacidade nominal de 250 t/h, que pode ser aumentada para 300 t/h quando alimentado com 40% de gusa líquido e 60% de sucata.

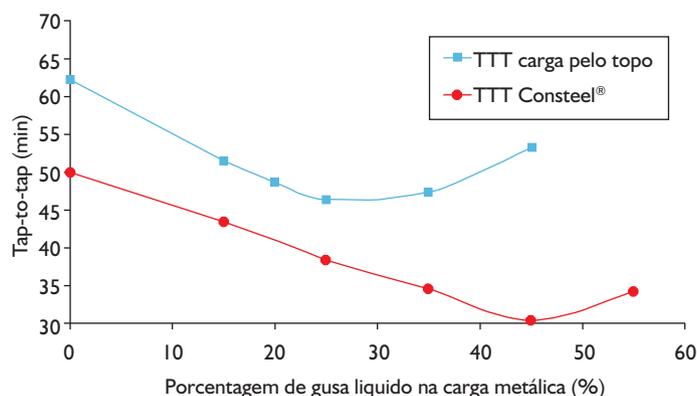


Figura 4. Influência do gusa líquido no tempo entre vazamentos (TTT); condições de vazamento: 0,1%C, 1.630°C.

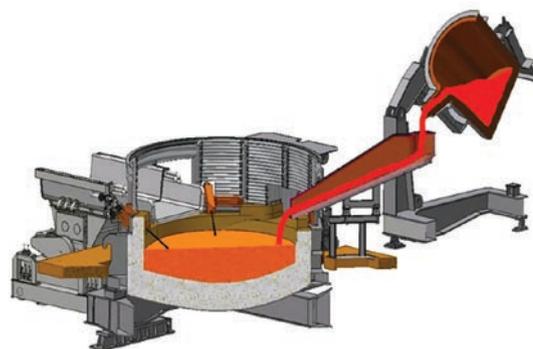


Figura 5. Alimentação de gusa líquido no FEA Consteel®.

8 PERSPECTIVAS DO CONSTEEL® E CARGA DE GUSA LÍQUIDO NO BRASIL

A siderurgia brasileira possui um grande potencial – logo antes da crise mundial em 2008 a produção de aço tinha expectativa de aumento dos então 37 Mt/ano para 52 Mt/ano, em 2012.⁽¹⁴⁾ Recursos naturais e condições locais são favoráveis a um rápido crescimento da produção de aço. Pequenos guseiros também podem agregar valor aos seus produtos instalando novos processos a jusante em suas plantas.

Melhorias no desempenho ambiental são exigidas em todos os novos projetos. A economia de energia é crítica especialmente nas regiões central e norte do Brasil, principais áreas produtoras de gusa. Reduções de flicker e harmônicas também são necessárias em várias redes elétricas ainda deficientes. Níveis de ruído, emissões de gases e outros poluentes estão sendo severamente controlados.

Todos estes aspectos são tratados positivamente pelo Consteel®, junto com tempos de ciclo mais curtos, custos operacionais menores e aumento de produtividade.

Considerando as flutuações no mercado de sucata, a carga contínua de gusa líquido agrega uma importante flexibilidade adicional ao processo Consteel®.

Neste cenário, o forno Consteel® com carga de gusa líquido representa uma importante rota de produção a ser considerada na maioria dos projetos.

9 CONCLUSÕES

O processo FEA Consteel® representa a extensão das vantagens do processo de carga e fundição contínuas – típico em FEAs carregados com 100% DRI – para o carregamento de sucata.

O processo Consteel® apresenta grande estabilidade operacional e flexibilidade no carregamento de sucata e de gusa líquido, economiza energia, minimiza distúrbios na rede elétrica, reduz ruídos e emissões de gases e poluentes, é mais benéfico ao meio ambiente,

Vinte anos após a primeira instalação Consteel aparece o segredo de seu sucesso: simplicidade. Como dizia John Vallomy, o inventor da tecnologia Consteel: “Se você tiver água fervendo em uma panela no fogo, você pode adicionar gelo gradualmente e a água continuará fervendo”. O Consteel é tão simples quanto isso.

REFERÊNCIAS

- 1 FANUTTI, G.; POZZI, M. Environmental control and the Consteel process. *Millennium Steel*, p. 105-10, 2004.
- 2 JEMIN, T.; XUEFENG W.; BIANCHI FERRI, M.; ARGENTA, P. Charging hot metal to the EAF using Consteel. *Millennium Steel*, p. 79-86, 2006.
- 3 BIRAT, J.P. A futures study analysis of the technological evolution of the EAF by 2010: Irsid-Usinor recherché. *La Revue de Métallurgie-CIT*, v. 97, n. 11, p. 1355-63, Nov. 2000.
- 4 WORRELL, E.; MARTIN, N.; PRICE, L. *Energy efficiency and carbon dioxide emissions reduction opportunities in the U.S. iron and steel sector*. Berkeley: Energy Analysis Department, University of California, 1999. p. 9-11, 20-9. (LBNL-41724).
- 5 DE MIRANDA, U.; DI DONATO, A.; VOLPONI, V.; ZANUSSO, U.; ARGENTA, P.; POZZI, M. *Scrap continuous charging to EAF*. Luxembourg: European Commission, 2003. p. 1-41.
- 6 CONSIDINE, T.; JABLONOWSKY, C.; CONSIDINE, D. M. M.; RAO, P. G. *The industrial ecology of steel*. Final Report to Office of Biological and Environmental Research, US Department of Energy, Award No.DE-FGO2-97ER62496. University Park: The Pennsylvania State University, 2001. p. 15-16.
- 7 INTER-LABORATORY WORKING GROUP. *Scenarios for a Clean Energy Future*. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000. (ORNL/CON-476 and LBNL-44029).
- 8 VALLOMY, J. A.; FALLON, C. Continuous Melting in EAF: a way to minimise flicker and harmonics. *Metallurgical Plant and Technology International*, v. 20, n. 4, p. 94-101, Ago. 1997.
- 9 FERRO, L.; PALMA, M.; MAIOLO, J.; MEMOLI, F. EAF Process control. *Millennium Steel*, p. 93-6, 2006.
- 10 POZZI, M.; MAIOLO, J.; MASOERO, D.; SCIPOLO, V.; VENERI, N. *Operating results of Goodfellow EFSOP® at Riva*. Verona, Italy: Millennium Steel, 2008, p. 89-93.
- 11 SANWU, W.; SHOUJUN, Z.; RISHENG, T. Application of hot metal charging for 90t Consteel- EAF at SGIS. In: CONSTEEL® INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2004, Beijing. *Proceedings...* [S.l.]: Metallurgical Industry Press, 2004. p. 39-41.
- 12 BRADLEY, J. G.; PAGE, H. L.; KEATIN, D. E.; BROWN, T.; GUZY, S. D. Wheeling-Pittsburgh steel: Mingo Junction plant: Revitalized with a new continuous steelmaking process. *Iron & Steel Technology*, 2005, v. 2, n. 6, p. 29-45, Jun. 2005.
- 13 FERRI, M.; MEMOLI, F. *EAF Integration into the blast furnace route at Wheeling Pittsburgh*. Millennium Steel, 2007, p. 92-4.
- 14 INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA. *Siderurgia: investimentos e expansão da produção*. Disponível em: <http://www.ibs.org.br/downloads/Folder_Investimento_IBS.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2008.

Recebido em: 19/04/2009

Aceito em: 16/09/2009

Proveniente de: SEMINÁRIO DE ACIARIA – INTERNACIONAL, 39., 2008, Curitiba, PR. São Paulo: ABM, 2008.