# Elementos Residuais nos Aços: Os Malvados Favoritos

**ANTONIO AUGUSTO GORNI**

agorni@iron.com.br
www.gorni.eng.br

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (1981); Mestre em Engenharia Metalúrgica pela Escola Politécnica da USP (1990); Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2001); Especialista em Laminação a Quente. Autor de mais de 200 trabalhos técnicos nas áreas de laminação a quente, desenvolvimento de produtos planos de aço, simulação matemática, tratamento térmico e aciaria.

A adoção de processos siderúrgicos que suprimam ou, ao menos, minimizem as emissões de dióxido de carbono, o vilão-mor do efeito estufa, está na ordem do dia. Uma proposta para se atender a esse objetivo seria renunciar à produção de metal novo e passar a reciclar o aço já existente no planeta usando fornos elétricos a arco, aproveitando a oferta teoricamente farta de sucata. Dessa forma, tudo o que envolve o uso intensivo de carbono – coquerias e altos-fornos – passaria a ser dispensável. Além disso, o investimento necessário para se implantar esses equipamentos é bem menor do que o correspondente à construção de uma usina integrada ou a reativação da produção de aço líquido onde a metalurgia primária se tornou inviável – caso, por exemplo, da antiga Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA.

Mas ainda há dúvidas sobre a viabilidade dessa abordagem. A primeira delas é a questão do suprimento da energia elétrica necessária para o funcionamento do forno elétrico a arco, já que se dispensou o uso de carbono (na verdade, carvão) para essa finalidade. Seria contraditório suprimir emissões de gás carbônico provenientes de coquerias e altos-fornos se a energia elétrica necessária para o forno elétrico vier de uma termelétrica acionada por combustíveis fósseis. Além disso, há usinas que acrescentam materiais carbonáceos ao forno elétrico a arco para suplementar o fornecimento de energia através de sua combustão. Logo, é necessário um estudo cuidadoso para verificar quais são as reais possibilidades de redução de emissões de CO2 através dessa abordagem, bem como sua viabilidade econômica.

Também há a questão da oferta de sucata barata. Os defensores dessa nova rota siderúrgica afirmam que, à medida que as nações forem se desenvolvendo e as populações se estabilizando, a demanda por aço diminuirá significativamente, e a quantidade desse metal já existente no planeta será suficiente para que seja usado de forma circular – ou seja, através de múltiplos ciclos de reciclagem. É um ponto polêmico e que merece mais discussão.

Outro problema a ser considerado é o fato de que o forno elétrico a arco possui possibilidades limitadas para refino do aço líquido. Este, por sua vez, é elaborado a partir da sucata de pós-consumo, que geralmente apresenta algum grau de contaminação. De fato: para simplificar o processo e reduzir os custos da obtenção de sucata, sua preparação nem sempre contribui para a pureza desse insumo. Por exemplo, é praxe converter carros sucatados diretamente em sucata através de seu prensamento na forma de cubos, os quais contém principalmente ferro, mas também seus elementos de liga, plásticos, uma boa quantidade de cobre usada na fiação e equipamentos elétricos do automóvel, bem como outros metais não-ferrosos.

Para piorar as coisas, o cobre é um metal muito mais nobre que o ferro e, portanto, sofre pouca ou nenhuma oxidação durante a elaboração do aço líquido. Como resultado disso, seu teor no aço vai se elevando à medida que a sucata passa por sucessivos ciclos de reciclagem, situação que também ocorre com outras impurezas, como estanho e antimônio. Esse fato cria problemas na laminação ou forjamento a quente dos produtos siderúrgicos. Inicialmente os semi-produtos siderúrgicos são aquecidos em fornos

sem atmosfera protetiva, fazendo com que o ferro presente na superfície se oxide. Mas o cobre se mantém inerte, o que faz com que sua concentração aumente nessa superfície. As temperaturas envolvidas são muito elevadas, bem acima do ponto de fusão do cobre, que fica em torno de 1050°C. Como resultado disso, o cobre segregado na superfície do semi-produto se liquefaz e começa a penetrar pelos contornos de grão do aço, enfraquecendo-os. Isso provoca a formação de trincas superficiais no semi-produto durante sua conformação a quente, as quais degradam o produto final ou podem até mesmo levar ao seu sucateamento.

Há décadas vem sendo feitos estudos para desenvolver processos que permitam a extração do cobre do aço líquido, mas até o momento ainda não há uma abordagem plenamente viável. Uma contramedida relativamente fácil para esse problema consiste na incorporação de igual teor de níquel ao aço contendo cobre mas, obviamente, isso eleva o custo do aço e reduz sua competitividade.

Uma vez dito isso, é necessário levar em conta também que as impurezas nem sempre são prejudiciais ao aço. O uso intencional de cobre, por exemplo, já é consagrado há décadas para o aumento da resistência à corrosão atmosférica em aços estruturais, uma vez que esse elemento aumenta a adesão da ferrugem já formada ao aço, a qual passa a ter efeito protetor contra a ação posterior do oxigênio. O exemplo mais comum desse tipo de aço, denominado patinável, é o CorTen, patenteado há muitas décadas atrás pela U.S. Steel. Nestes casos, os inconvenientes causados por esse elemento durante o processamento a quente do aço podem ser minimizados através da adição de níquel à liga e/ou da adoção de parâmetros específicos do processo. Outra possibilidade é a inclusão no aço de outros elementos de liga que também contribuem esse aumento de resistência à corrosão e não produzem efeitos indesejados, como o cromo, níquel, silício e fósforo, permitindo dessa forma reduzir o teor de cobre, mas sem prejudicar o desempenho do produto e sem afetar seu processo de fabricação. Curiosamente, o antimônio, outra impureza que afeta a ductilidade a quente, também contribui para aumentar a resistência do aço à corrosão atmosférica.

Além disso, o cobre, em teores da ordem de 0,8 e 1,0%, aumenta significativamente a resistência mecânica do aço através de precipitação, abordagem que já vem sendo adotada com sucesso em alguns produtos.

Falando em residuais, acabou de ser citado o fósforo, elemento que prejudica bastante a tenacidade do aço, fato que geralmente obriga à minimização de seu teor. Contudo, em aplicações onde os requisitos de tenacidade não são tão críticos, é possível aproveitar seus efeitos benéficos. Já foi citado anteriormente o aumento da resistência à corrosão atmosférica que o fósforo promove. E, em alguns tipos de chapas finas laminadas a frio, adições de fósforo aumentam significativamente sua resistência mecânica sob custos muito baixos.

Também o enxofre é outro elemento muito mal visto. Sob altas temperaturas, o enxofre se combina com o ferro, formando inclusões líquidas que reduzem a ductilidade a quente do produto e que levam à formação de trincas nas bordas das chapas laminadas a quente. Esse problema é facilmente resolvido mediante a adição de manganês ao aço. Este elemento forma inclusões de alto ponto de fusão com o enxofre que, portanto, já se encontram sólidas no momento da conformação a quente e não comprometem a integridade do laminado. Em compensação, tais inclusões se deformam durante a laminação a quente e se alongam, constituindo pontos concentradores de tensão no produto acabado que reduzem sua tenacidade. A solução para isso é tratar o aço líquido com cálcio, elemento que globuliza essas inclusões e reduz seu efeito deletério sobre a tenacidade.

Mas há casos em que o enxofre é benéfico, como quando se quer facilitar a usinagem dos produtos siderúrgicos. Neste caso, as numerosas inclusões de MnS formadas promovem a quebra fácil dos cavacos, evitando que se formem longos cordões que podem enroscar na máquina-ferramenta.

Há outros exemplos sobre o papel dual das impurezas nas propriedades do aço, mas as restrições de espaço impedem sua descrição aqui. Mas fica a ideia de que a definição de um projeto de liga exige uma visão ampla sobre o efeito metalúrgico e o impacto econômico dos diversos elementos de liga, bem como uma boa dose de pragmatismo.