

INTERAÇÃO ENTRE AS DEMANDAS DAS APLICAÇÕES E AS CARACTERÍSTICAS E ESPECIFICAÇÕES DE CHAPAS GROSSAS ¹

Antonio Augusto Gorni²

José Herbert Dolabela da Silveira³

Resumo

As propriedades mecânicas peculiares do aço explicam sua ascensão ao posto de principal material de engenharia a ser usado nas grandes estruturas do mundo moderno. Contudo, a vertiginosa evolução tecnológica que ele mesmo ajudou a viabilizar levou ao desenvolvimento de novos materiais e processos que logo se revelaram formidáveis competidores ao seu posto. O aumento da competitividade das chapas grossas de aço passa não somente pelo desenvolvimento de produtos propriamente dito, como também pela otimização de todo o ciclo de vida do produto. Ou seja: redução dos custos de fabricação e desenvolvimento de processos de manufatura e projetos de aplicações que tomem pleno proveito de suas características específicas. A excepcional reciclabilidade do aço representa um pano de fundo que assumirá importância crescente no futuro.

Palavras-Chave: Chapas grossas, Metalurgia, Aplicações

¹ Trabalho a ser apresentado ao 60º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais-ABM, Belo Horizonte (MG), 25 a 28 de Julho de 2005.

² Membro da ABM. Engenheiro de Materiais, M. Eng, Dr. Eng., Analista de Processos da Gerência de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: gorni@cosipa.com.br

³ Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista, M.Eng., Gerente de Suporte Técnico da Laminação a Quente, Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: herbert@cosipa.com.br

- Introdução

Os enormes desenvolvimentos na área de ciência e engenharia de materiais ao longo das últimas décadas colocaram em xeque o virtual monopólio que o aço tinha como material de engenharia em inúmeras aplicações. Portanto, é fundamental para a sobrevivência das siderúrgicas que elas se coloquem no lugar de seus clientes, identificando e entendendo seus problemas.

Os custos do processamento no cliente têm de ser reduzidos ao máximo. Para as indústrias de base um aspecto de capital importância é a soldabilidade das chapas, que pode responder por 60% dos custos de fabricação da estrutura [1] – logo, sua resistência mecânica tem de depender cada vez menos de seu carbono equivalente. A minimização da variação de propriedades no produto entre um lote e outro também reduz a frequência de ajuste nos equipamentos de transformação, agilizando a operação do cliente. Chapas com melhor qualidade superficial ou pré-pintadas reduzem o número de etapas de processamento no cliente e os custos a ela associados. Melhores níveis de planicidade permitem o uso de processos de corte que reduzem a largura da zona termicamente afetada das bordas, como os que usam plasma ou laser, aumentando o rendimento metálico. A melhor precisão dimensional também contribui para esse aspecto, além de permitir a redução de peso das estruturas.

A questão da reciclabilidade dos materiais está assumindo importância cada vez maior, especialmente na Europa e Japão. Em 2006 a legislação europeia imporá que 85% dos bens de consumo duráveis sucataados sejam reciclados por seus fabricantes, percentual que se elevará para 95% em 2015. Este é um aspecto bastante favorável para o aço, que é um material totalmente reciclável. O alumínio também pode ser refundido, mas sua sucata dá origem a ligas de segunda qualidade; a reatividade do magnésio é um sério problema para seu reaproveitamento. Já a reciclabilidade dos plásticos em muitos casos é problemática, principalmente quando são reforçados com fibras. Ironicamente, uma das maneiras de viabilizar sua reciclagem depende da boa vontade de seus competidores, pois consiste em triturá-los e injetá-los em altos-fornos, onde podem ser decompostos de forma segura [2].

- Tubos

Diversos tipos de fluidos são transportados em tubos de pequeno e grande diâmetro – água, inclusive potável; efluentes domésticos ou industriais; petróleo e seus derivados; gás natural e GLP; e minérios e carvão, estes geralmente na forma de uma suspensão aquosa. As propriedades requeridas pelos tubos variam muito, dependendo das características específicas da aplicação: diâmetro do tubo, características do fluido a ser transportado (por exemplo, pH e abrasividade), condições de transporte (por exemplo, pressão e temperatura), meio ambiente ao qual o tubo estará exposto, custos de instalação e operação, facilidade de reparo, etc. [3].

As linhas de desenvolvimento para novos produtos nesta área já são bem conhecidas no caso do aço. A busca por menores custos de instalação e reparo requerem o menor peso possível para os tubos. Isso impõe a redução de sua espessura, ou seja, níveis cada vez maiores de resistência mecânica. Mas esse aumento de resistência mecânica tem de ser conseguido com mínimo valor de carbono equivalente, mantendo-

se a alta soldabilidade do material, fator primordial para a redução desses mesmos custos. Também a tenacidade não pode ser afetada, pois os atuais dutos são soldados; uma trinca, uma vez iniciada, pode se propagar facilmente ao longo de grandes extensões, produzindo enormes danos, inclusive ecológicos. A redução dos custos operacionais requer aumento do diâmetro dos tubos e aumento da pressão de operação, fato que requer a maximização da relação diâmetro:espessura, o que também aumenta as solicitações mecânicas decorrentes [3].

A resistência à corrosão é outro aspecto muito importante para o material a ser usado na fabricação dos tubos. Em muitos casos é necessário a aplicação de proteção contra oxidação na superfície exterior, seja através da aplicação de um revestimento ou de proteção catódica. Além disso, as jazidas de petróleo exploradas a partir da década de 1950 apresentam altos teores de H_2S . Este gás forma uma solução aquosa com o CO_2 , o chamado gás azedo (*sour gas*), que é extremamente corrosiva. A ação dessa substância faz com que a superfície interna do tubo trinque mesmo sem estar submetido a tensões externas. Esse é a chamada fragilização induzida por hidrogênio (*HIC*, *Hydrogen Induced Cracking*). Ela pode ser combatida através da purificação prévia ou adição de inibidores ao óleo ou gás a serem transportados, mas estas soluções aumentam o custo operacional do duto. O ideal é usar tubos de aço capaz de suportar tais condições. Entre as medidas necessárias para isso está a redução da presença de sulfetos na microestrutura do material, bem como a globulização das inclusões remanescentes através de técnicas de metalurgia de panela. A redução da segregação central formada durante o lingotamento contínuo das placas é fundamental. Sob esse aspecto a redução dos teores de C, Mn e P da liga são bem-vindas, bem como o uso de solidificação peritética para aproveitar a homogeneização mais rápida que ocorre nessa fase e máquina de lingotamento contínuo dotada de rolos segmentados e curta distância entre os mesmos [4].

No caso de água potável os tubos podem ser feitos de aço, plástico (polietileno, polipropileno, PVC e PVC reforçado) e FoFo nodular; para esgoto e água bruta pode-se incluir também concreto reforçado e cerâmica vitrificada. No caso de produtos mais perigosos, como o petróleo e seus derivados líquidos, o aço e ferro fundido nodular são os mais indicados; para gases, incluindo derivados do petróleo, é recomendado o uso de aço e polietileno [5].

Até trinta anos atrás a laminação a quente de chapas grossas era exclusivamente usada para se dar forma ao material. Os aços usados eram simples, ao C-Mn. Os requisitos de propriedades mecânicas eram atendidos através da adição de elementos de liga e/ou aplicação de tratamento térmico posterior. Por exemplo, chapas grossas para tubos de grande diâmetro conforme a norma API X-56 eram feitas a partir de aço com 0,20% C microligados ao V submetido à normalização após a laminação a quente, conforme mostrado na figura 1 [6]. Os mecanismos de endurecimento atuantes aqui são os proporcionados pelo refino de tamanho de grão e solução sólida.

A crise do petróleo ocorrida entre 1975 e 1985 requereu a exploração de campos localizados em regiões muito frias, na Sibéria e Alasca. Isso elevou as exigências em termos de tenacidade e soldabilidade do material. O transporte de tubos até regiões remotas também exigiu a redução de seu peso para que se pudesse diminuir os investimentos necessários para sua construção, o que significou um aumento em sua resistência mecânica. Essas necessidades levaram ao surgimento de um novo conceito de liga, os aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), microligados ao Nb, Ti e/ou V. Es-

se novo tipo de material apresenta as características mecânicas desejadas já no estado como laminado, desde que seja submetido ao chamado processo de laminação controlada, onde o esboço é laminado em duas etapas: esboçamento a alta temperatura (recristalização plena da austenita entre passes) e acabamento a baixa temperatura (nenhuma recristalização da austenita entre passes), conforme mostrado na figura 2. Geralmente há uma etapa intermediária de espera, onde não há aplicação de deformação na faixa de temperaturas onde a recristalização entre passes da austenita é incipiente [7].

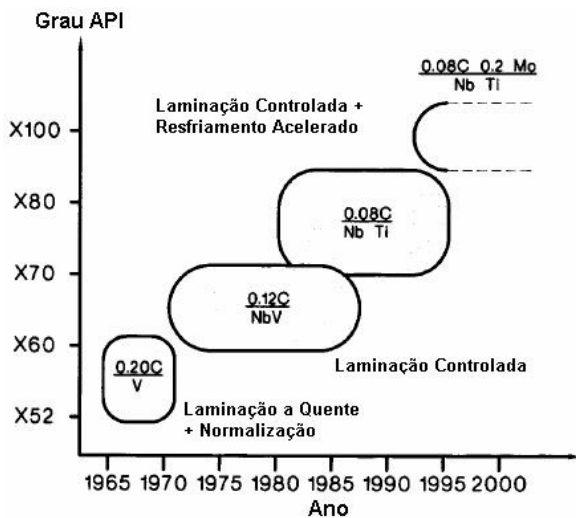


Figura 1: Evolução dos aços usados na fabricação de tubos com grande diâmetro [3].

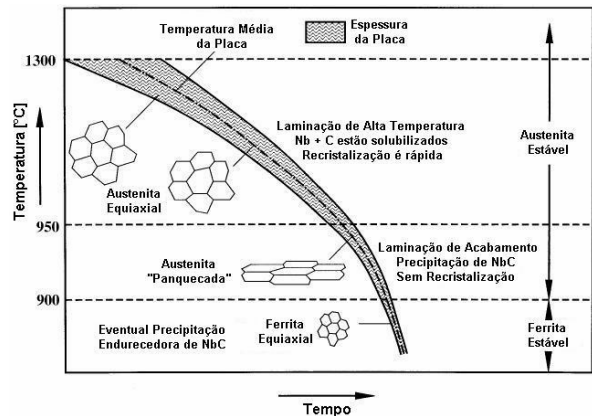


Figura 2: Fenômenos metalúrgicos que ocorrem durante a laminação controlada [4].

A presença dos elementos microligantes mais o tratamento termomecânico aplicado refinam intensamente o tamanho de grão desse material, conseguindo-se simultaneamente maior nível de resistência mecânica e tenacidade. Além disso, os elementos microligantes remanescentes em solução após a laminação a quente se precipitam na ferrita, aumentando sua resistência mecânica, ainda que comprometendo um pouco a tenacidade do material. O endurecimento por solução sólida também atua neste caso. A união desses mecanismos de endurecimento permitiu reduzir os teores de carbono e demais elementos de liga, contribuindo para a redução do carbono equivalente e aumentando conseqüentemente sua soldabilidade. Esse conceito metalúrgico rapidamente foi empregado em chapas grossas para outras aplicações que requeiram características semelhantes de resistência mecânica e tenacidade.

Contudo, a aplicação desse tratamento termomecânico não é viável em laminadores mais antigos, em função das altas cargas de laminação que surgem durante a laminação de acabamento, pois a austenita está sendo progressivamente encruada. Uma solução para este caso foram os aços com teor relativamente alto de Nb, entre 0,060 e 0,100%, que permitem obter as vantagens da laminação controlada sem a necessidade da aplicação de um tratamento termomecânico rígido [8].

A contínua busca por aços com alta resistência mecânica mas níveis ainda menores de carbono equivalente levou à instalação de mesas para resfriamento acelerado nos laminadores de chapas grossas, as quais refinam ainda mais o tamanho de grão ferrítico formado após a laminação controlada, compensando o empobrecimento na composição química. Este é o chamado **uso da água como elemento de liga** [3]. Contudo, o alto investimento necessário para a instalação desse sistema de resfriamento impediu uma adoção mais generalizada deste conceito. Uma abordagem alternativa foi o uso de ligas com teor de C minimizado através da adoção de endurecimento por precipitação de Cu (aços ASTM A710 ou HSLA-80) e de microestrutura bainítica com teor de C extra-baixo e endurecimento por solução sólida (aços *ULCB*, *Ultra-Low Carbon Bainite*). A resistência mecânica plena dos aços ao Cu requer um tratamento adicional de envelhecimento; a eventual conformação da chapa deve ocorrer com a mesma ainda solubilizada, no estado como laminado [9].

Conforme mostrado na figura 1, a evolução dos níveis de resistência passou do grau API X52 de meados da década de 1960 para o X100, o qual passou a ser comercialmente usado no início do novo milênio. Ou seja, os requisitos de resistência mecânica dobraram nos últimos 35 anos [10].

- Aplicações Navais

O projeto dos navios modernos, os quais apresentam porte cada vez maior, com capacidade para transportar até 6000 contêineres, está levando ao uso de chapas grossas extra-pesadas nas paredes laterais superiores do casco, com espessura de 65 mm e limite de escoamento de 390 MPa. Para que esse material seja soldado com alta produtividade, em um único passe, é necessário aporte térmico ultra-alto, da ordem de 400 a 500 kJ/cm. Isso tende a causar a formação de grãos de tamanho grosseiro na zona termicamente afetada, comprometendo a tenacidade sob baixas temperaturas do material. Esse impasse pode ser resolvido através do uso de resfriamento acelerado intenso para se abaixar o nível de carbono equivalente do aço e do uso de Ti como microliga. Esse elemento forma precipitados de nitreto que restringem o crescimento de grão que poderia ocorrer no cordão de soldagem. De acordo com a JFE Steel, essa tecnologia viabilizou a produção de chapas grossas navais que atendem à especificação “E”, tendo sido produzidos mais de 10.000 t desse material até 2002 [11,12].

Algumas aplicações navais requerem proteção das chapas contra ataques específicos de corrosão. Por exemplo, a área sob o convés superior de petroleiros fica exposta a uma atmosfera mista de gases gerados pela combustão do motor do navio e o H₂S que se evaporou do óleo bruto, conforme mostrado na figura 3. Além disso, essa área está sujeita à evaporação e condensação cíclica do S ao longo dos dias e noites, fato que gera um tipo de corrosão peculiar que consome cerca de 0,1 mm/ano da espessura da chapa. Considerando-se que a vida útil de um navio desse tipo é de 20 anos, há uma boa chance de que a região assim afetada tenha de ser substituída em algum momento da vida da embarcação. A JFE Steel afirma ter desenvolvido um aço de composição especial o qual, segundo a empresa, apresenta uma sobrevida de 5 anos contra esse tipo de ataque, desde que a superfície das chapas seja protegida por um *primer* naval. Isso proporciona a redução nos custos de manutenção e aumento na confiabilidade da embarcação. Não foram fornecidos maiores detalhes sobre o projeto

de liga, mas é bastante provável que sejam usados os mesmos mecanismos dos aços para tubos resistentes ao H.I.C. [4,11,12].

Outro tipo de chapa grossa que vem recebendo aceitação cada vez maior no mercado naval ao longo da última década são chapas grossas com perfis especiais de espessura e largura ao longo do comprimento. Esse perfil de espessura é aplicado já durante o processo de laminação a quente, aumentando o valor agregado do laminado, que deixa de ser mera matéria prima e passa a ser um esboço de peça pré-conformado. Esse produto reduz o número de onerosas operações de soldagem, além de diminuir o peso do navio. A figura 4 mostra as várias aplicações desse tipo de chapa numa embarcação. O volume de produção desse produto na JFE Steel elevou-se desde algumas centenas de toneladas em 1993 até cerca de 24.000 t em 2002 [13]. Note-se que a produção deste tipo de chapa grossa requer laminadores com alta capacidade de carga, automação complexa e acionamento hidráulico dos cilindros sob alta velocidade, bem como controle rígido da planicidade [14].

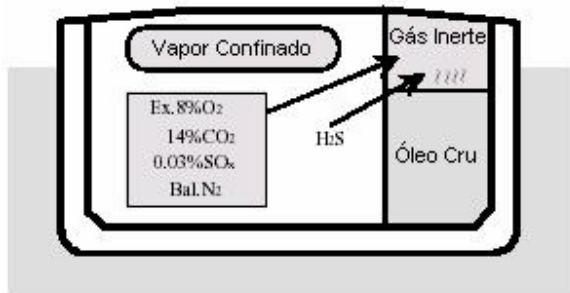


Figura 3: Esquema do ataque corrosivo na Parte inferior do convés superior de um navio-tanque para transporte de óleo cru [11].

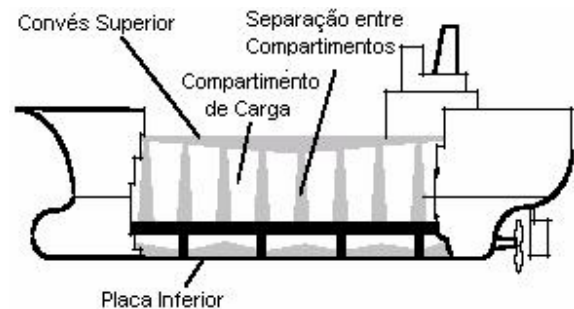


Figura 4: Aplicações práticas de chapas grossas com espessura variável em construção naval [11].

Novos processos de corte, a plasma e a laser, são cada vez mais usados nos estaleiros. Eles permitem melhor precisão, menor volume de material afetado pelo calor e maior produtividade do que os processos convencionais de oxicorte. Ainda há limitações na espessura máxima de chapa que pode ser cortada por esses processos: 30 mm por plasma e 20 mm por laser. Por outro lado, os aços a serem cortados por esses processos devem ter teor de Si virtualmente nulo para minimizar a formação de rebarbas e seus requisitos de planicidade são mais severos [15].

A soldagem a laser possui vantagens similares: menor distorção das peças, maior produtividade, e zona termicamente afetada mais estreita e homogênea em função do menor aporte térmico. Contudo, ela é geralmente limitada a materiais não ligados e com teor de C menor que 0,12% para se evitar a formação de cordão excessivamente duro e reduzir o risco de trincamento a frio. Os teores de P e S devem ser limitados a, respectivamente, 0,010% e 0,005% para evitar problemas de compacidade da junta, como porosidades e rechupes de solidificação. Esse teor muito restrito de P mínimo se aplica a sistemas de laser com baixa potência, menores do que 10 kW; o uso de potência mais elevada, 45 kW, permite elevar esse teor para valores entre 0,015 e 0,018% [15,16].

- Estrutural Geral

Constatou-se nos últimos anos maiores requisitos em termos da qualidade superficial nas chapas grossas a serem fornecidas para máquinas agrícolas e tratores. A justificativa dos clientes para essa exigência não está tanto na adequação ao uso do material, mas sim no aspecto estético do implemento, fator que ajudaria na promoção de sua venda aos clientes. Esse item de qualidade está exigindo remoção de carepa mais intensa e uniforme durante a laminação a quente para se assegurar uma superfície mais adequada. Outra tendência que ilustra a necessidade de se aumentar o valor agregado do produto são o número crescente de pedidos de chapas grossas pré-pintadas, pois dessa forma pode-se suprimir uma etapa de manufatura no cliente.

Chapas grossas com espessuras e larguras variáveis também são usadas em algumas aplicações estruturais, como pontes e viadutos, com os correspondentes benefícios em termos de redução no número de operações de soldagem e de peso. Na Europa já foram usadas 35.000 toneladas desse tipo de chapa entre 1975 e 2000 [14].

Uma das principais preocupações no caso do uso de estruturas metálicas em construção civil está em seu comportamento no caso de um eventual incêndio. Os aços estruturais comuns apresentam perda de 33% em seu limite de escoamento sob temperaturas entre 350 e 450°C; o declínio se acentua para temperaturas maiores.

A abordagem mais imediata para resolver esse problema está no uso de revestimentos cerâmicos que isolam termicamente a estrutura metálica, retardando seu aquecimento em caso de incêndio. Entre os produtos disponíveis com esse objetivo dispõe-se painéis de vermiculita compensada, produtos jateáveis e tinta intumescente sob calor. Essa solução implica em aumento de 20 a 30% no custo da construção, perda de espaço útil e interferência no projeto arquitetônico, além de problemas relacionados à saúde ocupacional dos trabalhadores da obra.

Outra opção consiste em se alterar o projeto de liga do aço de forma a aumentar sua resistência mecânica a quente e à fluência. Essas propriedades derivam das altas tensões decorrentes da fricção do reticulado nessas ligas, como resultado de fina precipitação, Mo, Cr, Ni, Nb e V em solução sólida e forte endurecimento secundário por volta de 550°C [17,18]. A resistência desse material somente começa a declinar para temperaturas superiores a 600°C, quando se inicia o deslizamento dos contornos de grão. Adições de Mo e Nb possuem efeito sinérgico, sendo o resultado maior do que a contribuição isolada de cada elemento. Uma nova abordagem, ainda experimental, preconiza o uso de altos teores de Nb, da ordem de 0,5%, de forma a promover a precipitação da chamada fase de Laves (Fe_2Nb), a qual apresenta maior resistência ao envelhecimento, reduzindo a perda de resistência mecânica provocada pela alta temperatura [18]. A contrapartida para essa solução está no maior custo do aço, já que se faz necessária a adição de elementos de liga. Além disso, alguns deles poderão contribuir para elevar o carbono equivalente da liga, reduzindo sua soldabilidade.

A chamada *engenharia do fogo* tem como objetivo procurar balancear as diversas alternativas disponíveis de forma a conciliar todos os aspectos envolvidos e minimizar o custo das estruturas metálicas. Até mesmo o projeto do prédio pode ser concebido de forma a se proteger a estrutura metálica naturalmente, envolvendo-a sempre que possível com estruturas de concreto ou tijolos existentes por outros motivos.

- Conclusões

Atualmente os avanços na pesquisa básica sobre a metalurgia dos aços já não são tão numerosos e revolucionários. Enquanto essa situação perdurar será necessário aumentar a competitividade desse material em todos os aspectos possíveis dentro de seu ciclo de utilização, do berço ao túmulo. A adequação das chapas grossas de aço a usos específicos, novos processos de manufatura e projetos de produtos que tirem o máximo proveito das características únicas de seu conjunto de propriedades estão entre elas. A ampla experiência dos projetistas, pessoal da cadeia produtiva e usuários ao longo de décadas e décadas com o aço também é um fator nada desprezível. Finalmente, sua reciclabilidade é uma vantagem que tenderá a ser cada vez mais valorizada no futuro.

- Referências Bibliográficas

1. MONTEMARANO, T.W. e outros. High Strength Low Alloy Steels in Naval Construction. **Journal of Ship Production**, vol. 2, n. 3, 1986, p. 145-162.
2. GORNI, A.A. Aproveitamento de Plástico Pós-Consumo na Forma de Combustível para Altos Fornos e Coqueiras. In: Plastshow 2004 – Feira e Congresso. **Anais...** Aranda Eventos, São Paulo, Abril 2004.
3. NARA, Y. Production of Line Pipe in Japan. **Metals Technology**, vol. 10, nº 8, Aug. 1983, 322-329.
4. HULKA, K. Sour Gas Resistant Steel. **Niobium Information 18/01**, Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, 2001, 8 p. Acessado no endereço http://www.cbmm.com.br/portug/sources/techlig/info/others_inpdf/pdfs/Sour_Gas.pdf no dia 14.12.2004.
5. JEYAPALAN, J.K. Future Outlook for Pipeline Materials, Methods and Maintenance. In: ASCE Pipelines Conference. **Proceedings**. Americal Society of Civil Engineers, Baltimore, July 2003.
6. JANSEN, J.P. et al. Present Status, Development and Qualification of TSE 550-grade Steel for Large Diameter Pipelines. In: 113th Gas Congress. **Proceedings...** Paris, September 1996.
7. PAXMAN, H.W. The Metallurgy of Steels for Large Diameter Linepipe. In: Alloys for the Eighties. **Proceedings...** Climax Molybdenum Co., Ann Arbor, June 1980, p. 185-211.

8. HULKA, K. e outros. Experience with Low Carbon HSLA Steel Containing 0,06 to 0,10 Percent Niobium. **Niobium Technical Report**, nº 1/04, Aug. 2004, 27 p.
9. GORNI, A.A. & MEI, P.M. Aços Alternativos ao HY-80 Sem a Necessidade de Aplicação de Têmpera e Revenido. **Revista Escola de Minas**, 56:4, Out/Dez. 2003, p. 287-293.
10. DESHIMARU, S. e outros. Steels for Production, Transportation and Storage of Energy. **JFE Technical Report**, 2, March 2004, 55-67.
11. SHINICHI, S. e outros. Steel Products for Shipbuilding. **JFE Technical Report**, 2, March 2004, 41-48.
12. OMATA, K. e outros. Leading High Performance Steel Plates with Advanced Manufacturing Technologies. **NKK Technical Review**, 88, 2003, 73-80.
13. FUMIMARU, K. e outros. Steel Plates for Bridge Use and their Application Technologies. **JFE Technical Report**, March 2004, 85-90.
14. HUBO, R. et al. Grobbleche für wirtschaftliche Stahlbau- und Offshore-Konstruktionen. **Stahl und Eisen**, November 2000, 101-106.
15. LAFRANCE, M. Propriétés d'Emploi des Tôles Fortes en Acier. Cinquième Partie: Influence des Conditions de Mise en Oeuvre. **La Revue de Metallurgie – CIT**, Mars 2000, 387-400
16. ROLAND, F. e outros. Laser Welding in Shipbuilding – an Overview of the Activities at Meyer Werft. **Welding in the World**, vol. 46, 24-25 June 2002, 39-51.
17. STARLING, C.M.D. e outros. Efeito da Composição Química na Microestrutura e Propriedades Mecânicas da Zona Fundida da Solda de Aços Resistentes ao Fogo. In: 25º Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem. **Anais...** Associação Brasileira de Soldagem, Belo Horizonte, Setembro de 1999.
18. SHA, W. e outros. Development of Structural Steels with Fire Resistant Microstructures. **Materials Science and Technology**, 18, 3, March 2002, 319-325.

INTERACTION BETWEEN THE APPLICATION DEMANDS AND CHARACTERISTICS AND SPECIFICATIONS OF STEEL PLATES ¹

Antonio Augusto Gorni ²
José Herbert Dolabela da Silveira ³

Abstract

The exceptional mechanical properties of steel justify why it is considered the main engineering material used in the big structures of the modern world. However, the vertiginous technological evolution that it own helped to make feasible led to the development of new materials that now are fierce competitors to the steel position. The competitiveness of steel plates as engineering material requires not only product development itself, but also the optimization of the life cycle of the material as a whole. That is: minimization of fabrication costs and development of manufacture processes and applications projects which take full advantage of steel's specific features. The exceptional recyclability of steel is a background factor that will assume an increased importance in the future.

Keywords: Steel Plates, Metallurgy, Applications

¹ Paper to be presented at the 60th ABM Congress, Belo Horizonte (Brazil), July 25 to 28, 2005.

² ABM Member. Materials Engineer, M. Eng, Dr. Eng., Process Analyst of the Hot Rolling Technical Support Department, Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: gorni@cosipa.com.br

³ ABM Member, Metallurgical Engineer, M.Eng., Chief of the Hot Rolling Technical Support Department, Companhia Siderúrgica Paulista – COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: herbert@cosipa.com.br