

IMPLANTAÇÃO DA TECNOLOGIA DE RESFRIAMENTO ACELERADO NA LINHA DE CHAPAS GROSSAS DA USINA DE IPATINGA DA USIMINAS¹

Rafael Abreu Fraga²
Geraldo Arruda Maia³
Ronaldo Barbosa⁴

Resumo

A implantação do processo de Resfriamento Acelerado na Laminação de Chapas Grossas da Usina de Ipatinga, através da tecnologia *Continuous On-Line Control* (CLC), possibilitou um grande salto tecnológico na fabricação de chapas grossas da Usiminas, viabilizando a produção através do processo de controle termo-mecânico (TMCP). Através do TMCP é possível produzir aços com menores teores de carbono e elementos microligantes, obtendo-se maior resistência mecânica, tenacidade, melhor soldabilidade e conformabilidade em relação aos aços processados convencionalmente. São aplicados principalmente em tubos de grande diâmetro, navios, plataformas marítimas, estruturas soldáveis de alta resistência e em máquinas resistentes à abrasão. Para um resultado eficiente de TMCP, deve-se ter um rígido controle das etapas envolvidas, assim foram necessários investimentos nas etapas anteriores e subsequentes ao processo de resfriamento, além de um trabalho de capacitação da equipe envolvida, permitindo o desenvolvimento e homologação dos produtos. Este trabalho aborda as vantagens do TMCP, os investimentos realizados para implantação da tecnologia e o desenvolvimento dos produtos na Usiminas.

Palavras-chave: Resfriamento acelerado; *Continuous on-line control*; Processo de controle termo-mecânico.

IMPLANTATION OF ACCELERATED COOLING TECHNOLOGY ON USIMINAS PLATE MILL

Abstract

Implantation of Ipatinga Works Plate Mill Accelerated Cooling through Continuous On-Line Control (CLC) technology enabled a huge technological breakthrough in Usiminas plate mill manufacturing, enabling the steel production by thermo-mechanical control process (TMCP). Through TMCP is possible to produce steels with lower carbon and alloy elements, obtaining higher mechanical strength, toughness, better weldability and formability compared to steel processed in a conventional manner. Are mainly applied in large diameter pipes, ships, offshore platforms, high strength weldable structures and abrasion resistant machines. For an efficient outcome of TMCP, it should have a tight control of production involved steps, so it was required investments in previous and subsequent steps of accelerated cooling, besides capacitating involved team, allowing the development and product approval. This paper discusses the advantages of TMCP, investments for technology deployment and product development in Usiminas.

Keywords: Accelerated cooling; Continuous on-line control; Thermo-mechanical control process.

¹ *Contribuição técnica ao 50º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 18 a 21 de novembro de 2013, Ouro Preto, MG, Brasil.*

² *Engenheiro Metalurgista;. Gerência Técnica de Laminação a Quente; Usiminas. Ipatinga, MG, Brasil.*

³ *Engenheiro Metalurgista. Membro da ABM. Gerência Geral de Laminação a Quente; Usiminas. Ipatinga, MG, Brasil.*

⁴ *Engenheiro Mecânico. Dr. Membro da ABM. Professor. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG; Belo Horizonte, MG, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Amplios esforços vêm sendo realizados em todo o mundo para desenvolver novas fontes para exploração de petróleo, de forma que sua extração tem sido realizada em ambientes cada vez mais severos, principalmente em reservatórios localizados abaixo do oceano, sob baixas temperaturas e vulneráveis à corrosão. Um exemplo deste tipo de exploração são os reservatórios localizados abaixo da camada pré-sal na costa brasileira. Para viabilizar este tipo de exploração, a siderurgia tem um papel fundamental no fornecimento dos aços planos que irão compor as tubulações, embarcações e plataformas responsáveis pela extração do petróleo.⁽¹⁾

Para garantir uma aplicação final segura e eficiente, estes aços devem ter excelentes propriedades mecânicas, devendo ser produzidos com elevada resistência mecânica e tenacidade, além da necessidade de se ter em vários projetos, boa resistência à corrosão e à trinca induzida pelo hidrogênio. Para que isto seja possível, é necessário um controle rigoroso de composição química e limpidez na etapa de produção do aço líquido, baixo nível de segregação após o lingotamento das placas, e um processo de conformação com controle rigoroso dos parâmetros de reaquecimento, laminação e resfriamento que permitam obter uma microestrutura adequada.^(1,2)

Uma das maneiras mais efetivas de se atender a estas exigências é a utilização do processo de laminação controlada, juntamente com o resfriamento acelerado *on-line*, comumente chamado de TMCP. Durante as duas últimas décadas, a composição química e os parâmetros do TMCP, tais como temperatura de reaquecimento, temperaturas de laminação, temperaturas de início e final de resfriamento, e taxa de resfriamento, têm sido extensivamente estudados⁽³⁾. Alinhada a esta necessidade, a Usiminas modernizou a área de Laminação de Chapas Grossas da Usina de Ipatinga, adquirindo junto à Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation (NSSMC) a tecnologia de resfriamento acelerado de chapas grossas, denominada CLC, ilustrada na Figura 1. Desta forma, através de alterações microestruturais proporcionadas pelo resfriamento do aço, é possível se obter um aumento da resistência mecânica melhorando a tenacidade.⁽²⁾

O resfriamento acelerado não é uma tecnologia que pode ser empregada de forma independente. Ao contrário, deve ser visto como parte de um complexo esquema de processamento. O processo de resfriamento acelerado só é totalmente efetivo quando controlado de maneira integrada, uma vez que, sozinho, não é capaz de assegurar melhorias significativas nas propriedades finais dos aços. As etapas de reaquecimento, de laminação e de resfriamento herdam cada uma, os fenômenos físicos e metalúrgicos da etapa anterior. Portanto, para se obter uma microestrutura que atenda às propriedades mecânicas desejadas, é necessário considerar esses fenômenos em todas as etapas, desde a fabricação do aço líquido.^(3,4)

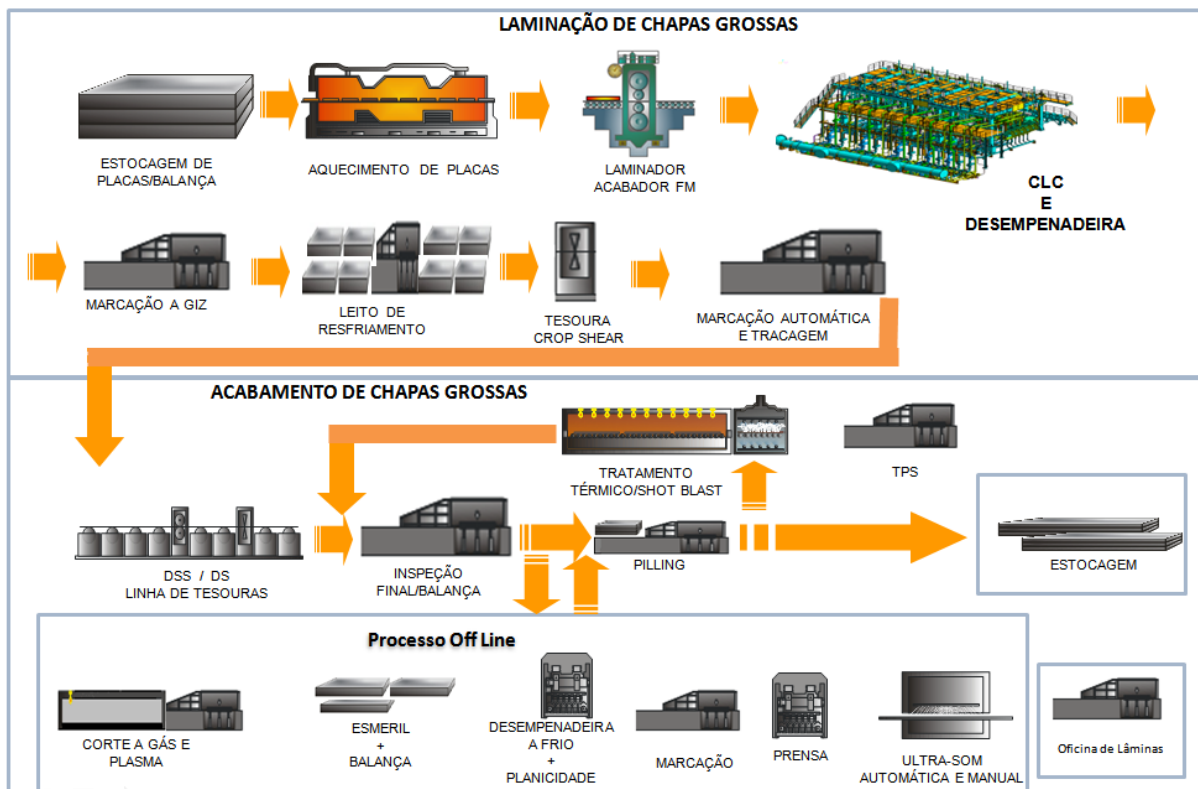


Figura 1. Processo de fabricação de chapas grossas da Usiminas.

2 BENEFÍCIOS DO TMCP

A partir da década de 1960, várias pesquisas foram conduzidas a fim de se avaliar os efeitos da temperatura de laminação nas propriedades mecânicas. A partir dos resultados de tais estudos, com intuito de se refinar o tamanho de grão dos aços, foi desenvolvido um novo procedimento de laminação com controle de temperatura. Este processo teve grande contribuição para a redução da adição de ligas e melhoria da soldabilidade dos aços.⁽⁵⁻⁸⁾ Este desenvolvimento conduziu à produção comercial de aços com alta resistência e tenacidade, atendendo principalmente aos requisitos para a aplicação em tubos. No entanto, a laminação controlada proporciona uma produtividade baixa, pois é realizada a uma temperatura relativamente baixa para se obter elevados níveis de resistência mecânica e tenacidade. Como o processo de laminação controlada baseia-se no refino de grão, é possível melhorar o limite de escoamento e a tenacidade, porém é necessário que se adicione elementos de liga, o que prejudica a soldabilidade do aço. A partir do final da década de 70, passou-se a aliar a laminação controlada, ao resfriamento acelerado, que permite alcançar alta resistência realizando a transformação para as fases ferrita e bainita. Portanto o TMCP consiste em duas etapas em série: laminação controlada seguida pelo resfriamento acelerado, possibilitando a fabricação de aços mais resistentes, mais tenazes e com excelente soldabilidade^(1,2). O conceito de controle microestrutural por TMCP é esquematicamente apresentado na Figura 2.

A crescente demanda por estruturas de aço e o aumento de sua utilização em ambientes sob condições severas, vem promovendo o desenvolvimento de novas tecnologias para controle de microestrutura, o que por sua vez tem permitido significativas melhorias em projetos de liga. O CLC permite obter microestruturas distintas das obtidas com laminação convencional ou tratadas termicamente em

fornos off-line, o que representa grande vantagem, melhorando a resistência mecânica e a tenacidade do aço e superando problemas relacionados à adição de elementos de liga e a tratamentos térmicos convencionais. O TMCP permite a redução da temperatura de reaquecimento e aumento da produtividade em comparação aos aços produzidos por laminação controlada, devido a temperaturas de laminação mais altas. Estes aços são aplicados principalmente em tubos de grande diâmetro, navios, plataformas marítimas, estruturas soldáveis de alta resistência e em máquinas resistentes à abrasão.⁽¹⁻³⁾

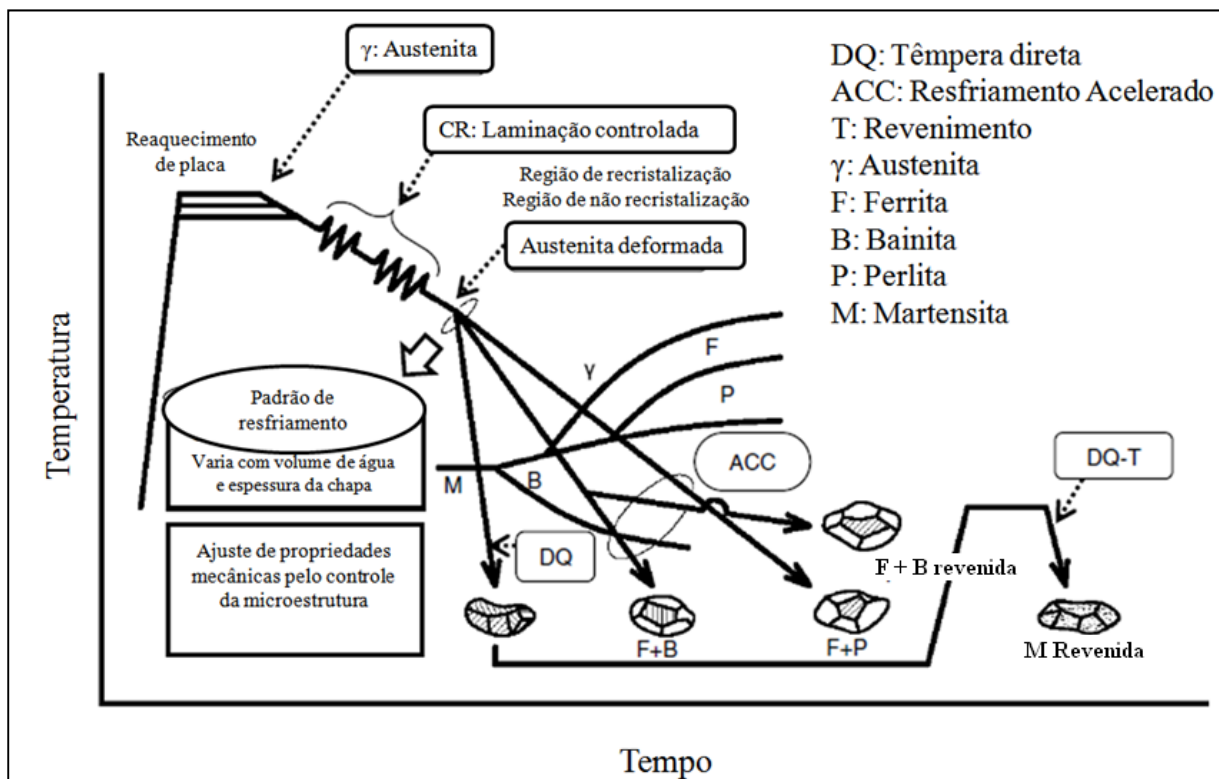


Figura 2. Conceito de controle de microestrutura pelo TMCP.⁽¹⁾

O processo de fabricação de aços TMCP envolve uma cuidadosa otimização da composição química, com adição de pequenas quantidades de elementos microligantes. É importante ressaltar, que a redução da adição de elementos de liga nos aços TMCP é uma das características mais vantajosas para a soldabilidade das chapas resultantes. As propriedades fundamentais para a aplicação dos aços estruturais são resistência mecânica e tenacidade. O tamanho de grão cristalino desempenha o papel mais importante no controle de tais propriedades dos aços.^(5,6)

3 IMPLANTAÇÃO DO CLC NA USIMINAS

Desde 1980, vários tipos de equipamentos de resfriamento acelerado têm sido desenvolvidos no Japão e outros países. Os pontos essenciais deste desenvolvimento têm sido a uniformidade e controle da temperatura de resfriamento e a planicidade do laminado após o resfriamento, assim como a produtividade do processo.⁽⁵⁻⁸⁾ A Usiminas adquiriu junto a NSSMC a tecnologia de resfriamento acelerado de chapas grossas, CLC, ilustrado na Figura 3. O equipamento é do tipo contínuo, dividido em zonas na direção de deslocamento dos laminados. Nesta configuração, o resfriamento das faces superior e inferior pode ser controlado de

forma independente em cada zona. Suas principais especificações podem ser vistas na Tabela 1.

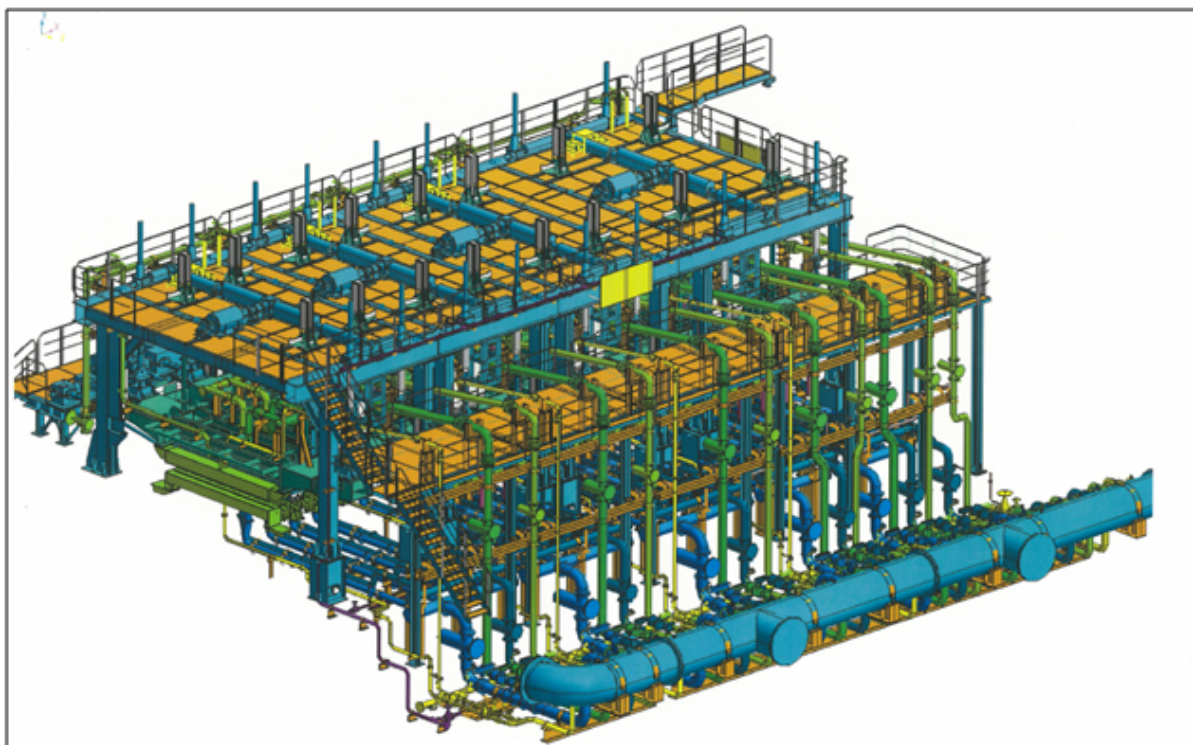


Figura 3. Equipamento de resfriamento acelerado (CLC).

Tabela 1. Principais especificações técnicas do CLC

Item		Principais especificações
Tipos de resfriamento		Resfriamento Acelerado e Têmpera Direta
Distância da Desempenadeira a Quente (HL)		6,6 m após a HL
Distância do Laminador		Approx. 82 m
Dimensões de produto	espessura:	12 ~ 150 mm
	largura:	1.000 ~ 4.500 mm
	comprimento:	sem oscilação: 3.000 ~ 48.800 mm com oscilação: máx 15.000 mm
Comprimento total do CLC		20.890 mm
Zona #1		900 mm
Zona #2, 3		2.700 mm cada
Zona #4, 5, 6		4.500 mm cada
Velocidade		15 ~ 150 m/min
Fluxo de água		0.3 ~ 2.0m ³ /(m ² .min)
Vazão de água		Máx 180m ³ /min
Tipos de bicos	Zona #1	Tipo Slit-jet
	Zonas #2 ~ 6	Bicos do tipo Flat-spray
Controle de temperatura	Aceleração	Ajuste de aceleração
	Bordas laterais	Máscaras com válvulas three-way (superior) e chapas de contenção (inferior)
	Bordas topo e base	Máscaras com válvulas three-way (superior e inferior)

A implantação do CLC ocorreu entre março de 2009 e agosto de 2010. Durante este período foram utilizadas 3.086 toneladas de estruturas, 277 toneladas de tubulações, 291 toneladas de equipamentos elétricos. Foram lançados 177.350

metros de cabos e 15.588 metros de bandejas e eletrodutos. O efetivo envolvido na obra atingiu 1.730 funcionários, somando-se o efetivo próprio e contratado (figura 4). A implantação foi realizada em três paradas após a fase inicial da obra, onde foi feita a retirada de interferências, pré-montagens e outros serviços, seguido pela primeira parada, que teve a duração de 14 dias, entre os dias outubro de 2009 e novembro de 2009, com preparação e montagem das mesas de rolos de entrada do CLC e mesa de rolos temporária. Todas as atividades programadas foram realizadas e a parada foi finalizada com antecipação de 24 horas. Após a primeira parada houve um intervalo, onde foram realizadas outras importantes atividades, como pré-corte de concreto das bases das mesas do CLC, pré-montagem das mesas de rolos do CLC, pré-montagem das cadeiras da desempenadeira, montagem do acionamento da nova desempenadeira, montagem do púlpito de operação do CLC/HL e base da desempenadeira.



Figura 4. Efetivo envolvido durante a implantação do CLC.

A segunda parada ocorreu entre os meses de abril e maio de 2010, sendo concluída com 13 horas de antecipação, foram executadas como atividades principais: desmontagem da antiga desempenadeira, montagem da nova desempenadeira, construção das bases civis e montagem das mesas de rolos do CLC. No intervalo entre a segunda e a terceira parada foi realizada a construção civil do fosso, montagem das tubulações de água do CLC dentro do fosso, montagem do *by pass* para *flushing* da água de resfriamento acelerado, montagem dos *sprays*, tubulações de resfriamento provisório, pré-montagem do CLC, montagem das colunas principais do CLC, montagem e ajustes do acionamento dos rolos de restrição, montagem do acionamento da guarda lateral e montagem do sistema hidráulico da guarda lateral. A terceira e última parada ocorreu em agosto de 2010, sendo concluída com 36 horas de antecipação. As principais atividades concluídas foram a montagem dos módulos do CLC, montagem dos *top frames* e montagem da guarda lateral. No dia 28 de agosto de 2010 foi dado o *start-up* do CLC da Usiminas. Foram realizados, então, testes a quente até o final do mês de outubro de 2010 e em dezembro iniciou-se o desenvolvimento de aços com a tecnologia CLC. O início e final das obras estão ilustrados na Figura 5.

Além de melhorias em equipamentos, foi necessária a criação de um novo padrão de produção, com estreitamento das faixas de composição química, qualidade interna e superficial das placas, controle de carepa e forma do material laminado. Toda a preparação da equipe para atender a estes requisitos, foi realizada com o apoio técnico da Nippon Steel, fornecedora da tecnologia, através de diversas assistências técnicas, desde o ano de 2008.

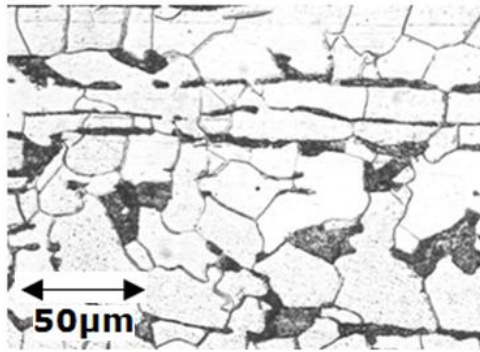
4 DESENVOLVIMENTO DOS AÇOS E SUAS APLICAÇÕES

Os aços produzidos com a tecnologia de resfriamento acelerado foram desenvolvidos para oferecer desempenho superior na construção naval, na montagem das estruturas de plataformas marítimas, de gasodutos e oleodutos e demais construções que requerem o uso de aços de alta e ultra-alta resistência mecânica. Diversos são os benefícios na utilização dessa linha de produto, como vantagens operacionais, segurança e ganhos de produtividade aos construtores e aos usuários, como também flexibilidade na seleção e especificação de material no desenvolvimento dos projetos de engenharia.⁽⁹⁾ A primeira fase de desenvolvimento de aços que utilizam a tecnologia de resfriamento acelerado foi iniciada em novembro de 2010, com aços voltados para estas aplicações, conforme tabela 2.

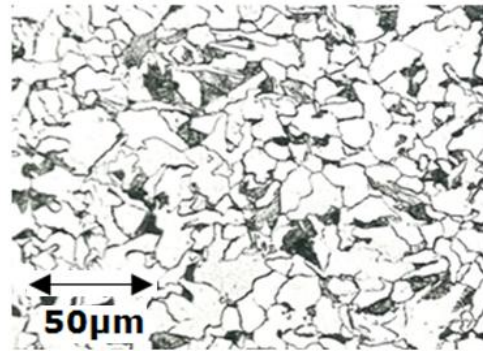
Tabela 2. Aços desenvolvidos na primeira fase de produção

Aplicação	Grau
Naval	DH36 e DH32 (comum)
	DH36 e DH32 (aplicação longitudinal)
	EH36
	EH40
Estrutural	50 kgf/mm ²
	60 kgf/mm ²
	80 kgf/mm ²
Plataforma	API2W50
Tubulações	API5LX70 PSL2 (padrão)
	API5LX70 PSL2 (DWTT)
	API5LX80 PSL2
Resistente à Abrasão	AR400
	AR450

Estes aços são caracterizados pela alta resistência mecânica e pelo desempenho superior de soldagem em função do menor carbono equivalente (Ceq). O processo CLC permite a obtenção de uma microestrutura refinada, com impacto positivo nas propriedades mecânicas do aço (resistência e tenacidade), conforme Figura 7.



(a) Laminação Convencional



(b) TMCP

Figura 7. Microestrutura de um aço 50 kgf/mm², espessura 25 mm. Processo (a) convencional *versus* (b) CLC.⁽⁹⁾

Portanto este método de produção resulta em um aço com resistência mecânica elevada e baixo carbono equivalente (Ceq), melhorando sua soldabilidade e obtendo desempenho superior aos aços convencionais.

Devido a estes fatores estes aços para a construção naval e para fabricantes de estruturas metálicas oferecem:

- minimização ou eliminação da etapa de pré-aquecimento, redução de passes de solda e uso racional dos consumíveis;
- ganhos de produtividade, com tempo reduzido em virtude da possibilidade de soldagem de alto aporte térmico;
- melhoria dos rendimentos operacionais e do controle de qualidade dos processos de fabricação;
- características adequadas para as exigências modernas de fabricação;
- estruturas mais robustas e com maior confiabilidade operacional.

A partir da tecnologia de resfriamento acelerado está sendo possível produzir aços com espessuras mais elevadas do que as produzidas via laminação controlada, atendendo a norma API, para aplicação em gasodutos e oleodutos que exigem alta resistência ao colapso, resistência a ambiente *Sour Service* e tenacidade à baixa temperatura.

O método de têmpera direta, com altas taxas de resfriamento, tem possibilitado a produção de aços martensíticos resistentes ao desgaste, cuja principal característica é a alta dureza. Esses aços apresentam, ainda, boa soldabilidade. Um importante benefício da produção via têmpera direta é a eliminação da etapa de tratamento térmico off-line, reduzindo assim o *lead-time*. Nessa classe se encontram materiais que apresentam dureza Brinell na faixa de 360 a 550. São aplicados em tratores, retroescavadeiras, caçambas de caminhões fora de estrada, tremonhas, revestimentos de calhas, transportadores de minérios, peças de altos-fornos e ventiladores industriais.

5 CONCLUSÃO

A introdução do Resfriamento Acelerado na rota de produção da Usina de Ipatinga da Usiminas fez com que todo o processo de produção de Chapas Grossas fosse revisto e recebesse as melhorias necessárias em equipamentos, processos, controles, automação e principalmente conceitos. Foi demandado um esforço muito grande da equipe Usiminas para o início do uso dessa tecnologia, forçando um salto

tecnológico da equipe, qualificando-a para enfrentar os desafios futuros que o mercado de aços de alta resistência requer.

O CLC deu a oportunidade à Usiminas de participar de um seleto grupo de produtores de chapas grossas que utilizam a tecnologia de processamento TMCP, trazendo benefícios para a sua produção assim como para a aplicação de seus clientes. Adicionalmente, cria a oportunidade para desenvolvimento de novos aços com requisitos mais severos, como no caso dos aços para os segmentos Naval e Energia (Óleo e Gás). Além de permitir a produção de Chapas Grossas com desempenho diferenciado na aplicação, é possível se beneficiar com a redução de custos operacionais. Desta forma, a tecnologia CLC é considerada um recurso estratégico na criação de vantagem competitiva sustentável no mercado de Chapas grossas.

REFERÊNCIAS

- 1 NISHIOKA, K., ICHIKAWA, K. Progress in thermomechanical control of steel plates and their commercialization. *Science and Technology of Advanced Materials*, Vol 13, April 2012.
- 2 Zhao, M.-C, Yang, K., Shan, Y., The effects of thermo-mechanical control process on microstructures and mechanical properties of a commercial pipeline steel. *Material Science and Engineering A335*, p. 14-20, 2002.
- 3 LECIGNE, R., AMORIS, R., CHASTANG, G., HOUDION, P. Application of accelerated cooling at G.T.S. Industries's plate mill. In: *International Rolling Conference*, 6, Dusseldorf. METEC Congress 94 , v.2. p.197-204, 1994.
- 4 OKAMOTO, K., YOSHIE, A., NAKAO, H. Microstructures and mechanical properties of heavy steel plates produced by accelerated cooling and direct quenching process, In: *32nd Mechanical Working and Steel Processing Conference*, Cincinnati, Ohio, USA, 21p, October 1990.
- 5 SUGIYAMA, T. Controlled Rolling of Plate with Accelerated Cooling. *Steel Technology International*, London: Sterling Publications, p. 315-318, 1988.
- 6 FENSTERMAKER, L.J. Low-Cost Plate Mill Improvements. *Steel Times*, Vol. 214, No. 6, p. 287-288, 290, June 1986.
- 7 LUDWIG, B. Systems for the Accelerated Cooling of Plates. *Metallurgical Plant and Technology*, Vol. 11, No. 4, p.10-17, 1988.
- 8 OUCHI, C. Development of Steel Plates by Intensive Use of TMCP and Direct Quenching Process. *ISIJ International*, Vol.41, No. 6, p. 542-553, 2001.
- 9 USIMINAS. Catálogo de Produtos. Disponível em: <http://www.usiminas.com/irj/go/km/docs/prtl_doc/usiminas/pt/AreasDeNegocios/Siderurgia/CatalogoProdutos/Catalogos2013/Novo_Catalogo_Sincron_v17_baixa.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2013.