

DESENVOLVIMENTO DE AÇO COM ESPESSURA ACIMA DE 12,5MM PARA ATENDIMENTO AOS REQUISITOS DO GRAU X-80 DA NORMA API NO LTQ DA ARCELORMITTAL TUBARÃO¹

Ricardo Porto²
Marden Valente de Souza²
Paulo de Tarso²
Renato Diniz Carvalho³
Júlio Cezar Bellon⁴
Gleyson Marcos Barbosa⁴
Leonardo B. Godefroid⁵

Resumo

Objetivando o aumento de produtividade dos gasodutos e das grandes distâncias entre o local de exploração de petróleo até o consumidor final, as empresas petrolíferas têm demandando tubos com resistência mecânica mais elevada. Neste contexto, o uso do grau X80 aumentou de 0,5 Mt nos anos 90 para 2,5 Mt neste século. Visando atender as demandas futuras da Petrobrás para o grau X80, ArcelorMittal Tubarão iniciou o desenvolvimento deste grau, com bobina laminada a quente nas espessuras de 12,70 mm, 14,27 mm e 15,88 mm utilizando aço HSLA e processamento termomecânico controlado, com atendimento aos requisitos da norma.

Palavras-chave: Aços para tubos; Tubos; Gasodutos.

DEVELOPMENT OF API STEEL GRADES AT ARCELOR MITTAL TUBARÃO

Abstract

In order to improve the productivity of pipelines and due to the huge distances from petroleum exploration sites to the final consumers, the petroleum companies have been demanded higher mechanical properties of the pipes. In this context, the use of X80 grade increased from 0.5Mt in 90's to 2.5 Mt in this century. In order to supply the future Petrobrás demands for X80 grades (thickness > 12.7mm and ϕ pipe >24), ArcelorMittal Tubarão started to develop this grade, using hot coils products, that are lower-priced product in comparison with heavy plate product. It was used a high strength low alloy steel and thermo-mechanical process control to develop this grade in order to reach tensile and toughness requirements of API Standart for X80 grade. The coils thickness produced were 12.70, 14.27 and 15.88mm and the results achieved the requirements.

Key words: Steel grades for pipelines; API-X80.

¹ Contribuição técnica ao 46º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 27 a 30 de outubro de 2009, Santos, SP.

² Engenheiro Metalurgista, Especialista de Desenvolvimento de Produto da ArcelorMittal Tubarão;

³ Engenheiro Metalurgista, Especialista da Assistência Técnica da ArcelorMittal Tubarão;

⁴ Engenheiro Metalurgista, M. Sc., Especialista da Unidade Técnica da Laminação de Tiras a Quente ArcelorMittal Tubarão;

⁵ Engenheiro Metalurgista, M. Sc., D.Sc., REDEMAT/UFOP

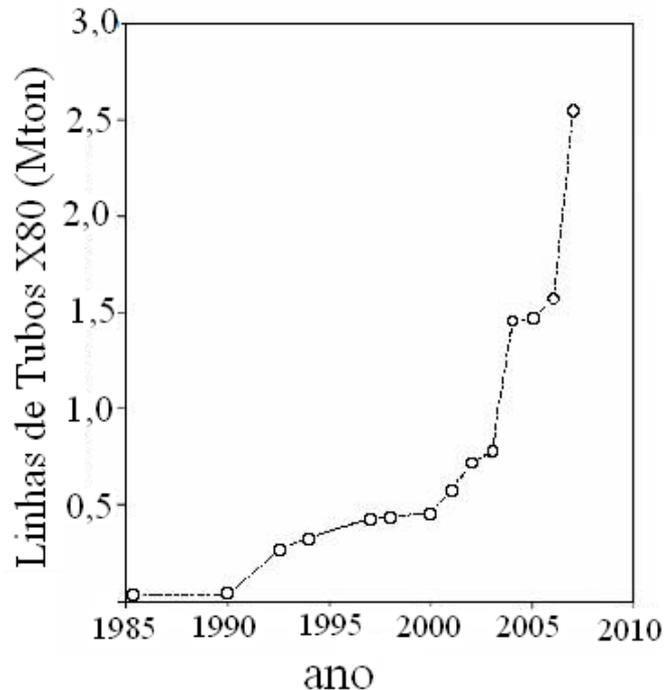


Figura 2 – Consumo de Aços X80 em Gasodutos e Oleodutos.⁽³⁾

No Brasil, o uso do API-X80 iniciou em 2008 (Projeto Mexilhão de 8,5 km – Unidade de Tratamento de Gás de Caraguatatuba – SP) com tubos de 19mm x ϕ 34” produzidos via processo UOE que utiliza Chapa Grossa como matéria prima.

2 DEFINIÇÃO DO PROJETO DE QUALIDADE

A demanda de elevado requisito de propriedades mecânicas obtidos no ensaio de tração, combinado com alta tenacidade a baixas temperaturas e boa soldabilidade, resultou no uso de aço com baixo teor de carbono microligado (alta resistência, baixa liga) associado ao processamento termomecânico controlado que tem como objetivo final, a obtenção de grãos mais refinados.

2.1 Processamento Termomecânico Controlado

O processamento termomecânico controlado é caracterizado pela realização da deformação no trem acabador na região de não recristalização da austenita, objetivando a obtenção do refinamento de grão desejado. Esta deformação é usualmente de 3 a 4 vezes a espessura final da tira.⁽⁴⁾ A Figura 3 mostra de forma esquemática as estratégias utilizadas para realização de laminação controlada em aços microligados de alta resistência

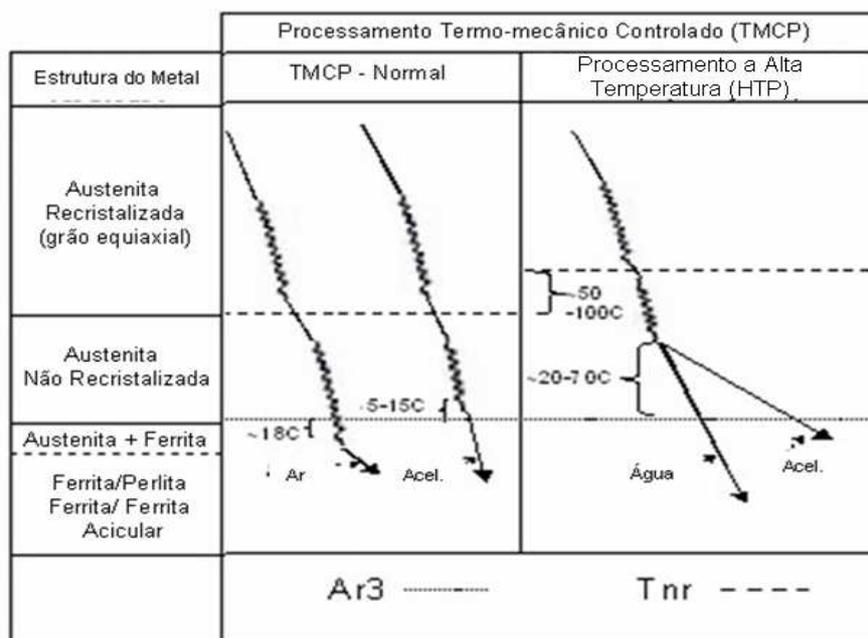


Figura 3 – Principais Estratégias de Laminação utilizadas em aços microligados de elevada resistência.⁽⁵⁾

O processamento termomecânico controlado pode ser subdividido em dois estágios conforme indicado abaixo:

1º Estágio - Deformação da austenita na região de recristalização

A temperatura de aquecimento da placa no forno e a solubilidade dos precipitados têm elevada influência no tamanho de grão inicial. O tamanho de grão recristalizado decresce rapidamente com aumento da taxa de redução por passe e pela redução da temperatura de processamento. O menor tamanho de grão da austenita recristalizada pode ser obtido pelo uso de deformações acima da quantidade crítica requerida para iniciar a recristalização dinâmica durante o processo de laminação a quente.⁽⁶⁾

2º Estágio – Deformação na região de não recristalização

Acredita-se que elementos microligantes retardam a temperatura de recristalização da austenita pelo efeito de solução sólida no soluto e pela precipitação induzida por deformação. A laminação realizada abaixo da temperatura de não recristalização produz grãos de austenita deformados e alongados e bandas de deformação. Estas bandas de deformação também servem de sítios de nucleação da ferrita. Com o aumento da deformação, os grãos austeníticos tornam-se mais alongados e o aumento da quantidade de bandas de deformação torna sua distribuição mais uniforme, gerando grãos austeníticos mais finos e uniformes e, consequentemente, em grãos ferríticos mais finos e uniformes após a transformação de fase.⁽⁶⁾

2.2 Microestrutura

A microestrutura usualmente utilizada para os aços API-X80 é ferrita acicular ou bainita, pois estas apresentam uma combinação de elevada resistência mecânica e elevada tenacidade,⁽⁷⁻¹⁰⁾ além da menor perda de resistência mecânica durante a formação do tubo e planificação da amostra devido efeito Bauschinger,^(10,11) conforme pode ser visto na Figura 4.

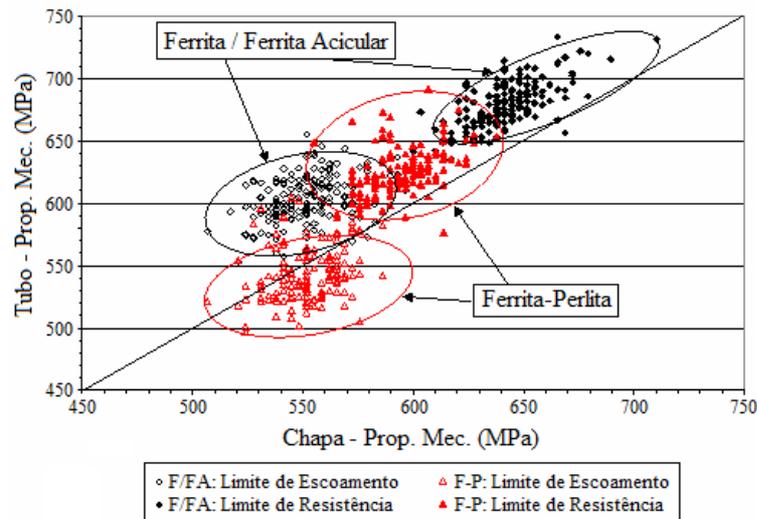


Figura 4 – Comparativo de Resultados de Propriedades Mecânicas Chapa-Tubo entre Aços com Microestrutura Ferrita-Perlite e Ferrita/Ferrita Acicular.⁽¹¹⁾

A microestrutura com constituintes aciculares para graus mais elevados está associada aos requisitos de propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração. Conforme pode se observar na Figura 5, para obtenção de limite de escoamento que atenda aos requisitos do grau X80, é necessária a utilização de todos os mecanismos de endurecimento, inclusive pelo aumento de densidade de discordâncias.

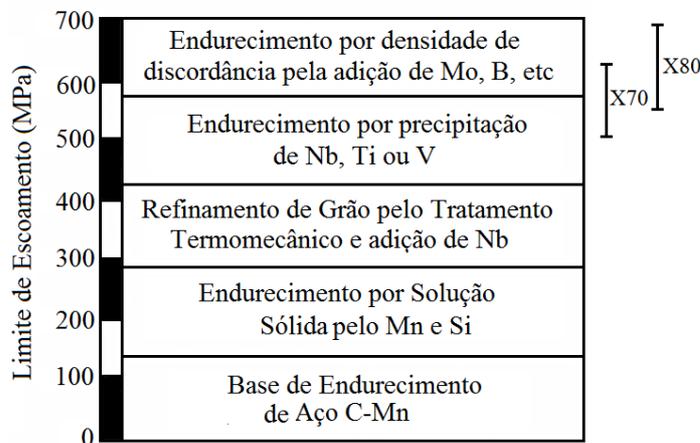


Figura 5 – Contribuição dos vários mecanismos de endurecimento no aço.⁽⁴⁾

2.3 Composição Química

Para atender aos requisitos da aplicação, as empresas produtoras de aço têm buscado utilizar aços HSLA para tubos para gasodutos/ oleodutos com elevada resistência mecânica. Os principais elementos de liga usualmente utilizados para produção de aços para gasodutos estão indicados abaixo:

- **Titânio:** é adicionado para prevenir o crescimento excessivo do tamanho de grão austenítico a altas temperaturas. Este elemento possui elevada afinidade com o nitrogênio, formando uma partícula estável e dispersa de nitreto de titânio (TiN) a altas temperaturas podendo precipitar durante o processo de lingotamento contínuo de placas.^(6,12)

- **Nióbio:** Forma carboneto, nitreto e carbonitreto de nióbio na faixa de temperatura de laminação e atua no controle do tamanho de grão austenítico na faixa de temperatura de recristalização, na redução da temperatura de transformação γ/α , endurecimento por precipitação no campo austenítico (induzido pela deformação) e na interface (γ / α) e no aumento da Temperatura de Não Recristalização (T_{nr}).^(6,12)
- **Vanádio:** Forma precipitados finos de carboneto e nitreto de vanádio V(CN) durante a transformação γ/α , atua no endurecimento por precipitação.^(6,12)
- **Cromo:** Cromo é usado sozinho ou em combinação com níquel (~0,15%) ou molibdênio para produzir pequena fração das fases martensita /austenita, reduzindo as bandas de Luders no ensaio de tração e a queda do limite de escoamento durante a produção dos tubos (efeito Bauschinger).⁽¹²⁾ Quando combinado com resfriamento acelerado, é possível se obter microestruturas com ferrita acicular / bainita.⁽¹³⁾
- **Níquel:** Não é formador de carboneto e é estabilizador do campo austenítico. É o único elemento que aumenta a tenacidade do aço (DWTT, CTOD e Charpy) quando todos os outros fatores são fixos (Ex: tamanho de grão e dispersão dos precipitados).⁽¹²⁾
- **Cobre:** É utilizado em combinação com a mesma quantidade de níquel para melhorar a tenacidade da zona termicamente afetada quando é utilizada altas taxas de aquecimento durante o processo de soldagem (SAW com elevadas espessuras).⁽¹²⁾

3 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do API 5L X-80M PSL2 teve como base o interesse da Petrobrás em utilizar tubos de 14,27 mm x ϕ 30" e 15,88 mm x ϕ 36" deste grau. Para atendimento a estes diâmetros de tubo, a bobina foi produzida com largura de 1.500 mm.

Na ArcelorMittal Tubarão, foram produzidas inicialmente bobinas laminadas a quente com espessura de 12,7 mm. Em função dos resultados obtidos nas bobinas com 12,7 mm, para a produção de material para as demais espessuras, foi efetuado ajuste do projeto de qualidade, considerando redução do Cr+Ni+Cu e do Nb+Ti+V, acarretando na redução do C_{eq} e P_{cm} , conforme pode ser observado na tabela de composição química abaixo.

Tabela 1 – Composição Química do API-X80

Elemento	C (%)	Mn (%)	Cr+Ni+Cu (%)	Nb+Ti (%)	C_{eq} (%)	P_{cm} (%)
Norma API	$\leq 0,12$	$\leq 1,85$	$\leq 2,0$	$\leq 0,15$	$\leq 0,43$	$\leq 0,25$
Esp = 12,7mm	$\leq 0,08$	1,57 a	$\leq 0,90$	$\leq 0,13$	$\leq 0,43$	$\leq 0,20$
Esp > 12,7mm		1,70%	$\leq 0,60$		$\leq 0,39$	$\leq 0,17$

A Composição química foi definida considerando a possibilidade de utilização do conceito de processamento controlado HTP (*Hot Temperature Process*) com elevado teor de Nb.

3.1 Práticas de Laminação a Quente para Material API

No processo de laminação de tiras a quente, foi objetivada a realização da prática de processamento termomecânico controlado tradicional (sem uso do

princípio HTP), ou seja, realizar laminação de desbaste acima da temperatura de não recristalização (T_{nr}) e no trem acabador, abaixo da T_{nr} . A temperatura de final de laminação objetivada é acima da temperatura A_{r3} (transformação de fase γ/α).

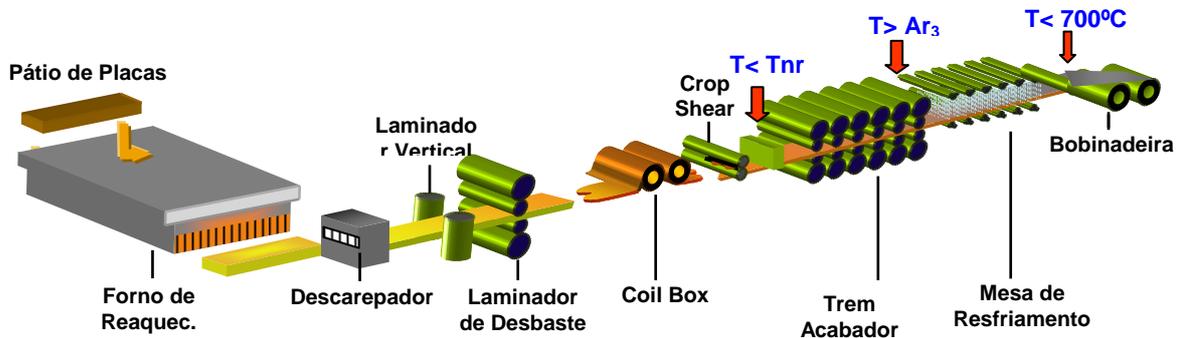


Figura 6 – Desenho esquemático do processo de laminação de tiras a quente da ArcelorMittal Tubarão.

4 RESULTADOS DE PROPRIEDADES MECÂNICAS OBTIDOS NA BOBINA

Para avaliação dos resultados de propriedades mecânicas do material, foram realizados ensaios de tração, de Charpy e DWTT em amostras de bobinas. Os ensaios foram realizados no sentido transversal ao de laminação, conforme definido pela Norma API,⁽¹⁾ sendo que o ensaio de tração também foi feito no sentido longitudinal.

4.1 Ensaio de Tração

De forma geral, em função do efeito Bauschinger (queda de propriedades mecânicas, principalmente limite de escoamento em material com microestrutura ferrita-perlita) tem-se observado que os resultados obtidos no tubo apresentam-se entre os resultados obtidos na BQ no sentido transversal e longitudinal ao de laminação. Apesar da microestrutura objetivada ser constituída por ferrita acicular, que não apresenta esta queda de propriedades mecânicas da BQ para o tubo, foram realizados ensaios em ambos os sentidos, sendo obtidos os resultados indicados na figura 7, sendo que todos os resultados atenderam aos requisitos da norma.

Observa-se também redução significativa do limite de resistência do material com espessuras mais elevadas. Esta redução pode ser associada a alteração da composição química (Tabela 1) utilizada juntamente com o aumento de espessura da BQ.

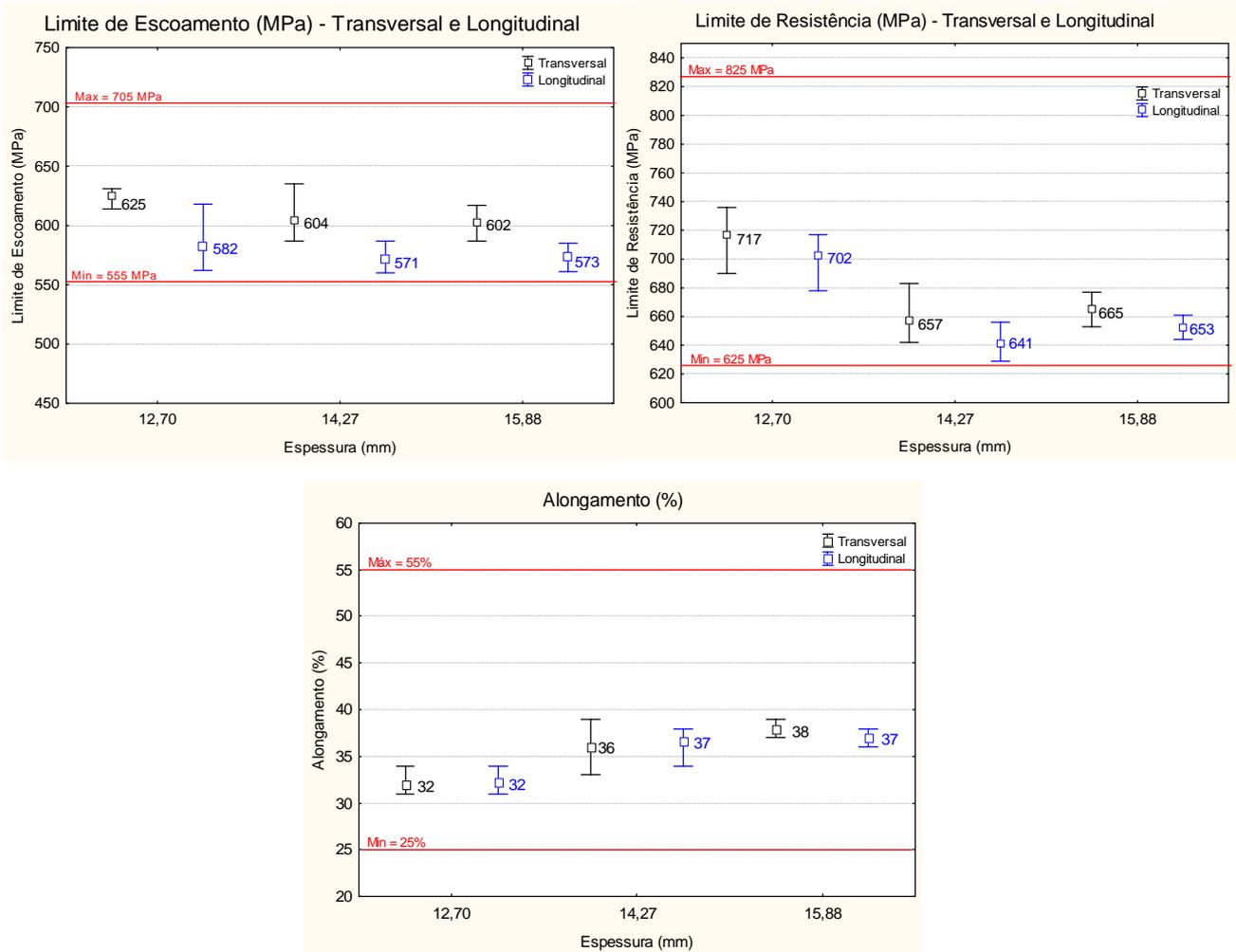


Figura 7 – Resultados de Propriedades Mecânicas no ensaio de tração.

4.2 Análise de Tenacidade

Para avaliação da tenacidade do material laminado, foram efetuados levantamentos da curva de transição no ensaio de Charpy e DWTT para cada espessura produzida, sendo obtidos os resultados indicados na Figuras 8.

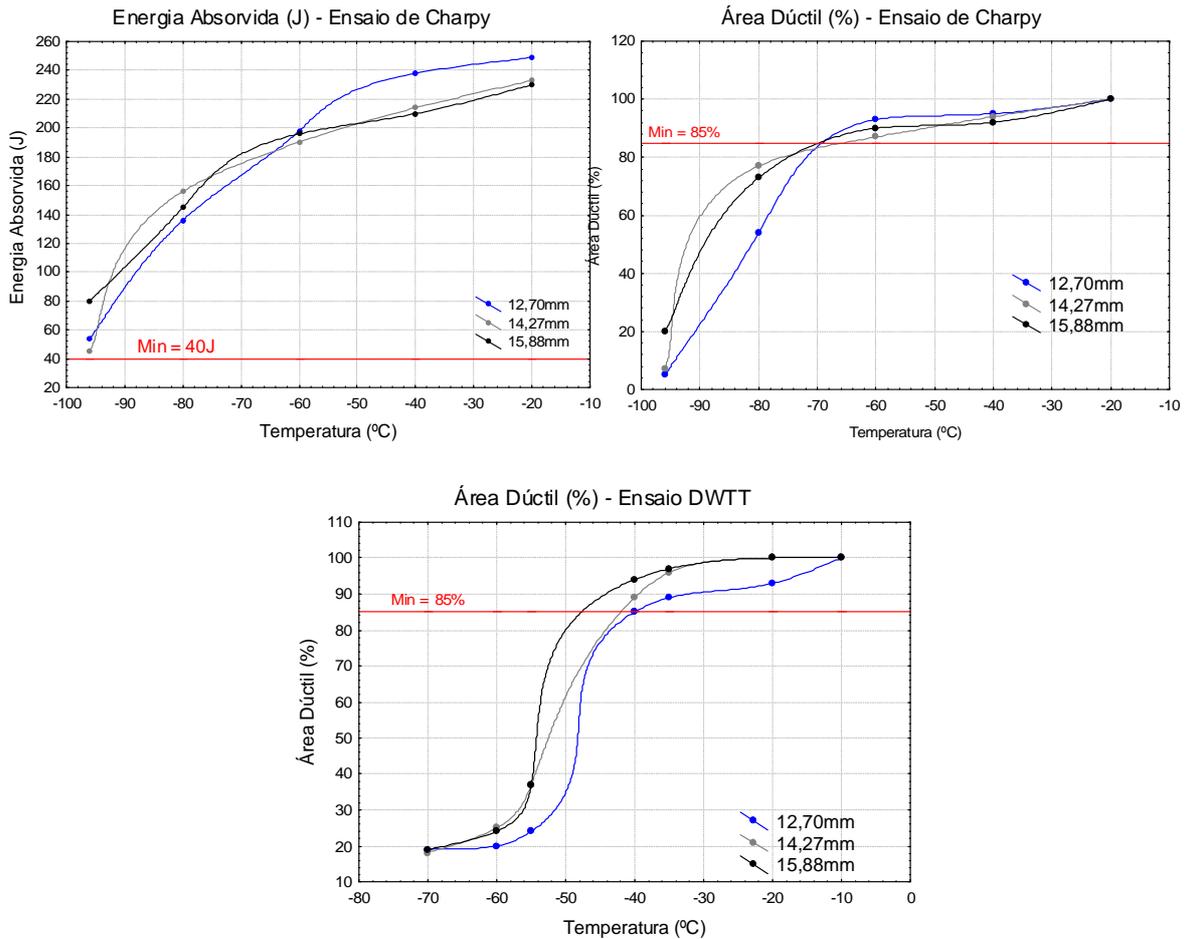


Figura 8 – Curva de Transição – Ensaio de Charpy e DWTT por espessura.

Conforme pode se observar na Figura 8, o material atendeu aos requisitos da Norma API para temperaturas de até -60°C no ensaio de charpy e -40°C no DWTT. Observa-se também que os resultados de tenacidade do material com espessuras de 14,27 mm e 15,88 mm apresentaram resultados ligeiramente melhores que o do material de 12,7 mm. Estes resultados podem estar sendo impactados pelo aumento do teor de Níquel efetuado na alteração da composição química do material.

4.3 Microestrutura

A microestrutura objetivada para este grau de material é a ferrita acicular, pois esta microestrutura apresenta boa relação de resistência mecânica e tenacidade. Para todas as espessuras produzidas foram obtidas microestrutura contendo ferrita acicular com ilhas de M/A, conforme pode ser observado na Figura 9. A análise foi realizada no sentido longitudinal com utilização de nital 2%.

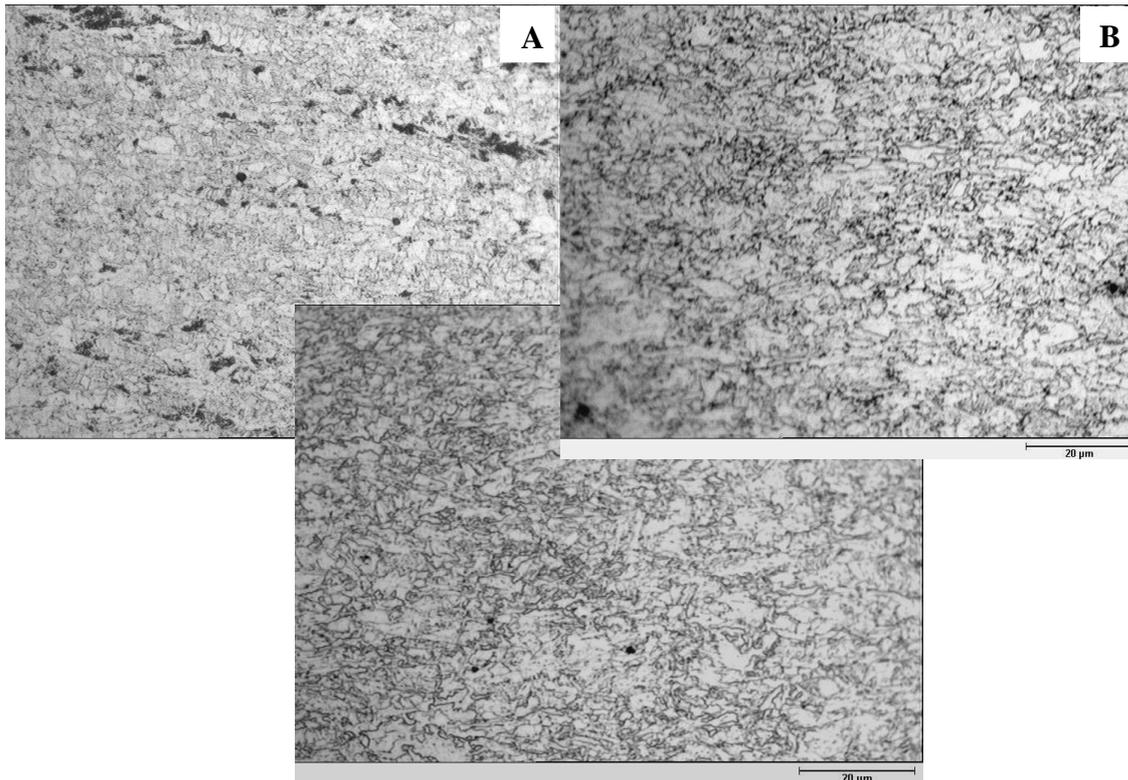


Figura 9 – Microestrutura obtida no material com espessura de 12,70mm (A), 14,27 mm (B) e 15,88 mm (C). Ataque com nital 2%.

5 CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS

- O projeto de qualidade escolhido pela ArcelorMittal Tubarão com adição de cromo ao invés do molibdênio tem mostrado resultados promissores na bobina;
- Foi observado que os requisitos de tenacidade, que é uma preocupação dos usuários de tubos, atenderam às exigências do mercado nacional em todas as espessuras produzidas, sendo que o atendimento à 85% de área dúctil no charpy foi para temperaturas acima de -60°C e no DWTT, -40°C ;
- Próximos Passos: avaliar resultados de propriedades mecânicas nos tubos que serão produzidos via SAW Helicoidal.

REFERÊNCIAS

- 1 American Petroleum Institute: Specification for Line Pipe. ANSI/API Specification 5L, Forty-Four Edition, Oct/2008;
- 2 Plano Estratégico da Petrobrás. Disponível em <http://www.petrobras.com.br>;
- 3 Siciliano, Fulvio; Stalheim, Douglas G.; Gray, Malcolm J.: Modern High Strength Steels for Oil and Gas Transmission Pipelines, 7th International Pipeline Conference, Set/08, Calgary – Canada;
- 4 Hulka, K: Thermomechanically Rolled Flat Products. Disponível em <http://www.cbmm.com.br>;
- 5 Stalheim, Douglas G.; Gray, J. Malcolm: Ferrite/Acicular Ferrite Alloy Designs for API X80 Gas Transmission Linepipe Steels;
- 6 Tang, Zhenghua: Optimising the Transformation and Yield to Ultimate Strength Ratio of Nb-Ti Microalloyed Low Carbon Line Pipe Steels Through Alloy and Microstructural Control. University of Pretoria, Pretória, África do Sul, 2006 (Tese de Doutorado, Engenharia Metalúrgica)

- 7 Graf, Michael; Scroder, Jens; Schwinn, Volker; Hulka, Klaus: Production of Large Diameter Pipes Grade X70 with High Toughness Using Acicular Ferrite Microstructures. Disponível em <http://www.cbmm.com.br>;
- 8 Bhadeshia, H.K.D.H, Lee, C.H., Lee, H.C.: Effect of Plastic Deformation on the Formation of Acicular Ferrite. Londres, 2003. Disponível em: <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans>;
- 9 Bhadeshia, H.K.D.H; Yang, J.R.: Thermodynamics of the acicular ferrite transformation in alloy steel weld deposits. Londres, 1987. Disponível em <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans>
- 10 Weiwei,Li; Chunyong,Huo; Qiurong, Ma; Yaorong, Feng: The Development of Large Diameter & Thickness X80 HSAW Linepipe, 7th International Pipeline Conference, Alberta, Canadá, Set/08;
- 11 Stalheim, D.G.; Barnes, K.R.; McCutcheon, D.B: Alloy Designs for High Strength Oil and Gas Transmission Linepipe Steels. CBMM-TMS International Symposium Microalloyed Steels for the Oil and Gas Industry, Jan/2006, Araxá, Brasil.
- 12 Gray, Malcolm J.: A guide for Understanding & Specifying Chemical Composition of High Strength Linepipe Steels, Julho 2007, CBMM e EWIMicroalloying
- 13 Kim, Kisoo; Bae, Jin Ho: Metallurgical and Process Parameters for Commercial Production of High Toughness API-X80 Grade Hot Rolled Strips. 7th International Pipeline Conference, Calgary-Canada, Out/2008