



DESENVOLVIMENTO DE CHAPAS GROSSAS PARA VASOS DE PRESSÃO COM REQUISITO DE IMPACTO E BAIXO TEOR DE NIÓBIO¹

Daniel Bojikian Matsubara²

Resumo

Na Usiminas utilizam-se aços contendo nióbio para a produção de chapas grossas com aplicação em vasos de pressão, que são materiais que exigem alto limite de resistência, elevada resistência ao impacto e cuja aplicação é de alto risco. Desta forma, o uso do nióbio é de grande valia, pois pequenas adições deste elemento contribuem significativamente tanto para o aumento das propriedades mecânicas quanto da ductilidade e, conseqüentemente, da tenacidade sem que haja grande prejuízo à soldabilidade. No entanto, alguns clientes limitam o teor máximo permitido para o nióbio, gerando dificuldades em se atender estes consumidores com chapas espessas (sobretudo em espessuras acima de 2 polegadas). A fim de flexibilizar a negociação deste material, elaborou-se este trabalho para atender as exigências dos clientes que desejavam chapas grossas para vasos de pressão com requisito de impacto em baixas temperaturas, porém com teor de nióbio reduzido.

Palavras-chave: Vasos de pressão; Norma ASTM A516; Nióbio; Impacto.

DEVELOPMENT OF PLATES FOR PRESSURE VESSELS WITH IMPACT REQUIREMENT AND LOW NIOBIUM

Abstract

Usiminas utilizes steels containing niobium for the production of plates used in pressure vessels, which are materials that demand high tensile strength values, high impact resistance as well as it is a high risk application. Thus the use of niobium has great value, for small additions of this element contribute significantly in the increase of mechanical properties and ductility, consequently increasing toughness without jeopardize to weldability. However some customers limit the maximum amount of niobium permitted, causing difficulties to attend these consumers with heavy plates (overall thicknesses above 2 inches). In order to turn negotiations for this material more flexible, this study was conducted to attend customers who demanded plates for pressure vessels with impact requirements in low temperatures, but with a lower amount of niobium.

Key-words: Pressure vessels; Standard ASTM A516; Niobium; Impact.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Mestrando., Eng^o de Materiais, Engenheiro de Produto Pleno da Usiminas - Cubatão, unidade de Controle Integrado do Produto. E-mail: daniel.matsubara@usiminas.com.



1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que a resistência mecânica e a ductilidade são propriedades antagônicas nos materiais e que o aumento simultâneo de ambos é de difícil obtenção. A melhor forma de se conseguir a concordância destas propriedades é com o refino de grão. A Figura 1 mostra a evolução do limite de escoamento para aços C-Mn e C-Mn-Nb com o refino de grão. Sendo assim, o nióbio contribui significativamente na obtenção desta característica microestrutural, pois pequenas quantidades deste elemento em solução sólida promovem o atraso da recristalização (Figura 2), preparando a austenita para gerar uma ferrita mais fina. Além deste mecanismo, o nióbio também apresenta a tendência à formação de precipitados na forma de carbonetos, nitretos e carbonitretos. A Figura 3 apresenta como este mecanismo contribui para o aumento da resistência do aço.

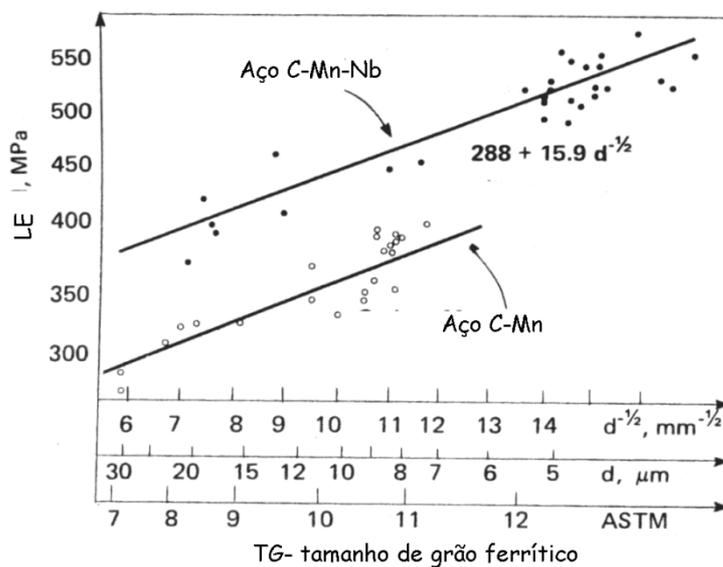


Figura 1 – Evolução do limite de escoamento em função do tamanho de grão para um aço C-Mn e para um aço C-Mn-Nb.⁽¹⁾

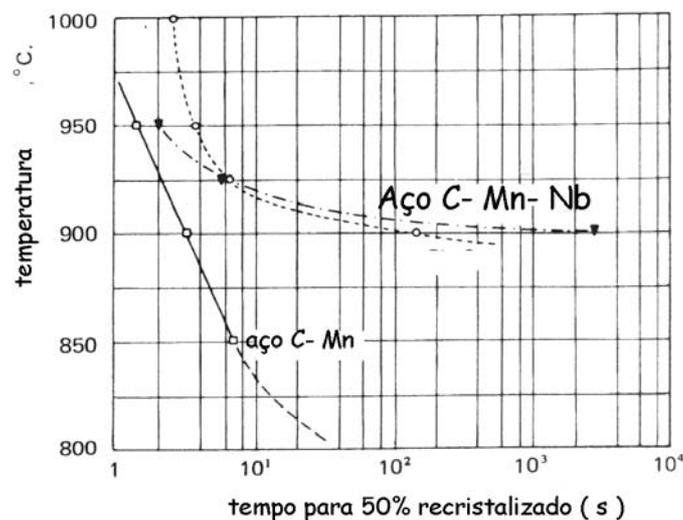


Figura 2 – Efeito do Nb causando o atraso na recristalização da austenita.⁽¹⁾

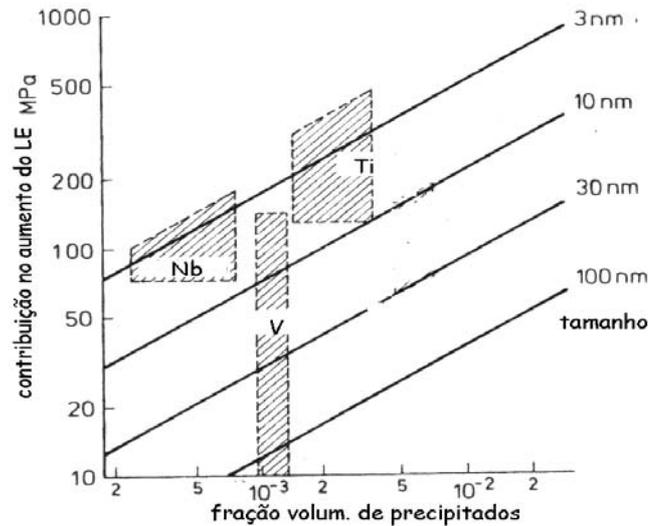


Figura 3 - Contribuição da fração volumétrica de precipitados no aumento do limite de escoamento do aço.⁽¹⁾

Estes aços contendo nióbio são usados para produção de chapas grossas para aplicação em vasos de pressão com tenacidade em baixas temperaturas, os quais, na Usiminas - Cubatão são 2 tipos: um com Nb_{máx} = 0,04% atendendo espessuras de até 76,2 mm e outro com Nb_{máx} = 0,02% e adição de cromo atendendo espessuras de até 50,8 mm.

Comumente usam-se as especificações com maior teor de nióbio em função do menor custo, e por abrangerem uma faixa maior de espessuras. No entanto para se usar nióbio máximo maior que 0,02%, é necessário, por norma, acordo entre as partes envolvidas, como mostrado na Tabela 1. Esta condição não é permitida em alguns mercados, como por exemplo o mercado americano e canadense.

Tabela 1 – Tabela mostrando os teores de elementos de liga permitidos para uso em aços para vasos de pressão⁽⁴⁾

Copper, max %	Heat analysis	0.40
	Product analysis	0.43
Nickel, max %	Heat analysis	0.40
	Product analysis	0.43
Chromium, max %	Heat analysis	0.30
	Product analysis	0.34
Molybdenum, max %	Heat analysis	0.12
	Product analysis	0.13
Vanadium, max %	Heat analysis	0.03
	Product analysis	0.04
Columbium, max % ^A	Heat analysis	0.02
	Product analysis	0.03
Titanium, max %	Heat analysis	0.03
	Product analysis	0.04

(A) By agreement between the purchaser and the supplier, the heat analysis limit for columbium is permitted to be increased to a value not higher than 0.05 %, and the product analysis limit for columbium is permitted to be increased to a value not higher than 0.06 %.

Neste trabalho busca-se atender à somatória destas duas categorias de especificações, ou seja, produzir um aço com $Nb_{\max} = 0,02\%$, que atenda ao requisito de impacto em baixas temperaturas e com espessuras acima de 50,8 mm.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento foi feito a partir de um pedido de chapas grossas de 63 mm de espessura da qualidade ASTM A516 grau 70 com requisitos de tração, charpy e análise química. Os resultados químicos e físicos foram obtidos nos laboratórios da Usiminas Cubatão.

Para se chegar à especificação desejada, inicialmente foram coletados dados de propriedades mecânicas dos dois projetos de liga atuais, usados para atender materiais para vasos de pressão com impacto e averiguar qual o desempenho em relação à norma de produto. Paralelamente estudou-se a norma ASTM A516 **colocar na lista de referências** a fim de verificar quais seriam os elementos químicos e as respectivas quantidades que poderiam ser usados para compor a nova especificação.

A primeira proposta foi de usar um aço C-Mn contendo adições de Cr e Ni. A adição de Ni, no entanto, trazia algumas inconveniências operacionais, uma vez que ele provoca o aparecimento de uma carepa bastante aderente à superfície das chapas, dificultando a obtenção de planicidade no laminado. Além disso trata-se de um elemento caro e de menor disponibilidade.

Desta forma, em substituição ao Ni, preferiu-se ajustar as composições químicas das especificações antigas, utilizando as aberturas dadas pela própria norma ASTM no que se refere à relação das quantidades de carbono e manganês. De acordo com a norma ASTM A516, para cada redução de 0,01% abaixo do máximo permitido de carbono, pode-se aumentar em 0,06% o teor de manganês até um máximo de 1,5%, conforme mostrado na tabela 2 abaixo. O projeto de liga final obtido foi de um aço contendo C-Mn-Cr-Nb-Ti, com maior Mn e menor C que os aços originais.

Tabela 2 – Tabela mostrando os requisitos químicos da norma ASTM A516 e a nota que permite o acréscimo de Mn até 1,5%⁽³⁾

Elements	Composition, %			
	Grade 55 [Grade 380]	Grade 60 [Grade 415]	Grade 65 [Grade 450]	Grade 70 [Grade 485]
Carbon, max^{A,B}:				
½ in. [12.5 mm] and under	0.18	0.21	0.24	0.27
Over ½ in. to 2 in. [12.5 to 50 mm], incl	0.20	0.23	0.26	0.28
Over 2 in. to 4 in. [50 to 100 mm], incl	0.22	0.25	0.28	0.30
Over 4 to 8 in. [100 to 200 mm], incl	0.24	0.27	0.29	0.31
Over 8 in. [200 mm]	0.26	0.27	0.29	0.31
Manganese^B:				
½ in. [12.5 mm] and under:				
Heat analysis	0.60–0.90	0.60–0.90 ^C	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–0.98	0.55–0.98 ^C	0.79–1.30	0.79–1.30
Over ½ in. [12.5 mm]:				
Heat analysis	0.60–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20
Product analysis	0.55–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30	0.79–1.30
Phosphorus, max^A	0.035	0.035	0.035	0.035
Sulfur, max^A	0.035	0.035	0.035	0.035
Silicon:				
Heat analysis	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40
Product analysis	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45	0.13–0.45

^A Applies to both heat and product analyses.

^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified maximum for carbon, an increase of 0.06 percentage point above the specified maximum for manganese is permitted, up to a maximum of 1.50 % by heat analysis and 1.60 % by product analysis.

^C Grade 60 plates ½ in. [12.5 mm] and under in thickness may have 0.85–1.20 % manganese on heat analysis, and 0.79–1.30 % manganese on product analysis.

3 RESULTADOS

Nas Tabelas 3 e 4 abaixo estão, respectivamente, os resultados de propriedades mecânicas médias e a composição química visada da corrida utilizada no desenvolvimento da nova especificação. Todos os ensaios foram executados segundo as normas ASTM.

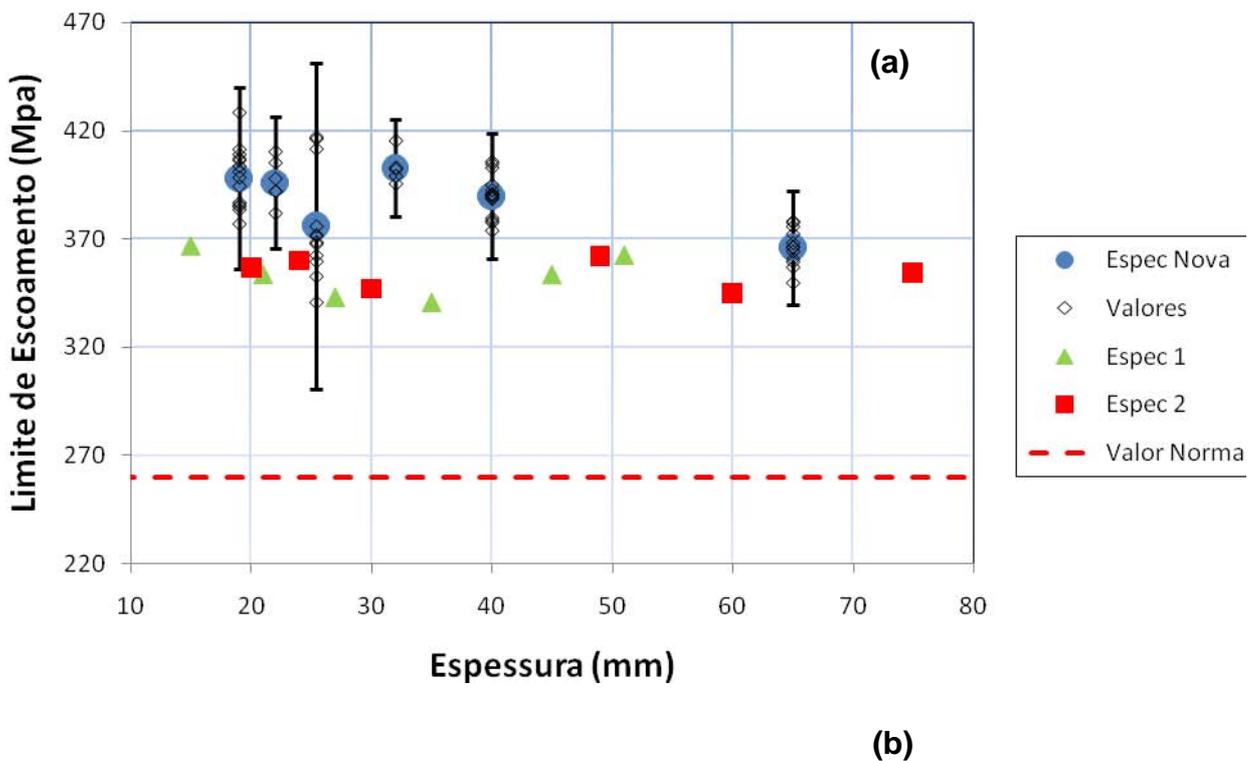
Tabela 3 – Valores médios de tração e impacto para a corrida produzida com a nova especificação

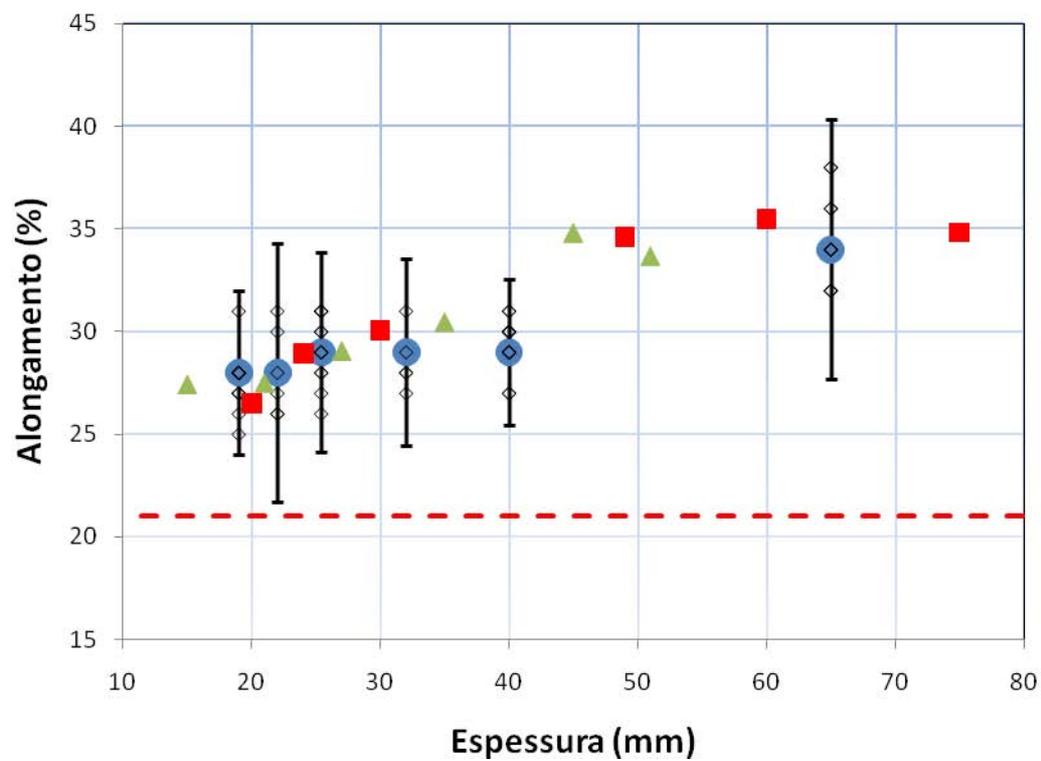
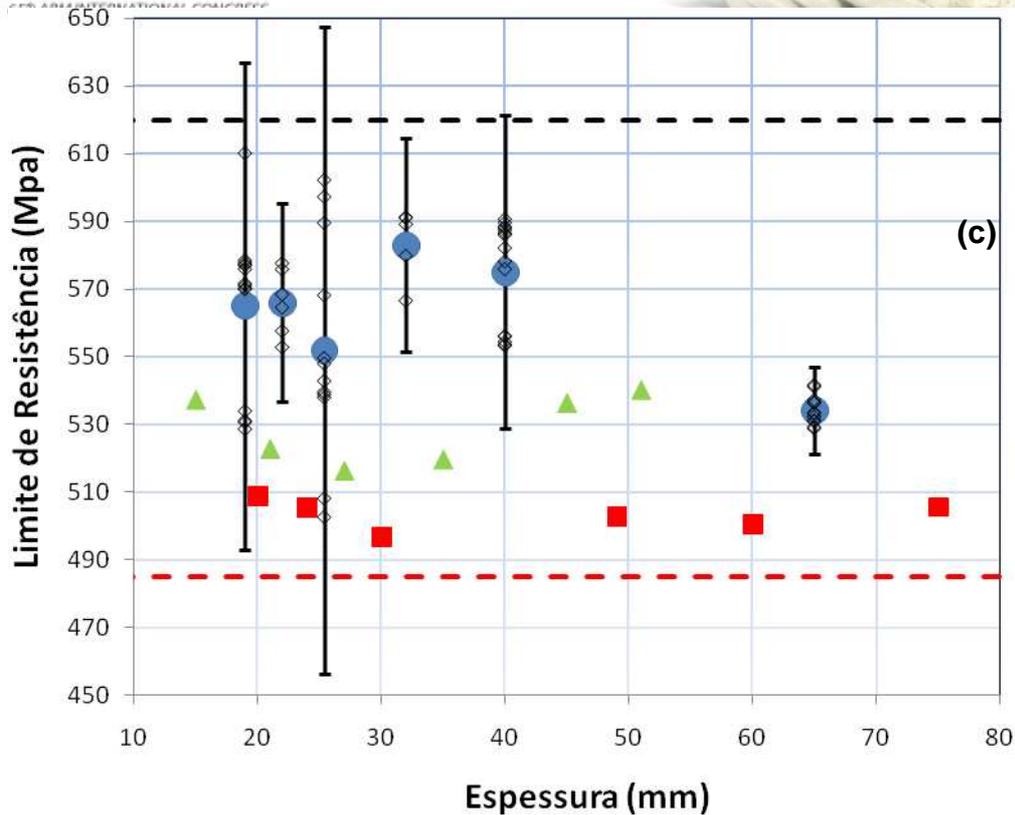
Tração (ASTM A370)			Charpy Longitudinal		
LE(MPa)	LR(MPa)	AL(%)	Temperatura (°C)	Energia Abs. Min(J)	Energia Abs. Méd(J)
366	534	34	-40	109	140

Tabela 4 – Composição química visada da corrida produzida com a nova especificação

Cmáx (%)	Mnmáx (%)	Simáx (%)	Pmáx (%)	Smáx (%)	Almin (%)	Crmáx (%)	Nbmáx (%)	Timáx (%)
0,27	1,50	0,40	0,035	0,035	0,020	0,30	0,02	0,03

Além da corrida experimental, foram obtidos posteriormente outros dados da nova especificação em aplicações de menor espessura. Para melhor ilustrar os resultados do novo aço, os dados destas espessuras menores também foram plotados nos gráficos abaixo. Os resultados foram comparados com as duas outras especificações que já eram utilizadas, conforme mostrado na Figura 4 a) a d) abaixo, onde “Epec nova” corresponde ao novo aço, “Espec 1” corresponde ao material com Nb mais baixo e “Espec 2” corresponde ao aço com teor de Nb mais alto. Os valores desta figura são as propriedades mecânicas médias de cada especificação. Para a “Espec nova” foi também plotado o desvio padrão com os valores reais.





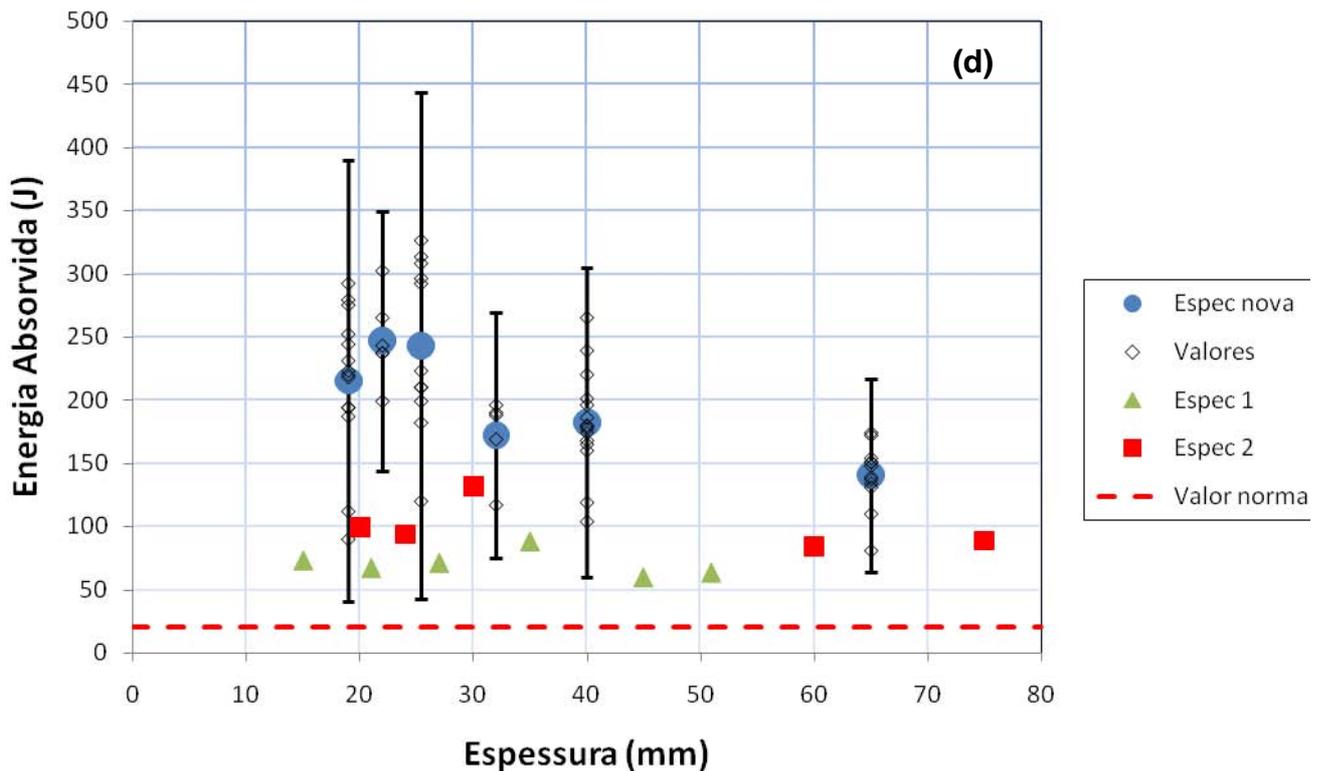


Figura 4 – Valores de propriedades mecânicas em função da espessura de chapa. (a) Limite de escoamento, (b) Limite de resistência, (c) Alongamento e (d) Impacto.

4 DISCUSSÃO

Os resultados de propriedades mecânicas mostram que a especificação elaborada para atender o produto chapas grossas com aplicação em vasos de pressão, com requisito de impacto em baixas temperaturas e teor de nióbio limitado a 0,02% de norma foi bem sucedida, equiparando-se aos valores das especificações originais.

Pela Figura 4 (a) e (b) verifica-se aumento nas propriedades de tração, tanto no limite de escoamento quanto no limite de resistência, evidenciando que o efeito do incremento do teor de manganês foi capaz de compensar a redução do carbono.

O aumento no alongamento apresentado em todas as especificações na Figura 4 (c), a partir de espessuras de 40mm, deve-se ao fato de se utilizar corpos de prova de tração cilíndricos com base de medida 50 mm, acarretando o efeito observado. Espessuras abaixo de 40 mm utilizam corpos de prova prismáticos com base de medida 200 mm. Analisando a figura em função da especificação utilizada, não houve alteração significativa no alongamento.

Na Figura 4 (d) observa-se que a “Espec nova” obteve melhores resultados de charpy, tanto para espessuras abaixo quanto para a espessura acima de 50,8mm. Um dos fatores que levaram a estes resultados foi a diminuição de carbono. Outro fator pode ser o tratamento térmico, porém neste trabalho, não foram realizados ensaios metalográficos para comprovar a influência da normalização.

Em termos financeiros, a nova liga teve um custo de produção menor que a proposta original contendo níquel, porém maior que a “Espec 1”, devido ao maior teor de manganês e maior que a “Espec 2”, devido à maior quantidade de manganês e adição de cromo.

5 CONCLUSÃO

Os valores encontrados permitem concluir que novas experiências usando esta especificação em chapas ainda mais espessas têm elevado potencial de sucesso. Pretende-se, portanto, elevar a utilização desta liga em novos pedidos e consolidar os resultados obtidos aumentando-se a massa de dados.

Apesar do maior custo em relação às especificações atuais (“Espec 1” e “Espec 2”), foi possível ampliar o portfólio de produtos disponíveis e expandir as oportunidades de negócio da empresa. Isto flexibiliza a comercialização de grandes lotes, diluindo a questão do custo de produção.

A partir deste trabalho pôde-se perceber que é possível desenvolver e adequar novas especificações através do conhecimento das normas de produto, das normas de requisitos gerais e explorar o histórico de fornecimento e o “know-how” da empresa.

REFERÊNCIAS

- 1 Notas de aula do Prof. Dr. Ronald Lesley Plaut para curso de “Metalurgia Física das Transformações Mecânicas”, Programa de Pós Graduação do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2009.
- 2 KORCHYNSKY, M.. HSLA Steels Technology And Applications. In: Conference Proceedings of International Conference on Technology and Applications of HSLA Steels. Philadelphia - Pennsylvania, October 1983
- 3 A 516/A 516M – 06 – Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, For Moderate and Lower Temperature Service. Annual Book of ASTM Standards, Section one, Iron and Steel Products, Vol 01.04, 2009.
- 4 A 20/A 20M – 06 – General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels. Annual Book of ASTM Standards, Section one, Iron and Steel Products, Vol 01.04, 2009.
- 5 A 370 – 08a – Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. Annual Book of ASTM Standards, Section one, Iron and Steel Products, Vol 01.04, 2009.