

Tema: Produtos Metálicos

EFEITO DO NIÓBIO NAS PROPRIEDADES DE UM NOVO AÇO FERRAMENTA PARA EXTRUSÃO DE ALUMÍNIO - VEX*

*Fernanda Moreno Rodrigues¹
Rafael Agnelli Mesquita²*

Resumo

A adição de elementos microligantes para o controle do crescimento do grão austenítico vem sendo largamente utilizada nas últimas décadas. O Nióbio é tido como o elemento mais importante deste grupo, pois produz precipitados finos na matriz que ancoram os contornos de grão, retardando o seu crescimento. O presente trabalho avalia o efeito do Nióbio no tamanho do grão austenítico do aço VEX, um aço ferramenta para trabalho a quente utilizado para extrusão de alumínio. O estudo baseou-se na comparação entre duas composições químicas, uma sem Nióbio e outra com microadição de 0,02%. Ambas foram caracterizadas microestruturalmente e quanto à tenacidade. O tamanho de grão foi avaliado após austenitização entre 980°C e 1.200°C. Os resultados mostram que a adição de Nióbio é efetiva no refino de grão em elevadas temperaturas, o que é relevante para a aplicação industrial do aço em questão.

Palavras-chave: Aço ferramenta; Extrusão de alumínio; Nióbio; Refino de grão.

NIOBIUM EFFECT ON THE PROPERTIES OF THE NEW HOT WORK TOOL STEEL FOR ALUMINUM EXTRUSION - VEX

Abstract

The addition of micro alloying elements to control grain growth has been largely used in the past few decades. Niobium is the most important element of this group since it produces fine precipitates in the matrix promoting the pinning effect of the grains. The present work evaluates the Niobium effect on grain size of VEX, a hot work tool steel developed for the aluminum extrusion segment. This study compares two chemical compositions: one without Niobium and another with the addition of 0,02%. Both materials were characterized for microstructure and toughness. The grain sizes were evaluated after quenching between 980°C and 1,200°C. The results showed that the Niobium addition is effective in grain refining, which is relevant for the industrial application of the studied steel.

Keywords: Tool steel; Aluminum extrusion; Niobium; Grain refinement.

¹ *Engenheira de Materiais, Pesquisadora, Villares Metals, Sumaré, SP, Brasil; fernanda.rodriques@villaresmetals.com.br.*

² *Doutor em Engenharia de Materiais, Diretor de Tecnologia do produto e Marketing, Villares Metals, Sumaré, SP, Brasil; rafael.mesquita@villaresmetals.com.br.*

* *Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O VEX (Villares extrusão) é um aço ferramenta para trabalho a quente que foi desenvolvido especialmente para o segmento de extrusão de alumínio. Ele possui ótima resistência ao desgaste, devido a sua excelente resposta à nitretação, e ótima resistência ao revenimento. Essas propriedades foram alcançadas através da adição de Alumínio e da redução dos teores de Cromo, Molibdênio e Vanádio quando comparados aos teores do VH13ISO, aço tradicionalmente utilizado para essa aplicação [1].

No entanto, devido ao seu menor teor de elementos de liga, o VEX apresenta crescimento de grãos em alta temperatura e recomenda-se uma austenitização a 980°C. Assim, para permitir a têmpera em temperaturas mais elevadas e padronizadas em relação ao VH13ISO, estudou-se o refino de grão a partir da microadição de Nióbio.

A adição de elementos “microligantes”, como o Titânio, Vanádio e Nióbio, para o controle do crescimento dos grãos austeníticos vem sendo largamente utilizada. Esses elementos alteram a microestrutura e as propriedades dos materiais através da precipitação de uma segunda fase e, portanto, devem possuir propriedades como: elevado potencial para a formação de carbonetos e nitretos, elevado ponto de fusão do precipitado formado e raio atômico próximo do Ferro, para que estejam inicialmente em solução sólida [2].

O modelo para crescimento de grãos é dado pela Equação (1) abaixo:

$$D = K \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{2RT}\right) \quad \text{Equação (1)}$$

onde D é o tamanho de grão, K é uma constante, R é a constante universal dos gases, T é a temperatura e E_a é a energia de ativação, igual a inclinação da curva $\ln(D) \times 1/T$. Esta relação é linear, mas o que se nota na prática não é uma perfeita correlação, pois são evidenciadas duas energias de ativação, uma inicial no estágio mais lento e uma segunda num estágio mais rápido [3].

Durante o estágio inicial, o mecanismo de refino de grãos ocorre através do efeito de ancoramento dos grãos com a precipitação de partículas nos seus contornos. Inicialmente, em baixas temperaturas, essa precipitação de finos carbonitretos é suficiente para barrar o crescimento de grãos e nessa fase a força motriz para o crescimento é o decréscimo da energia livre do sistema. Isto é, a fonte de energia é a própria área superficial dos grãos, que evoluirá com a temperatura fazendo com que os grãos grandes cresçam a partir dos pequenos [3,4].

Quando a temperatura atingir um valor superior a uma temperatura crítica, a energia de ativação é alterada e se inicia o segundo estágio. Passa a ocorrer tanto coalescimento quanto dissolução das partículas e o número de precipitados torna-se insuficiente para barrar o crescimento dos grãos. Nessa etapa apenas as partículas mais grosseiras poderão atuar no controle do crescimento de grãos e, portanto, o mecanismo já não é tão eficiente [4].

Essa mudança de comportamento para os aços microligados ao Nióbio ocorre por volta dos 1050°C, enquanto que para aços microligados ao Vanádio, por exemplo, ocorre em torno de 1000°C. Essa diferença se dá pela maior estabilidade termodinâmica dos precipitados de Nióbio, favorecendo a sua utilização como elemento “microligante”. Com base nas propriedades descritas e também na sua

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

disponibilidade e valor de mercado, o Nióbio se torna um dos elementos mais interessantes para essa aplicação [3,4].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo baseou-se na comparação entre duas composições químicas de aço VEX: sem Nióbio e com a adição de 0,02%, chamados neste trabalho de VEX e VEXNb. Ambos os aços foram produzidos em aciaria convencional e as amostras foram retiradas de barras forjadas no estado recozido com diâmetro próximo de 250 mm. As composições químicas dos aços utilizados seguem na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química em porcentagem em massa dos aços VEX*. [1]

Aço	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Al	Nb
VEX	0,5	0,3	0,3	3,7	0,6	0,4	0,55	-
VEXNb	0,5	0,3	0,3	3,7	0,6	0,4	0,55	0,02

*Marca registrada Villares Metals; patente depositada.

Para os tratamentos térmicos as amostras foram retiradas sempre do meio raio das barras. Para a análise do tamanho de grão foram realizadas têmperas nas seguintes temperaturas: 980, 1000, 1020, 1030, 1050, 1100, 1150 e 1200°C. O ciclo empregado foi de 30 minutos em temperatura, sob vácuo e com resfriamento em óleo. O tamanho de grão foi medido seguindo o método Hilliard, utilizando-se a média de 15 campos para cada amostra.

Os aços também foram analisados quanto à tenacidade através de ensaios de impacto. Oito amostras de cada aço foram retiradas transversalmente do centro das barras e os corpos de prova foram usinados para dimensões de 10x10x55mm, com entalhe (charpy V). Em seguida, jogos de quatro corpos de prova foram tratados termicamente em forno industrial com austenitizações a 980°C e 1020°C, ambos com ciclos de revenimento para atingir 45 HRC. Após os ensaios de impacto os aços foram analisados também em microscópio eletrônico de varredura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

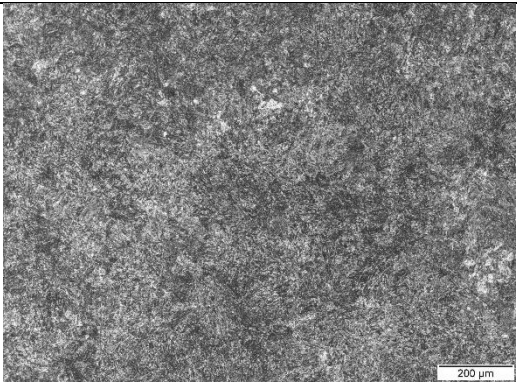
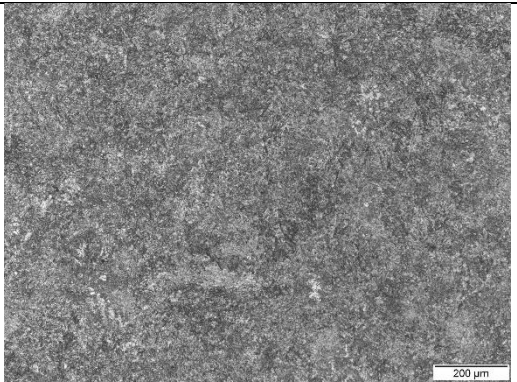
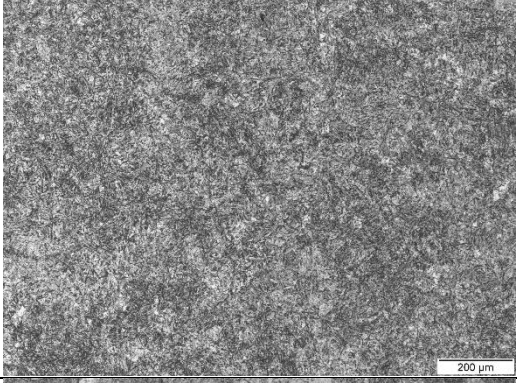
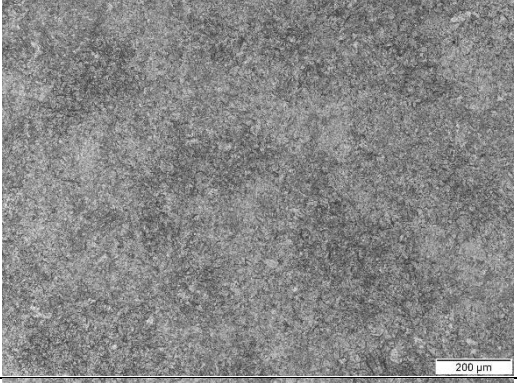
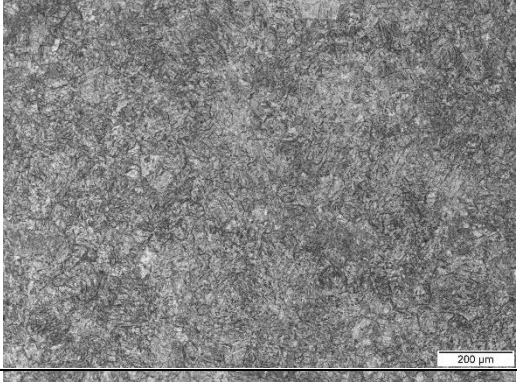
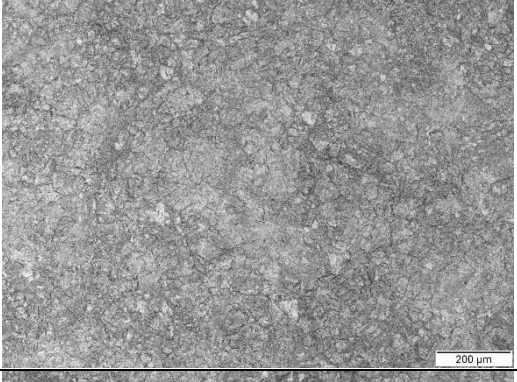
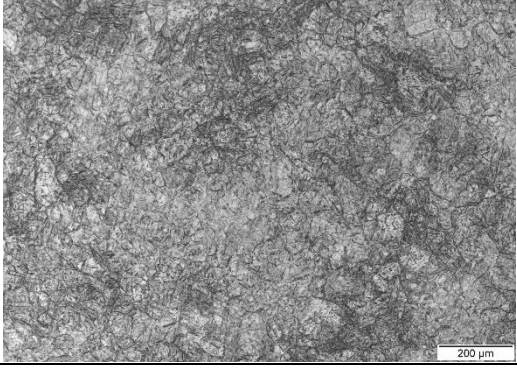
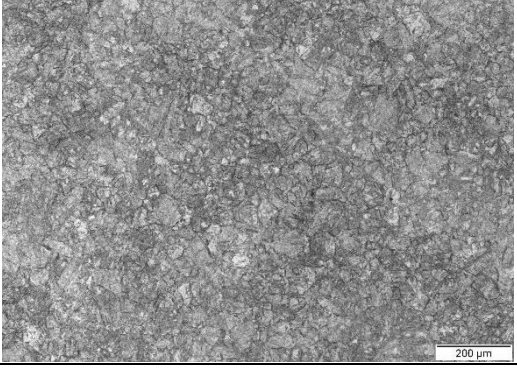
3.1 Tamanho de Grão

Após as têmperas, as amostras de VEX e VEXNb foram analisadas quanto às microestruturas e aos tamanhos de grão com o objetivo de verificar a influência da adição do Nióbio como agente refinador. Observa-se na Tabela 2 que até cerca de 1030°C, os tamanhos de grão entre ambos os aços estão refinados e bastante semelhantes. Na sequência, nota-se que com o aumento da temperatura os grãos do aço VEX ficaram mais grosseiros do que os do VEXNb, indicando o efeito do Nióbio em controlar o crescimento de grão em altas temperaturas, como descrito na literatura.

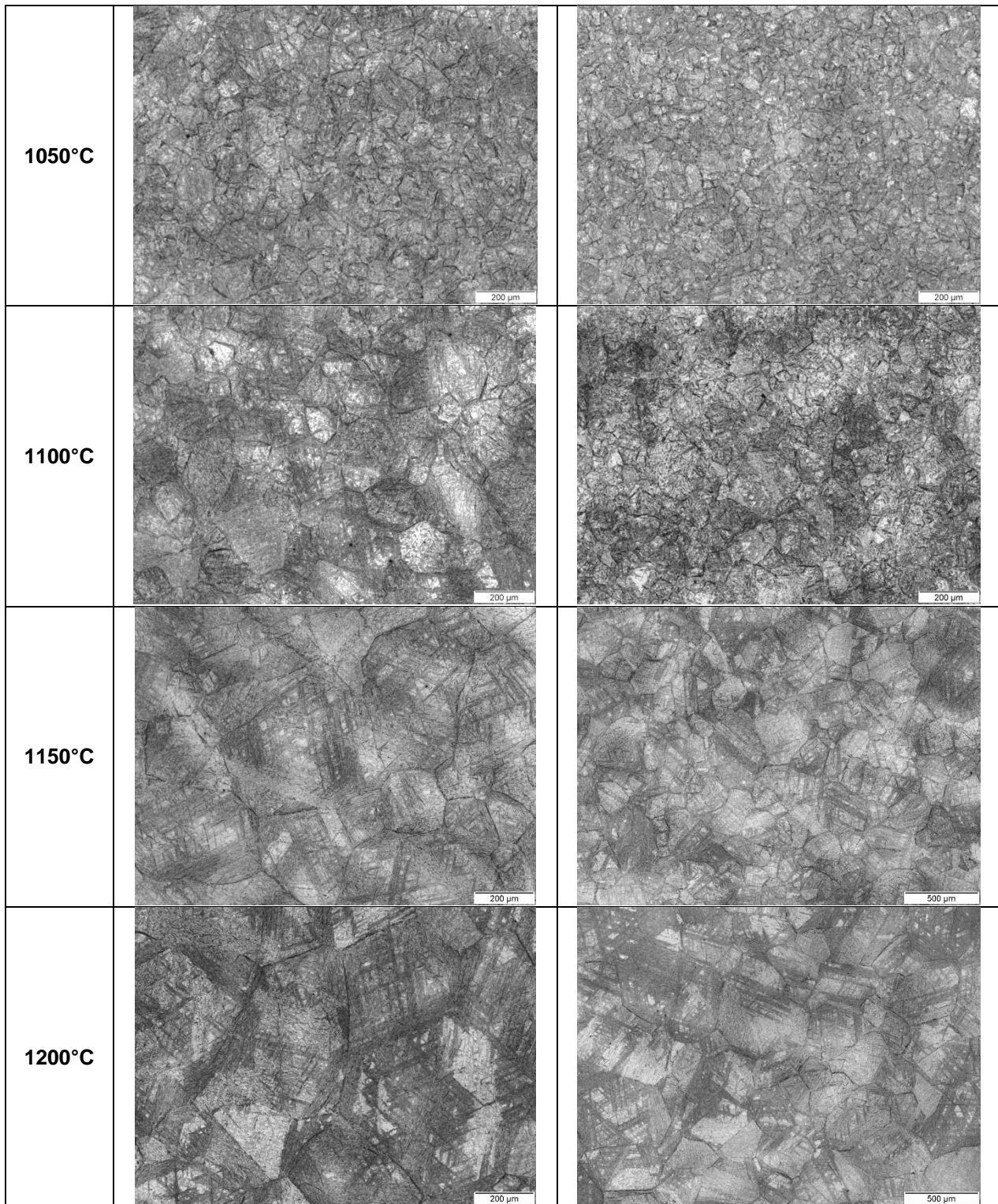
Em baixas temperaturas os grãos ficaram refinados o suficiente para impossibilitar a avaliação do tamanho de grão via método Hillard. Assim, foram medidos somente os grãos a partir de 1050°C e os resultados foram extrapolados para baixas temperaturas, com correlação (R^2) próximo de 1, como mostram as Figuras 1 e 2. Observa-se um refino de grão expressivo no aço VEXNb, que apresentou tamanho de grão cerca de 50µm menor em relação ao aço VEX.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Tabela 2. Micrografias de aços VEX e VEXNb após têmperas em diversas temperaturas. Aumento: 100x. Reagente químico para ataque: Villela

	VEX	VEX+Nb
980°C		
1000°C		
1020°C		
1030°C		

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Em ambas as temperaturas o VEXNb mostrou-se equivalente ao aço VEX. A tenacidade obtida foi baixa devido à severidade do ciclo industrial. Em ensaios laboratoriais os resultados ultrapassam 13J.

A Figura 4 contém as micrografias de ambos os aços após o ciclo do VH13ISO, onde se pode verificar o menor tamanho de grão e a maior homogeneidade na amostra de VEXNb, como esperado.

A diferença de tenacidade entre as amostras não foi observada, pois neste caso outros efeitos são mais importantes. A Figura 5 mostra a análise em microscopia eletrônica das inclusões e das fraturas de VEX e VEXNb após o ensaio. Nota-se a presença de nitretos de alumínio em ambos os aços e, no caso do VEXNb, também foi possível observar a presença de carbonetos primários de Nióbio, evidenciados nas micrografias da Figura 6. Ambos os tipos de partículas prejudicam a tenacidade e este efeito é predominante em relação ao tamanho de grão.

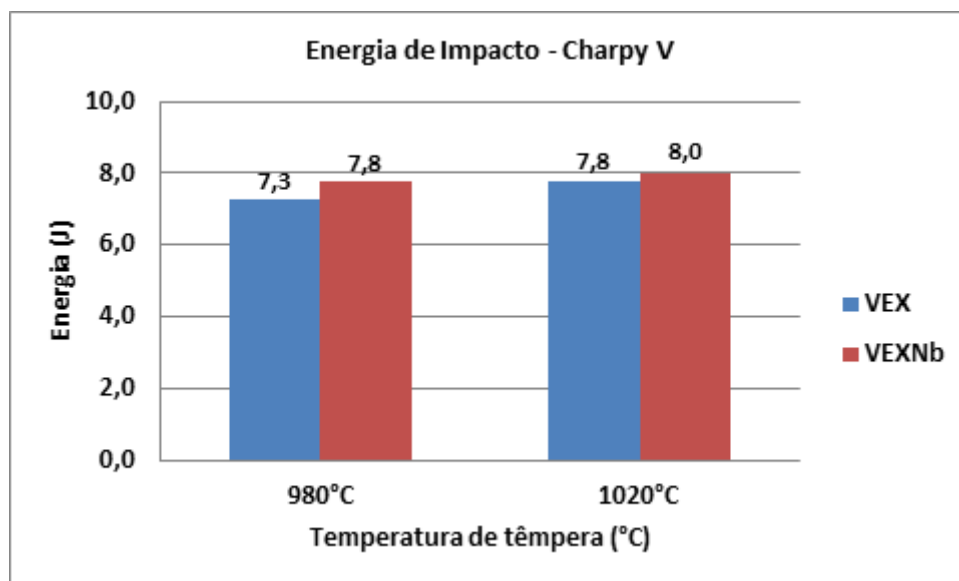
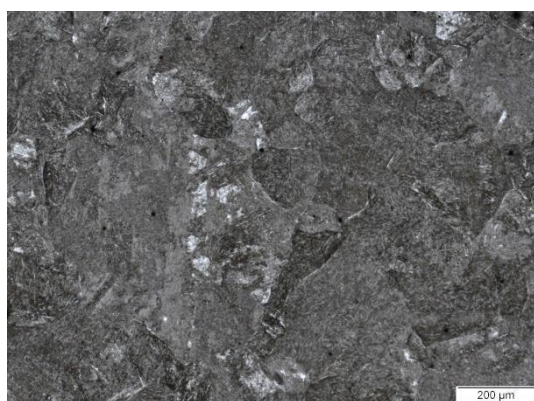
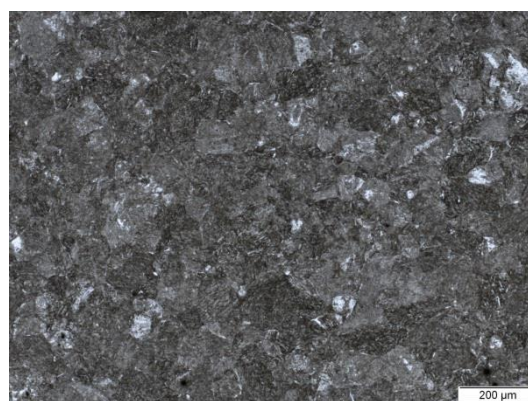


Figura 3. Resultados dos ensaios de impacto (Charpy V) para VEX e VEXNb, após tratamento térmico em forno industrial.



VEX



VEXNb

Figura 4. Micrografias de VEX e VEXNb após ciclo industrial com têmpera a 1020°C. Aumento: 100x. Reagente químico para ataque: Villela.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

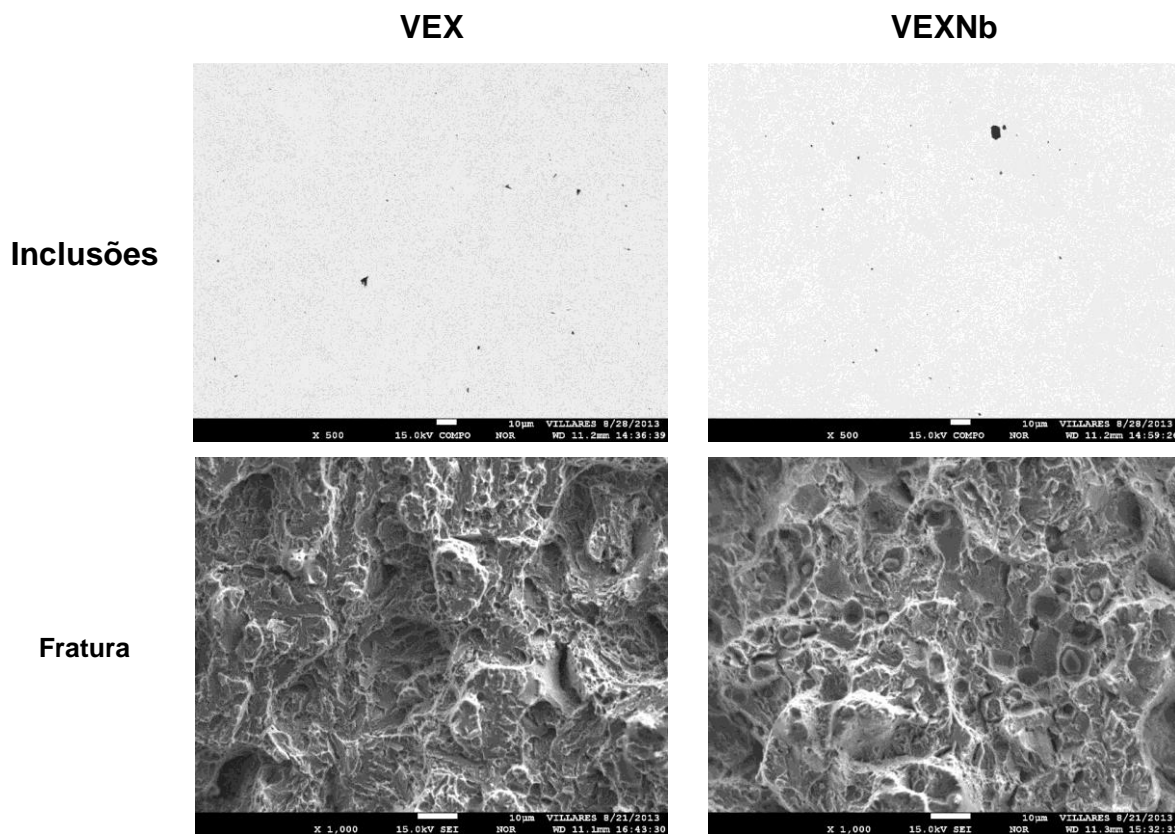


Figura 5. Análise em Microsonda eletrônica de varredura das inclusões e das fraturas de VEX e VEXNb.

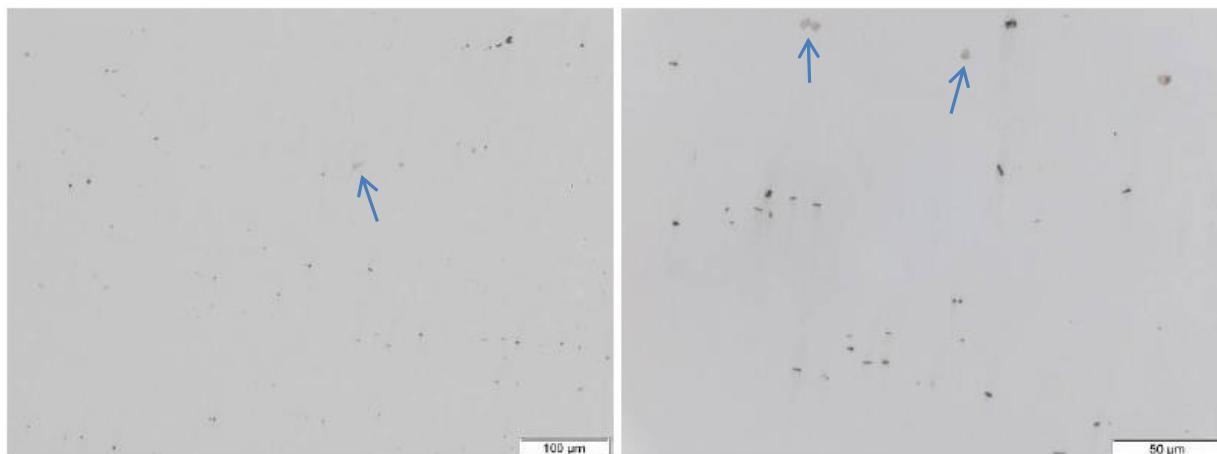


Figura 6. Micrografias de VEXNb contendo carbonetos primários de Nióbio. Aumentos: 100x e 250x. Seção longitudinal. Sem ataque.

4 CONCLUSÃO

A adição de 0,02% de Nióbio ao aço VEX mostrou-se efetiva no refino do grão austenítico em altas temperaturas. Este efeito é alcançado através da precipitação de carbonitretos de Nióbio nos contornos de grão, ancorando os mesmos e dificultando o seu crescimento. O grão do aço VEXNb ficou cerca de 50µm menor que o grão do VEX.

A tenacidade após tratamento térmico em forno industrial também foi avaliada, tanto após austenitização a 980°C quanto a 1020°C. Em ambos os casos o VEXNb

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



mostrou-se equivalente ao VEX, mantendo o desempenho após o ciclo térmico a 1020°C. A diferença de tenacidade entre os aços não foi observada, apesar da diferença de tamanho de grãos. Isso ocorreu devido à predominância de outros mecanismos de redução da tenacidade, como a presença de inclusões.

Agradecimentos

Agradeço ao corpo técnico do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Villares Metals pelo auxílio e execução dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- 1 Bacalhau JB, Barbosa CA, Rodrigues FM. Characteristics of the new developed hot work tool steel for aluminum extrusion – VEX. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Anais do 68º Congresso da ABM; 2013; Belo Horizonte, Brazil. p.3285-3291.
- 2 Mesquita RA, Barbosa CA. Efeito do Ti, Nb e V no crescimento de grão austenítico de um aço ferramenta para trabalho a quente. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Anais do 58º Congresso da ABM; 2003; Rio de Janeiro, Brazil. p.2928-2937.
- 3 San Martín D, *et al.* Austenite grain coarsening under the influence of niobium carbonitrides. *Materials Transactions*. 2004;45(9):2797-2804.
- 4 Coladas R, *et al.* Austenite grain growth in medium- and high-carbon steels microalloyed with niobium. *Metal Science*. 1977;11: 509-516.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.