

# CARACTERIZAÇÃO DE NOVO AÇO FERRAMENTA PARA MATRIZES DE EXTRUSÃO DE ALUMÍNIO\*

José Britti Bacalhau<sup>1</sup>  
Fernanda Moreno Rodrigues<sup>2</sup>  
Rafael Agnelli Mesquita<sup>3</sup>

## Resumo

Matrizes de extrusão de alumínio representam um importante segmento de aplicação dos aços ferramenta, as quais são geralmente manufaturadas em aços do tipo AISI H13. As principais propriedades dos aços utilizados em matrizes de extrusão são: resistência ao desgaste, dureza a quente, tenacidade e resistência ao revenido. O presente trabalho discute as características de um novo aço ferramenta para trabalho a quente que foi especificamente desenvolvido para aplicação em matrizes de extrusão de alumínio. Os efeitos dos teores de Cr e Mo na resistência ao revenido do novo aço, assim como do Al, em sua resposta à nitretação, foram avaliadas a partir de amostras retiradas de barras forjadas. Também foi caracterizada a resistência ao impacto e, via microscopia óptica e eletrônica de varredura, a microestrutura do aço. O balanceamento químico do novo aço denominado VEX permitiu a obtenção de uma superior resistência ao revenido em relação ao H13, assim como uma camada nitretada de maior dureza superficial e maior profundidade. Devido às características exclusivas do aço VEX, esse novo material possivelmente se tornará uma interessante alternativa para que as empresas de extrusão de alumínio aumentem sua competitividade.

**Palavras-chave:** Extrusão de alumínio; Matrizes de extrusão; Aço ferramenta; Nitretação.

## CHARACTERIZATION OF NEW TOOL STEEL FOR ALUMINUM EXTRUSION DIES

## Abstract

Aluminum extrusion dies are an important segment of application on industrial tools steels, which are manufactured in steels based on AISI H13 steel. The main properties of steels applied to extrusion dies are: wear resistance, impact resistance and tempering resistance. The present work discusses the characteristics of a newly developed hot work steel to be used on aluminum extrusion dies. The effects of Cr and Mo contents with respect to tempering resistance and the Al addition on the nitriding response have been evaluated. From forged steel bars, Charpy impact test and characterization via EPMA have been conducted. The proposed contents of Cr, Mo, and Al have attributed to the new VEX grade a much better tempering resistance than H13, as well as a deeper and harder nitrided layer. Due to the unique characteristics, this new steel provides an interesting alternative to the aluminum extrusion companies to increase their competitiveness.

**Keywords:** Aluminum extrusion; Extrusion dies; Tool steel; Nitriding.

\*Dedicado à Memória do Prof. Carlos de Moura Neto.

<sup>1</sup>Engenheiro de Materiais, Mestre em Materiais e Manufatura, Membro da ABM, Gerente de Tecnologia em Ferramental, Villares Metals S.A., Sumaré, SP, Brasil. E-mail: jose.bacalhau@villaresmetals.com.br

<sup>2</sup>Engenheira de Materiais, Pesquisadora, Villares Metals S.A., Sumaré, SP, Brasil. E-mail: fernanda.rodrigues@villaresmetals.com.br

<sup>3</sup>Engenheiro de Materiais, Doutor em Materiais, Membro da ABM, Diretor de Tecnologia e Marketing, Villares Metals S.A., Sumaré, SP, Brasil. E-mail: rafael.mesquita@villaresmetals.com.br

## I INTRODUÇÃO

Matrizes de extrusão de alumínio são principalmente fabricadas em aços ferramenta para trabalho a quente, baseados no aço AISI H13. Enquanto segmentos como os de forjamento e fundição de alumínio tiveram diversos desenvolvimentos em aços ferramenta nos últimos dez anos [1-3], a indústria de extrusão de alumínio utiliza amplamente os tradicionais H13 e DIN 1.2714 para a fabricação de suas matrizes de extrusão e seus componentes. Na última década, os fabricantes de aços ferramenta entenderam que é possível aumentar tanto a resistência ao revenido quanto a resistência ao impacto dos aços, por meio de um adequado balanço nos teores dos elementos de liga, especialmente o Si, Cr e Mo, além dos elementos residuais [1-3]. A nitretação também é amplamente utilizada em matrizes de extrusão para aumentar a vida do ferramental. O efeito dos elementos de liga na resposta à nitretação dos aços ferramenta para trabalho a quente também foi tema de pesquisas recentes [4,5]. Estes trabalhos também apresentaram o efeito do teor de Al na dureza superficial e profundidade da camada nitretada. Assim, a oportunidade de desenvolvimento de um aço ferramenta para trabalho a quente voltado exclusivamente para o processo de extrusão de alumínio foi observada. Neste artigo, uma comparação dos resultados entre o aço AISI H13 e o recém-desenvolvido aço ferramenta para trabalho a quente denominado VEX (Villares Extrusão) é apresentada.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As composições químicas do aço VH13 (AISI H13 fabricado de acordo com a especificação NADCA - Qualidade Premium [6]) e do VEX (Villares Extrusão) são apresentadas na Tabela I. Esses aços foram fundidos em forno elétrico a arco seguido por tratamento metalúrgico em forno panela, e lingotamento convencional. Os lingotes foram forjados em barras de diâmetro de 10 polegadas, e então recozidos para dureza máxima de 235 HB.

Corpos de prova do núcleo das barras foram serrados e usinados para a caracterização dos dois aços. Seguindo a norma da NADCA [6], os corpos de prova foram beneficiados para 44-46 HRC por têmpera e duplo revenido.

Quatro investigações principais foram realizadas com essas amostras:

- Resistência ao revenido, que indica a resistência do aço em manter a sua dureza quando exposto a elevadas temperaturas durante longos períodos de tempo. Este teste foi realizado a 600°C. As durezas HRC dos aços foram medidas após 1 hora, 3 horas, 10 horas, 30 horas e 100 horas de exposição na temperatura;
- As respostas dos aços à nitretação foram avaliadas após nitretação gasosa – Processo Nitrex® [8], conduzida à temperatura de 530°C por 8 horas. A atmosfera do forno (gases N<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>) foi selecionada de forma a prevenir a formação de camada composta, a qual é frequentemente chamada de camada branca;
- Caracterização metalográfica dos aços nitretados. O principal objetivo desta análise foi comparar a profundidade da camada nitretada do VEX com o H13;
- Resistência ao impacto. Corpos de prova *Charpy* com entalhe em V foram usinados na direção transversal da barra;
- Microanálises via WDS (Wavelength dispersive spectroscopy) das camadas nitretadas foram realizadas em uma microsonda eletrônica de varredura JEOL JXA-8230, assim como o perfil de microdureza Vickers. Os ensaios de microdureza foram conduzidos de acordo com a norma DIN 50190 [9].

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Resistência ao Revenido

Foi mencionado anteriormente que novas gerações de aços ferramenta para trabalho a quente, os quais possuem um melhor balanceamento de elementos de liga como cromo, molibdênio e silício, possuem superior resistência ao revenido. A Figura 1 apresenta o resultado comparativo entre a resistência ao revenido dos aços VEX e VH13. Ambos os materiais possuíam inicialmente a mesma dureza de 45 HRC, porém, após 100 horas de exposição a 600°C, a dureza do VH13 decresceu para 29 HRC enquanto a do VEX decresceu para 36 HRC. Em outras palavras, o VH13 precisou de apenas 35 horas para reduzir 9 pontos em sua dureza de partida, enquanto que o VEX apenas apresentou tal decaimento de dureza após 100 horas. Pode-se dizer que o aço VEX apresentou resistência ao revenido aproximadamente três vezes superior

**Tabela I.** Composição química dos aços ferramenta para trabalho a quente VH13 e VEX; valores em porcentagem massa

Aço*	AISI	DIN WNr	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Al
VH13	H13	1.2344	0,39	0,9	0,3	5,1	1,2	0,8	0,03
VEX	-	-	0,51	0,3	0,3	3,7	0,6	0,4	0,56

\*Materiais de marca registrada da Villares Metals [7]; VEX com patente requerida.

ao VH13. A resistência ao revenido é um meio aceitável para estimar a redução de dureza da matriz durante sua utilização. Então, matrizes de extrusão produzidas em aços com maior resistência ao revenido permanecerão mais resistentes por um tempo mais longo.

### 3.2 Resposta a Nitretação

Um caminho para compreender a resposta à nitretação de um aço é por meio da avaliação do perfil de dureza das peças nitretadas. A Figura 2 apresenta os perfis de dureza dos aços VEX e do VH13, após um

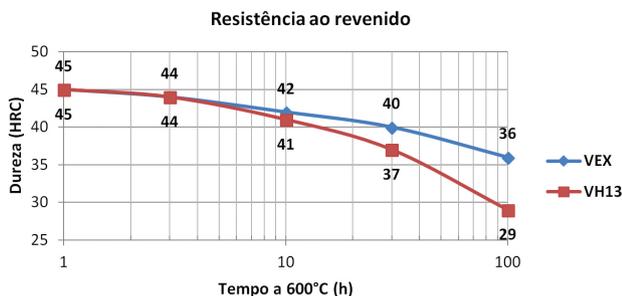


Figura 1. Curva de resistência ao revenimento dos aços VH13 e VEX.

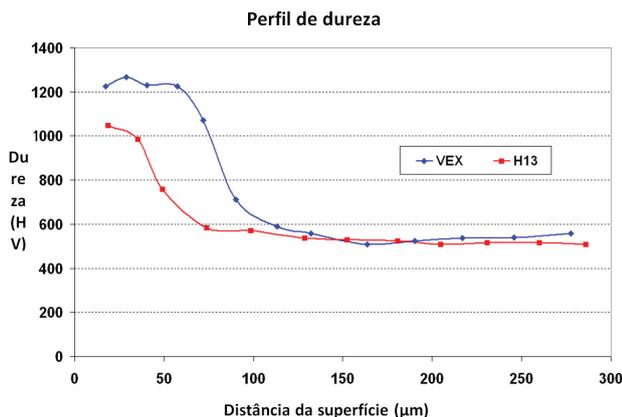
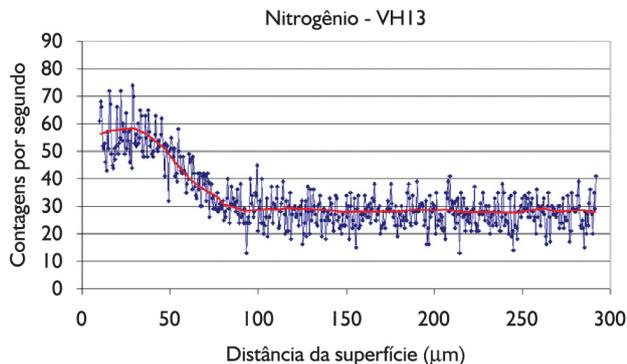


Figura 2. Perfil de dureza dos aços ferramenta nitretados.



processo de nitretação gasoso. Maior dureza superficial e uma camada nitretada mais profunda foram observadas no VEX. Segundo a norma DIN 50190, a profundidade alcançada no caso do aço VEX foi de 115 µm, e a dureza superficial foi maior que 1.200 HV. No caso do VH13, a profundidade de camada foi de 75µm, e a dureza superficial de 1.050 HV.

A explicação para a formação de uma camada nitretada mais profunda está associada a uma menor quantidade de elementos de liga na composição química do VEX em relação ao VH13. A soma do teor de %Si + %Cr + %Mo + %V + %Al no aço VEX é de apenas 5.6% comparada a 8.0% no VH13. Os elementos de liga agem com obstáculos ou barreiras para a difusão atômica do nitrogênio, logo o VEX possui melhor resposta à nitretação que o VH13. Além disso, é sabido que o silício tem alta influência na nitretação dos aços [4,5], e o VEX possui um teor de silício três vezes menor que o VH13.

Por outro lado, a razão para a maior dureza superficial no VEX é a diferença nos tipos de nitretos formados durante o processo de nitretação. No VH13 ocorre o predomínio de formação de nitretos de cromo (CrN), enquanto no VEX, nitretos de alumínio (AlN) parecem ser preferencialmente formados. É sabido, por meio da literatura [10], que o alumínio tem maior afinidade termodinâmica com nitrogênio, e seus nitretos (AlN) são mais duros que os CrN.

Portanto, é esperado que matrizes de extrusão de alumínio manufaturadas com o novo aço VEX apresentem melhor resistência ao desgaste, e produzam lotes de maior volume de perfis extrudados entre cada ciclo de renitretação.

Os resultados da microanálise dos perfis de WDS são apresentados nas Figuras 3 a 5. A Figura 3 apresenta os perfis de nitrogênio, em que é possível verificar uma quantidade significativa de tal elemento na superfície de ambos os aços, devido ao processo difusivo de nitretação. A Figura 4 apresenta uma notável contagem de pontos de cromo na superfície do VH13 e a Figura 5 uma elevada contagem de pontos de alumínio na superfície do VEX.

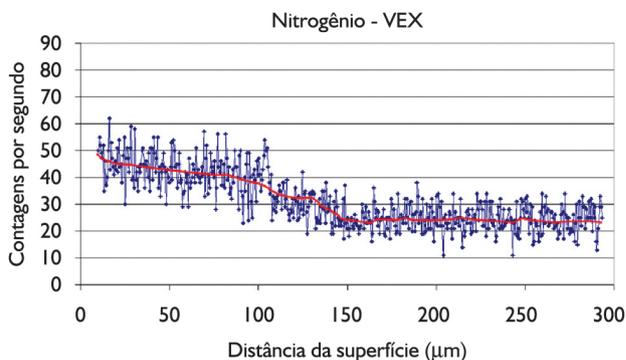


Figura 3. Microanálise dos perfis de nitrogênio no VH13 e VEX.

Tal resultado confirma a maior afinidade termodinâmica do alumínio pelo nitrogênio, indicando que prevaleceu a precipitação de CrN na camada nitretada do VH13 e de AlN na do VEX.

### 3.3 Microestrutura

A microestrutura da superfície nitretada de ambos os aços pode ser observada na Figura 6. Comparando as imagens, é visível que a camada nitretada é mais profunda (camada de difusão) no aço VEX. Observe as regiões mais

escuras da superfície nas Figuras 6a e 6b, as quais representam as áreas enriquecida de nitrogênio.

### 3.4 Resistência ao Impacto

A resistência ao impacto é uma propriedade muito importante, principalmente em matrizes tubulares (matriz/espina) no segmento de extrusão. A Figura 7 apresenta os valores da energia absorvida no impacto pelos aços VEX e VH13. Verifica-se que ambos os materiais possuem valores de resistência ao impacto equivalentes. Quando se

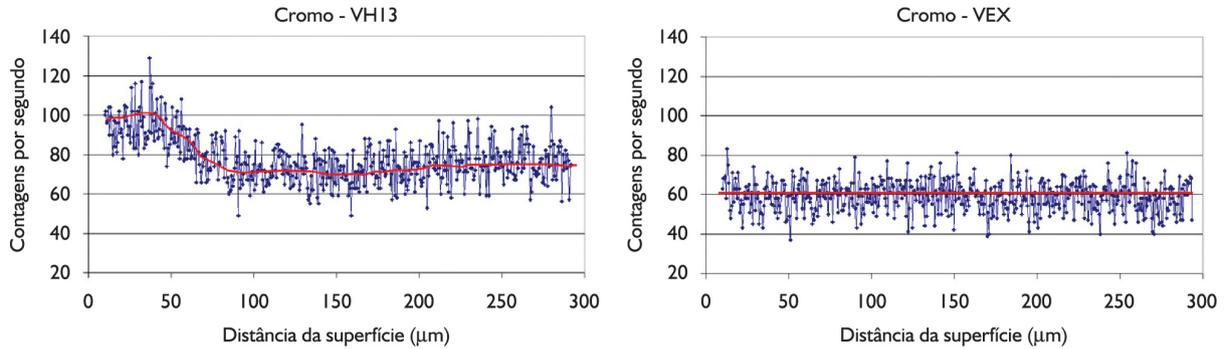


Figura 4. Microanálise dos perfis de cromo no VH13 e VEX.

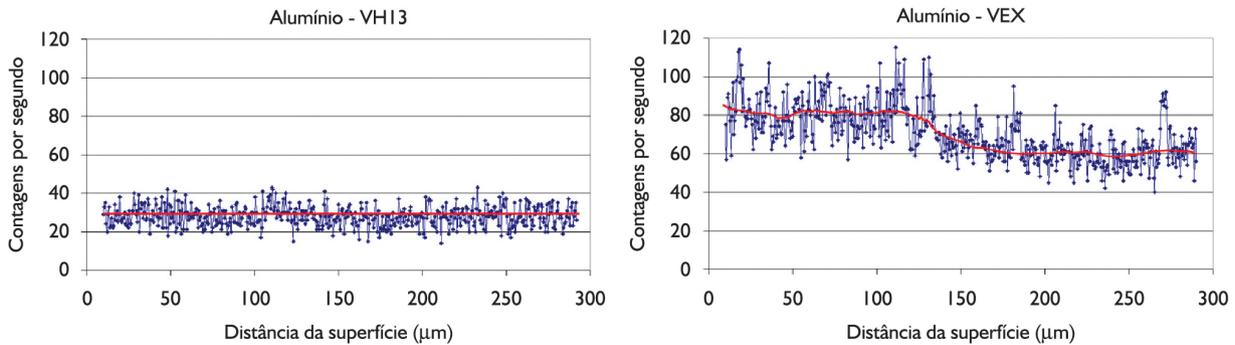


Figura 5. Microanálise dos perfis de alumínio no VH13 e VEX.

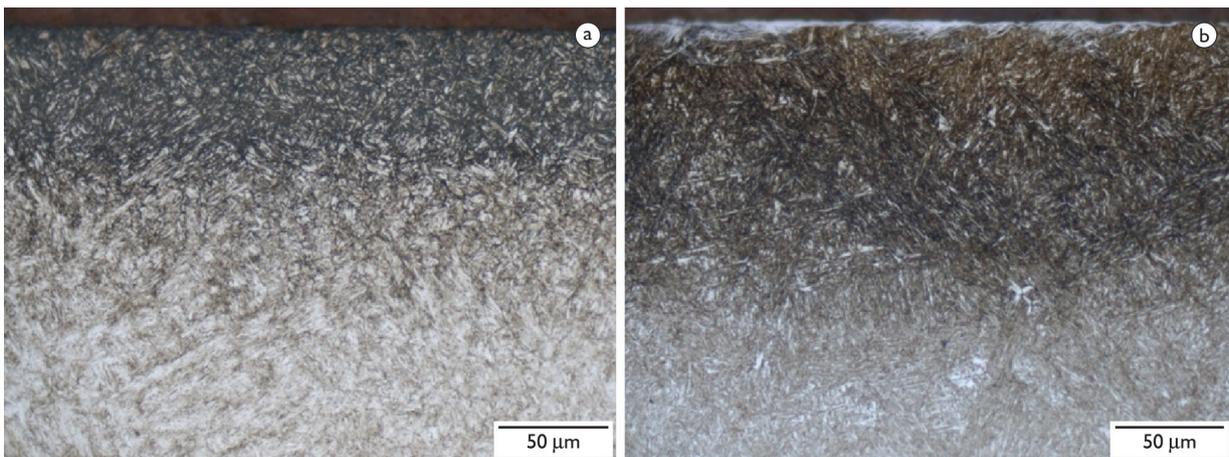
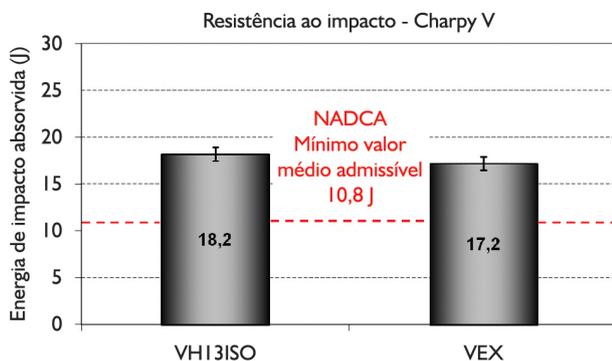


Figura 6. Microestruturas das camadas nitretadas: (a) VH13; e (b) VEX.



**Figura 7.** Energia absorvida em impacto Charpy entalhe em V para os aços VEX e VH13.

comparam os valores obtidos com o mínimo previsto pela norma NADCA [6], fica claro que os dois produtos fabricados pela Villares Metals S.A. atendem à especificação.

#### 4 CONCLUSÕES

O novo balanceamento de composição química, especialmente os teores de Cr, Mo e Si, atribuíram ao novo aço VEX uma excelente resistência ao revenido.

#### REFERÊNCIAS

- Mesquita RA, Barbosa CA. Desenvolvimento de um novo aço ferramenta com superior resistência a quente. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração - ABM. Anais do 60º Congresso Anual da ABM; 2005; Belo Horizonte, Brasil. São Paulo: ABM; 2005. p. 27-37.
- Mesquita RA, Barbosa CA. Novo aço ferramenta de alta resistência a quente. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*. 2007;3(3):63-68. <http://dx.doi.org/10.4322/tmm.00303012>
- Mesquita RA, França LC, Barbosa CA. Desenvolvimento de um novo aço ferramenta para trabalho a quente com tenacidade otimizada. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração - ABM. Anais do 57º Congresso Anual da ABM; 2002; São Paulo, Brasil. São Paulo: ABM; 2002. p. 444-53.
- Bacalhau JB, Salvo JGJ, Barbosa CA. Correlação entre a composição química de aços ferramenta para trabalho a quente e a camada nitretada obtida após nitretação a plasma. In: Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração - ABM. Anais do 66º Congresso Anual da ABM; 2011; São Paulo, Brasil. São Paulo: ABM; 2011. p. 2856-66.
- Schneider R, Schweiger H, Reiter G, Strobl V. Effects of different alloying concepts of new hot work tool steels on the hardness profile after nitriding. *Surface Engineering*. 2007;23(3):173-176. <http://dx.doi.org/10.1179/174329407X174407>
- North American Die Casting Association. NADCA #207: Special quality die steel & heat treatment acceptance criteria for die casting dies. Wheeling: NADCA; 2006. p. 33.
- Villares Metals. Product data sheets. 2011 [acesso em 1 set. 2011]. Disponível em: [www.villaresmetals.com.br](http://www.villaresmetals.com.br).
- Morawski CD. A common sense approach to nitriding of aluminum extrusion dies. In: 3rd World Congress on Aluminium Cyprus; 1997; Limassol, Chipre. Módena: Interall Publications; 1997. p. 61-70.
- Deutsches Institut für Normung. DIN 50190-1:1978: Hardness depth of heat-treated parts - Determination of the effective depth of carburized and hardened cases. Berlim: DIN; 1978.
- Thelning KE. Steel and its heat treatment. 2nd ed. London: Butterworths; 1984.

Aceito: 28/11/2013

Recebido: 08/04/2014

Quando o aço VEX é submetido a processos de nitretação, ele apresenta uma camada nitretada mais profunda e mais dura que as obtidas no aço VH13. Tal característica ocorre, pois o aço VEX possui menor quantidade de elementos de liga que o VH13, além da adição de Al em sua composição química.

No presente estudo, foi observado que os precipitados de nitretos de alumínio (AlN) que se formaram no aço VEX são mais duros que os nitretos de cromo (CrN) formados no VH13, após nitretação gasosa.

A presença de nitretos de alumínio na superfície do um aço ferramenta para trabalho a quente (VEX) torna este material para o segmento de extrusão de alumínio, uma interessante alternativa para as companhias produtoras de perfis extrudados aumentarem suas competitividades.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte do Centro de Serviços de Tratamentos Térmicos da Villares Metals (CSTT) pelos tratamentos térmicos realizados e a Combustol pela realização da nitretação gasosa.