

# ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DA SUBSTITUIÇÃO DO MATERIAL DE FERRAMENTAS DE CONFORMAÇÃO A FRIO PARA AÇOS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA<sup>1</sup>

*José Américo Santos Silva Junior<sup>2</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho propõe a substituição da liga da matéria prima de uma ferramenta de conformação a frio de aços de construção mecânica, padronizando sua utilização para todos os equipamentos do setor produtivo. Foi substituído o aço VC 131 (projeto original do fabricante) pelo aço VC9 (forjado) utilizado na fabricação de rolos das endireitadeiras de barras laminadas em indústria siderúrgica. Com essa substituição, obteve-se um ganho considerável na produtividade e na redução dos custos do ferramental, mantendo-se a qualidade dos produtos processados.

**Palavras-chave:** Ferramentas de conformação a frio; Substituição de materiais.

## **TECHNICAL CONTRIBUTION ABOUT THE REPLACEMENT MATERIAL OF COLD FORMING TOOLS IN THE PRODUCTION OF ENGINEERING STEELS**

## **Abstract**

This contribution is about the replacement of the alloy from raw material of a cold forming tools used in the production of engineering steels and standardizing to all equipment of the production area. The objective of this work is replacement VC 131 steel grade (original project of the manufacturer) through forged steel (VC9 steel grade). This material is utilized to manufacture the roll, used to metallurgics factory. With this new material we improve the productivity and cost indices with the same quality in straighted products.

**Key words:** Tools of cold conformation; Replacement of materials.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Técnico de Ferramental – Aços Villares Pindamonhangaba; Cursando o 4º Ano de Engenharia Mecânica*

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho traz a síntese de uma experiência de modificação de material, onde foi substituído o aço VC 131 (projeto inicial do fabricante) por um aço VC 9 (forjado) na ferramenta de conformação a frio. O ferramental em questão agrega um valor considerável ao produto final além da complexidade da liga da matéria prima original (aço VC 131), o que implica num tempo longo de fabricação.

Inicialmente, escolheu-se um equipamento para a realização do teste. Todas as variáveis foram consideradas bem como a preparação para possíveis falhas na experiência. Para tanto, deixou-se preparado um ferramental original pronto para o uso caso houvesse necessidade.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais Utilizados

#### 2.1.1 Seleção dos materiais

Para o início da experiência, foi necessário checar a composição química e as principais propriedades mecânicas necessárias para o correto funcionamento do ferramental em questão.

A Tabela 1 mostra a composição típica do aço VC131 anteriormente utilizado. Observa-se algumas particularidades na composição desse aço:

- Elevado teor de carbono, o que aumenta a dureza do material;
- elevado teor de cromo, o que aumenta a resistência à corrosão, a dureza, a temperabilidade, proporciona um aumento moderado da tenacidade e a resistência ao desgaste;
- altos teores de tungstênio e vanádio aumentam a resistência ao desgaste.

**Tabela 1 - Composição Química do Aço VC131<sup>(1)</sup>**

ELEMENTO	%
<b>C</b>	2,07
<b>Si</b>	0,35
<b>Mn</b>	0,29
<b>P</b>	0,026
<b>S</b>	0,001
<b>Cr</b>	11,2
<b>Ni</b>	0,22
<b>Mo</b>	0,06
<b>Al</b>	0,03
<b>Ti</b>	0,01
<b>V</b>	0,11
<b>W</b>	0,68

Analisando essa tabela pode-se notar que os elementos que mais influenciam nas propriedades mecânicas do material são o Carbono, e o Cromo, além do Tungstênio e do Vanádio.

Tendo conhecimento da composição química do aço referenciado no projeto original do ferramental, iniciou-se uma pesquisa de ligas comerciais compatíveis com a acima demonstrada. Foram estudados diversos aços, porém três deles, VC4HM, VC10 e VC9 destacaram-se devido aos elementos encontrados.

Cada um desses materiais possui uma particularidade, o que influencia diretamente nas suas propriedades.

No caso da liga VC4HM, mostrada na Tabela 2 tem-se um teor de carbono baixo, cerca de 80% menor do que o do aço VC131 originalmente utilizado.

**Tabela 2 - Composição Química do Aço VC4HM.<sup>(2)</sup>**

<b>ELEMENTO</b>	<b>Mín. (%)</b>	<b>Máx. (%)</b>
<b>C</b>	0,43	0,47
<b>Si</b>	0,25	0,35
<b>Mn</b>	0,4	0,5
<b>P</b>	0	0,01
<b>S</b>	0	0,01
<b>Cr</b>	4,3	4,7
<b>Ni</b>	0	0,4
<b>Mo</b>	0,2	0,3
<b>Al</b>	0	0,01
<b>V</b>	0,07	0,13
<b>W</b>	0,7	0,9

Já o aço VC10 apresentado na Tabela 3 além do Carbono mais elevado, contém outros formadores de carbonetos como o Cromo, Molibdênio, Vanádio e Tungstênio que aumentam a sua resistência mecânica. Todavia optou-se por não utilizar esse material em função de não ser perfeitamente conhecida a sua resistência ao desgaste.

**Tabela 3 - Composição Química do Aço VC10.<sup>(2)</sup>**

<b>ELEMENTO</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
<b>C</b>	0,86	0,9
<b>Si</b>	0,2	0,33
<b>Mn</b>	0,62	0,78
<b>P</b>	0	0,015
<b>S</b>	0	0,015
<b>Cr</b>	4,4	4,6
<b>Ni</b>	0	0,25
<b>Mo</b>	0,21	0,29
<b>Al</b>	0	0,01
<b>V</b>	0,06	0,09
<b>W</b>	0	0,1

Por outro lado, a liga VC9, da Tabela 4, dentre as composições analisadas, foi a que mais se assemelhou ao aço do projeto original, mesmo porque o aço VC131 é uma liga especial com valor extremamente elevado. Um fator que encarece substancialmente o VC131 é a elevada porcentagem de Cromo (Cr) presente nessa liga.

O Cromo tem como principais funções aumentar a dureza, a temperabilidade, e a resistência ao desgaste.

No aço VC9, o teor de Cromo varia entre 3,4 % e 3,6%, limites esses toleráveis para processar esse material. Ao se utilizar esta faixa tem-se condições de realizar uma têmpera elevando sua dureza aos níveis desejáveis. Além disso, os carbonetos de Cromo proporcionam o aumento na resistência ao desgaste.

Baseado nessas informações, optou-se por utilizar a liga VC9 para a realização do teste de substituição do material de ferramentas de conformação a frio de aços de construção mecânica.

**Tabela 4** Composição Química do Aço VC9.<sup>(2)</sup>

ELEMENTO	Mín.	Máx.
C	0,81	0,84
Si	0,2	0,35
Mn	0,2	0,3
P	0	0,015
S	0	0,015
Cr	3,4	3,6
Ni	0	0,2
Mo	0,2	0,3
Al	0	0,01
Cu	0	0,25
V	0,05	0,1
W	0	0,1

### 2.1.2 Sobre o material utilizado

O aço VC9 é um material produzido pela Aços Villares Sidenor – Usina de Pindamonhangaba, já destinado à fabricação de cilindros de laminação à quente de produtos planos e não planos. É um aço especial, com composição química nobre e particular à tais aplicações. O processo de produção desse aço inicia-se na fusão da matéria prima em forno elétrico a arco. Posteriormente, são acrescentadas as ligas no forno de refino do aço. Tal forno conta com um sistema computadorizado que analisa em tempo real a composição química do material, fornecendo uma precisão extremamente elevada da liga. O processo seguinte é o lingotamento, forja à quente, tratamento térmico, usinagem e inspeção final da peça.

## 2.2 Método

### 2.2.1 Obtenção do material

Dentre os cilindros de laminação já produzidos, de aço VC9, detectaram-se alguns blanks que poderiam ser utilizados como teste em rolos de endireitamento.

Escolheu-se um com um diâmetro 15 mm maior que o desenho com composição química apresentada na Tabela 5.

**Tabela 5** - Composição Real do Aço VC9<sup>(1)</sup>

ELEMENTO	Valor Encontrado ( % )
C	0,83
Si	0,33
Mn	0,27
P	0,013
S	0,005
Cr	3,39
Ni	0,12
Al	0,002
Cu	0,19
V	0,09

### 2.2.2 Processo de fabricação do rolo para teste

Enviou-se o *blank* de aço VC9, juntamente com os desenhos de usinagem e montagem do conjunto, para iniciar o processo de fabricação dos rolos, que foram usinados em tornos CNC com o objetivo de garantir o perfil e qualidade de acabamento do ferramental.

Concluída a usinagem, enviou-se o rolo para tratamento térmico de têmpera e revenimento, visando-se de assegurar a dureza especificada no desenho.

Após o tratamento térmico, efetuou-se a montagem do conjunto formado pelos eixos, rolos côncavo e convexo e acoplamentos. Realizou-se tal montagem através do processo de congelamento do eixo em gelo seco e, em seguida, acoplou-se o mesmo ao rolo com a interferência especificada no desenho de montagem.

Após a montagem, retificou-se o rolo para assegurar a rugosidade adequada e as peças foram inspecionadas conforme especificações técnicas do desenho.

### 2.2.3 Inspeção de pós-fabricação

O material foi entregue à Aços Villares e imediatamente iniciou-se a inspeção de pós-fabricação afim de verificar se todos os requisitos de qualidade estavam conforme o especificado nos desenhos.

Inicialmente realizou-se uma inspeção dimensional e, em todos os pontos verificados, o material foi aprovado (Figura 1).



Figura 1 - Inspeção Dimensional no Rolo

Após a inspeção dimensional, realizou-se o ensaio por líquido penetrante nos rolos (Figuras 2 e 3) verificando-se que estavam em perfeitas condições com relação às características superficiais.



Figura 2 - Aplicação de Líquido Penetrante



Figura 3 - Aplicação do Revelador

Posteriormente realizou-se o ensaio para verificação da dureza do material (Figura 4). A dureza especificada no desenho é de 58 a 62 HRC com garantia de profundidade de até 15 mm. Utilizou-se um durômetro digital com precisão de  $\pm 0,7\%$ , sendo as verificações realizadas em 12 pontos distintos no rolo côncavo e 12 pontos distintos no rolo convexo.

Em todos os pontos verificados, encontraram-se valores dentro dos limites toleráveis (Tabela 6) sendo, nessas circunstâncias, o resultado considerado satisfatório.



**Figura 4 - Análise da Dureza do Rolo**

**Tabela 6 - Resultados de Análise de Dureza do Rolo (em HRC)<sup>(1)</sup>**

Ponto Verificado (Rolo Côncavo)	Valor Encontrado ( HRC )	Ponto Verificado (Rolo Convexo)	Valor Encontrado ( HRC )
Lado Acoplamento Ø 1	58,2	Lado Acoplamento Ø 1	61,2
Meio 1 Ø 1	60,1	Meio 1 Ø 1	61,5
Meio 2 Ø 1	60,2	Meio 2 Ø 1	60,4
Lado Mancal Ø 1	59,5	Lado Mancal Ø 1	61,8
Lado Acoplamento Ø 2	58,9	Lado Acoplamento Ø 2	61,0
Meio 1 Ø 2	60,2	Meio 1 Ø 2	60,9
Meio 2 Ø 2	60,3	Meio 2 Ø 2	60,7
Lado Mancal Ø 2	60,8	Lado Mancal Ø 2	61,6
Lado Acoplamento Ø 3	59,0	Lado Acoplamento Ø 3	60,7
Meio 1 Ø 3	61,2	Meio 1 Ø 3	61,7
Meio 2 Ø 3	61,3	Meio 2 Ø 3	60,1
Lado Mancal Ø 3	58,5	Lado Mancal Ø 3	61,9

Concluídas todas as inspeções, consideraram-se os rolos aprovados para a próxima etapa: montagem dos componentes.

Separaram-se todos os componentes do rolo (mancais, base, rolamentos, retentores, anéis de bloqueio etc.) e realizou-se a montagem do rolo conforme desenho de montagem. Após a montagem mecânica, o rolo ficou pronto para entrar em processo conforme Figura 5



**Figura 5** Rolo em VC9 Montado

### **2.2.4 Início do processo prático**

Como ambiente de teste, escolheu-se um equipamento de endireitamento de barras com capacidade de produção média de 12 t / h. Montou-se o corpo de prova inspecionando todos os detalhes de montagem visando-se garantir o correto funcionamento do ferramental.

Após a montagem, realizou-se a calibração operacional do componente, regulando o ângulo de endireitamento, a pressão de conformação e velocidade angular de trabalho. Todos esses parâmetros são variáveis de acordo com a bitola do material a ser conformado, devendo, a cada set-up, realizar todas as configurações conforme procedimento operacional.

Realizou-se um acompanhamento de todo o início dos testes, registrando toda variação ocorrida para análise futura.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Acompanharam-se os resultados referentes à qualidade do material processado pelo rolo em teste. Os principais itens avaliados, que influenciam diretamente no processo do cliente, foram as marcas mecânicas geradas durante o endireitamento e grau de empeno por metro linear. Para ambos os casos, não foram registrados nenhuma ocorrência.

Considerando as situações acima mencionadas, concluiu-se que, referente à qualidade do produto processado pelo rolo, o material VC9 atendeu perfeitamente em todos os requisitos.

Analisou-se ainda a produtividade do ferramental em teste. Concluiu-se que durante a experiência os rolos apresentaram um aumento de 23% de vida útil. Em média, um rolo em aço VC131 produz 12.000 t por campanha. O rolo em VC9 produziu 15.550 t e, ao efetuar-se a troca, observou-se que o mesmo ainda estava com as características superficiais toleráveis e que, caso necessário, poderia continuar operando sem restrições. Atualmente, com o processo de substituição do material já consolidado, esses rolos estão produzindo 18.000 t antes de serem recalibrados.

Um dos principais fatores contribuintes para a obtenção desse ganho foi o aumento da capacidade de absorção de energia (aumento da tenacidade), devido a composição química do aço VC-9.

Além desse ganho em produtividade, o custo do ferramental montado com o aço VC9 foi de 49 % em relação ao projeto original.

## **4 CONCLUSÃO**

O emprego do aço VC-9 nos ferramentais para o processo de endireitamento a frio de aços de construção mecânica mostrou-se superior quando comparado com o aço VC-131. Além de assegurar a qualidade do material processado com um custo inicial 49 % menor, tem apresentado até o momento uma vida útil média 50 % maior em relação ao anterior.

O trabalho exposto permitiu a padronizar a utilização do aço VC-9 em todos os rolos de endireitamento para todos os equipamentos de endireitamento da área de acabamento de barras na usina de Pindamonhangaba.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 Relatórios Internos de Inspeção de Recebimentos de Materiais. Aços Villares Sidenor, 2006-2007.
- 2 Handbook Aços Especiais para Construção Mecânica. Aços Villares Sidenor, 2007.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 BEER, F. P. ; JOHNSTON, E. R. Resistência dos Materiais. Makron Books, 1992, 1252 p.
- 2 CALLISTER JR, Willian D. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. LTC, 5. ed.
- 3 CASILLAS, A. L. Máquinas: Formulário Técnico. Mestre Jou, 1987, 633 p.
- 4 NASH, Willian A. Resistência dos Materiais. McGraw – Hill do Brasil, 1977, 384 p.
- 5 PAULA LEITE, Paulo Gomes de. Ensaio Não-Destrutivos. ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 7. ed., 1977.
- 6 TAYLOR, James L. Dicionário Metalurgico: Inglês / Português Português / Inglês. ABM, 2. ed., 2000, 636 p.
- 7 TIMOSHENKO, Stephen P. Resistência dos Materiais. LTC, 1982, 451 p.