

DESENVOLVIMENTO DA ROTA DE *BLACK BAR* NO LAMINADOR ACABADOR MULTI LINE DA VILLARES METALS SA¹

Jackson Luis Pereira de Carvalho²
Luiz Carlos Garcia da Silva Junior²

Resumo

No ambiente global de negócios as empresas são obrigadas a investir em tecnologias e produtos que maximizem sua competitividade. Nesse cenário, a Villares Metals SA, utilizando-se da moderna capacidade tecnológica de seu novo laminador acabador, realizou o desenvolvimento junto a seus clientes do fornecimento de barras brutas laminadas (*Black Bar*). Para isso, foram realizadas otimizações nos parâmetros de processo do laminador a fim de assegurar a qualidade desejada do produto quanto à qualidade superficial, dimensional e microestrutural especificadas pelos clientes do segmento de aço válvula referentes à produção de barras brutas laminadas. Devidos aos bons resultados obtidos, iniciou-se pela Villares Metals SA, o fornecimento desse novo produto, estando atualmente com essa rota homologada em vários clientes globais produtores de válvulas de motores de combustão interna para a indústria automobilística.

Palavras-chave: Laminação de barras; *Black Bar*; Aço válvula martensítico.

BLACK BAR ROUTE DEVELOPMENT IN THE VILLARES METALS MULTI-LINE FINISHING ROLLING MILL

Abstract

In the global business environment companies are required to invest in technologies and products in order to maximize their competitiveness. In this scenario, Villares Metals SA, using the modern technological capacity of its new finishing rolling mill, developed with your clients the Black Bar route (supplying rough rolled bar). To do this, optimizations were performed in the rolling process parameters to ensure the desired quality of the product with regard to surface quality, dimensional and microstructure specified by customers from valve steel segment for the production of rough rolled bar. Due to good performance, Villares Metals has already started to supply this new product, currently has approved this route in several global customers which produce valves for internal combustion engines to the automotive industry.

Key words: Rolling bars; Black Bar; Martensitic valve steel.

¹ Contribuição técnica ao 48º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 24 a 27 de outubro de 2011, Santos, SP.

² Engenheiro da Villares Metals da planta de Sumaré – SP.

1 INTRODUÇÃO

A Villares Metals SA (VMSA) é líder na América Latina na produção de longos de aços de alta liga e ligas especiais a base de níquel, está entre os três maiores produtores de aços válvula para motores de combustão interna, material no qual é baseado o tema do presente artigo. Além de abastecer o mercado doméstico, a VMSA exporta consistentemente para Europa, USA e outros países.

Em 2004 a Villares Metals foi adquirida pelo grupo austríaco Böhler – Uddeholm, empresa com plantas produtivas na Europa, Estados Unidos e também focada na produção de longos de alta liga, a qual foi posteriormente adquirida pela também austríaca Voestalpine AG.

Em 2007 a Villares Metals finalizou o investimento no seu novo laminador acabador Multi-Line, fornecido pela empresa Siemens VAI Metals Technologies (SVAI). Um *layout* esquemático deste laminador acabador Multi-Line pode ser visto na Figura 1.

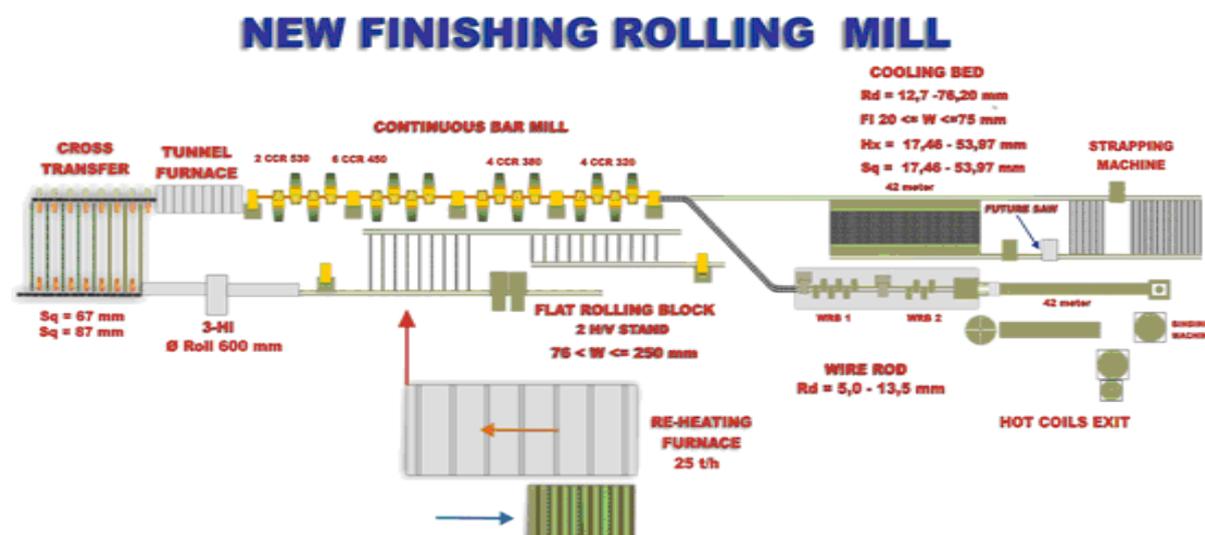


Figura 1. *Layout* esquemático do laminador acabador da Villares Metals.

No *layout* pode ser visto as diferentes linhas de laminação existentes: a linha de barras no trem contínuo consistindo de 16 cadeiras de laminação tipo CCR com tesouras para descarte de pontas entre cada grupo de quatro cadeiras, a linha de laminação de barras chatas grossas no equipamento *Flat Rolling Block* com duas cadeiras H – V inclusive com saída desvinculada das outras linhas e a linha de bobinas contendo dois monoblocos com 6 e 4 passes respectivamente e tesouras entre eles além de uma saída totalmente automatizada e com dispositivos adequados para aços de alta temperabilidade.

Este conceito escolhido de laminação Multi-Line com cadeiras de laminação tipo CCR (*Cassette Compact Rolling*)⁽¹⁾ dispostas a 45° com o plano horizontal (Figura 2), foi devido às características do negócio de aços alta liga e ligas especiais, que se caracterizam por várias dimensões com pequenos lotes, requerendo do equipamento agilidade nas trocas, propiciando um alto grau de flexibilidade na programação da laminação, além de uma alta rigidez do equipamento devido à necessidade de se laminar materiais extremamente duros, com alta resistência mecânica a quente como ligas especiais para aplicações em altas temperaturas.

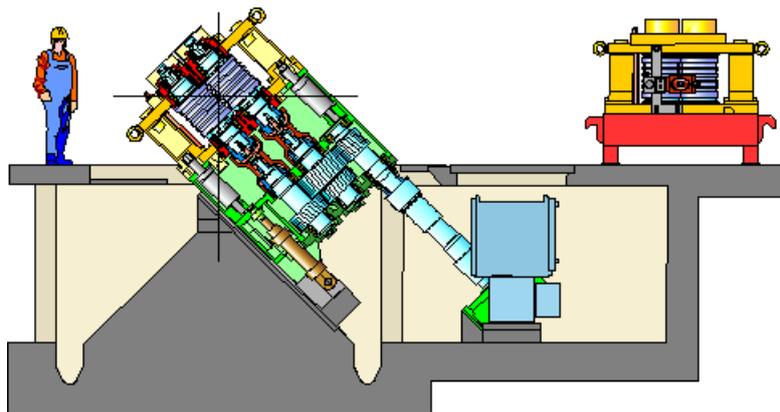


Figura 2. Conceito de cadeia de laminação tipo CCR.

Os aços válvulas são utilizados na fabricação de válvulas de admissão e exaustão para motores de combustão interna. Podem ser martensíticos (normalmente admissão) e austeníticos (exaustão), de uma maneira geral estes aços trabalham em temperaturas acima de 400°C e necessitam apresentar nestas temperaturas boas características de resistência mecânica e de resistência ao ataque corrosivo dos gases resultantes da queima dos combustíveis no interior dos motores, além de possuírem boa resistência ao desgaste e aos choques térmicos e mecânicos.⁽²⁾ O presente trabalho será focado em aços válvulas martensíticos.

Estes aços apresentam teores de carbono de até 1% e de cromo de até 22%. Além desses podem conter outros elementos de liga destinados a obtenção de melhores propriedades de fabricação e uso. Os aços válvulas martensíticos são endurecíveis pela têmpera, adquirindo então boa resistência ao desgaste. São usados principalmente em válvulas de admissão, podendo ser também utilizadas em válvulas de exaustão quando a temperatura não ultrapassar 650°C. Estes aços são sempre utilizados no estado beneficiado com resistência em torno de 1.000 N/mm² além de boa resistência a oxidação e a corrosão a quente. Válvulas confeccionadas com esses aços permitem que as pontas das hastes sejam temperadas para uma dureza ao redor de 55 HRC. Essas válvulas apresentam uma alta condutibilidade térmica, além da sua já citada excelente resistência ao desgaste, devido a sua estrutura martensítica.⁽²⁾

Na fabricação de válvulas são utilizados basicamente dois processos de conformação, o processo de recalque a quente e o processo de extrusão a quente. Ambos os processos realizados pelos valvuleiros partem de barras redondas retificadas/descascadas de aço válvula adquiridas juntos aos fabricantes desses aços. Para ambos os processos é condição essencial, que o aço válvula utilizado seja apropriado para a conformação a quente. Nada que comprometa a conformabilidade é possível ou aceitável, pois poderia estar ligado a ocorrência de defeitos e falhas nas válvulas. Por este motivo materiais com defeitos superficiais além do limite permitido e/ou com dimensões fora do especificado conduzem invariavelmente a rejeição na barra.

Na Figura 3 é mostrada a sequência para forjamento das válvulas.

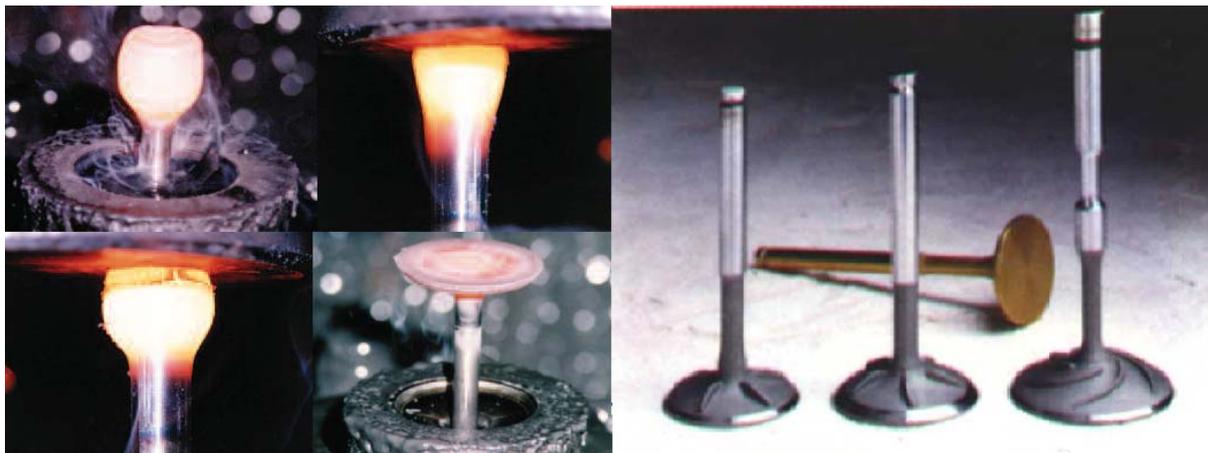


Figura 3. Sequência do processo para obtenção da válvula.

Certas características do produto laminado tais como, qualidade superficial e dimensional, são asseguradas mediante o processo de descascamento (remoção superficial de material) após laminação uma vez que a conformação a quente implica em menor controle dessas variáveis.

Essa limitação do processo de laminação a quente normalmente inviabiliza a utilização da barra bruta laminada para a referida aplicação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Como já previamente citado, somente é possível o fornecimento de Black Bar quando se consegue assegurar a qualidade superficial, dimensional e microestrutural do material em estado bruto de laminação. Para tal, faz-se um rígido controle das variáveis de processo, a saber, temperatura e atmosfera do forno de aquecimento, sequência do plano de passe, desgaste dos cilindros, qualidade dos ferramentais e desenho dos canais acabadores, associados a um moderno sistema de controle e automação que minimiza as intervenções humanas e conseqüentemente a variância do processo.

Na Tabela 1 são mostradas as especificações dimensionais típicas para fornecimento de barras brutas (*Black Bar*).

Tabela 1. Especificações dimensionais e composição química⁽³⁾

Nominal Bar Diameter Ø mm (in)	Diameter tolerance mm (in)	Out-of-round mm (in)
Ø ≤ 15.0 (Ø ≤ 0.59)	± 0.20 (0.008)	0.30 (0.012)
15.0 < Ø ≤ 25.0 (0.59 < Ø ≤ 0.98)	± 0.25 (0.010)	0.37 (0.015)
25.0 < Ø ≤ 35.0 (0.98 < Ø ≤ 1.38)	± 0.30 (0.012)	0.45 (0.018)
35.0 < Ø ≤ 50.0 (1.38 < Ø ≤ 1.97)	± 0.40 (0.016)	0.60 (0.024)

Na Tabela 2 são mostradas as composições químicas especificadas do aço envolvido nesse desenvolvimento.⁽³⁾

Para todos os dimensionais listados, a profundidade máxima para defeito superficial especificada é 0.25 mm no raio.⁽³⁾

Tabela 2. Composição química em porcentagem do aço WNr 1.4718 (Villares VV45)⁽³⁾

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,40 - 0,50	2,80 - 3,20	0,60 Max	0,04 Max	0,003 Max	8,00 - 9,00	0,30 Max

2.1 Medidor Automático de Dimensional

O laminador *multi-line* é equipado com um medidor dimensional a laser com cabeças giratórias (Zumbach - Figura 4) instalado na linha de laminação que realiza medidas do material a quente, compensa a sua dilatação térmica e informa as dimensões *on-line* do material laminado. Esses dados são armazenados e podem ser resgatados *off-line* para uma posterior avaliação. Com esse equipamento as tomadas de decisão são rápidas e precisas, o que corroboram com o atendimento das tolerâncias dimensionais exigidas pelos clientes.

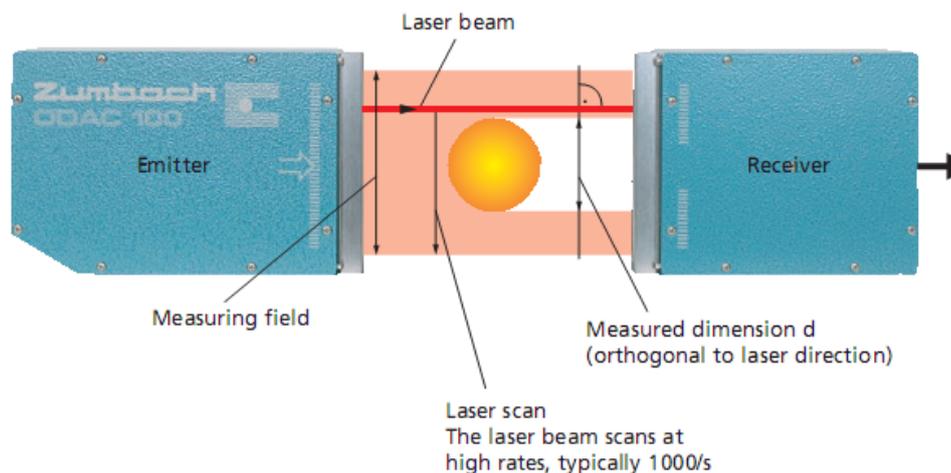


Figura 4. Sistema de mediação a *laser* (Zumbach).⁽⁴⁾

Na Figura 5 é mostrada a tela utilizada pela operação para acompanhamento *on-line* do processo na qual é indicada a medida máxima, mínima, média e ovalização do material bem como uma construção ilustrativa do seu perfil.

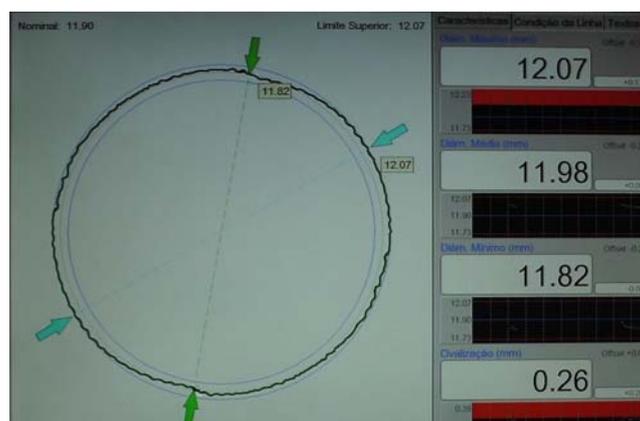


Figura 5. Tela do medidor dimensional – Zumbach.

2.2 Forno de Reaquecimento

Um adequado reaquecimento do tarugo o qual garanta temperatura homogênea ao longo de sua extensão impacta diretamente na estabilidade dimensional do material laminado. Para tal, é necessário um forno de reaquecimento com câmaras de temperatura uniformes bem como a possibilidade de monitoramento de tempo e temperatura por zona. O forno da VMSA (Figura 6) assegura variações de temperatura máximas de $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

Esse forno de reaquecimento necessita apresentar uma atmosfera bem controlada que minimize a descabonetação as quais afetarão diretamente a qualidade superficial do material bruto de laminação. Isso é feito por meio de um controle em cascata com utilização de duplo limite cruzado⁽⁵⁾ das malhas de controle de ar e gás mantendo uma relação constante entre essas variáveis além de possuir sonda para medição e monitoramento da concentração de oxigênio.

Referente à carepa o laminador utiliza um descarepador com pressão de trabalho de 250 bar que assegura uma limpeza completa do tarugo antes de ser laminado.



Figura 6. Forno reaquecimento (VTG).

2.3 Sistemas de Automação e Controle do Laminador

O novo laminador possui um moderno sistema de automação que minimiza a intervenção humana reduzindo assim a variabilidade do processo.

Parte integrante desse sistema é o *Roll Master* que define os planos de passes nos quais constam as reduções realizadas em cada cadeira de laminação e suas respectivas velocidades. Esses parâmetros, juntamente com a uniformidade de temperatura definem o dimensional final do material laminado além de assegurar que não serão ultrapassados os limites mecânicos e elétricos dos equipamentos nem os limites de redução de área especificado ao aço ou liga a ser laminado(a). Na Figura 7 é mostrada uma das telas do *Roll Master*, na qual constam os *gaps*, reduções de área, dimensões antes e após cada passe, o perfil visual de entrada e saída do canal de laminação, velocidades, torque, potência, dentre outros.

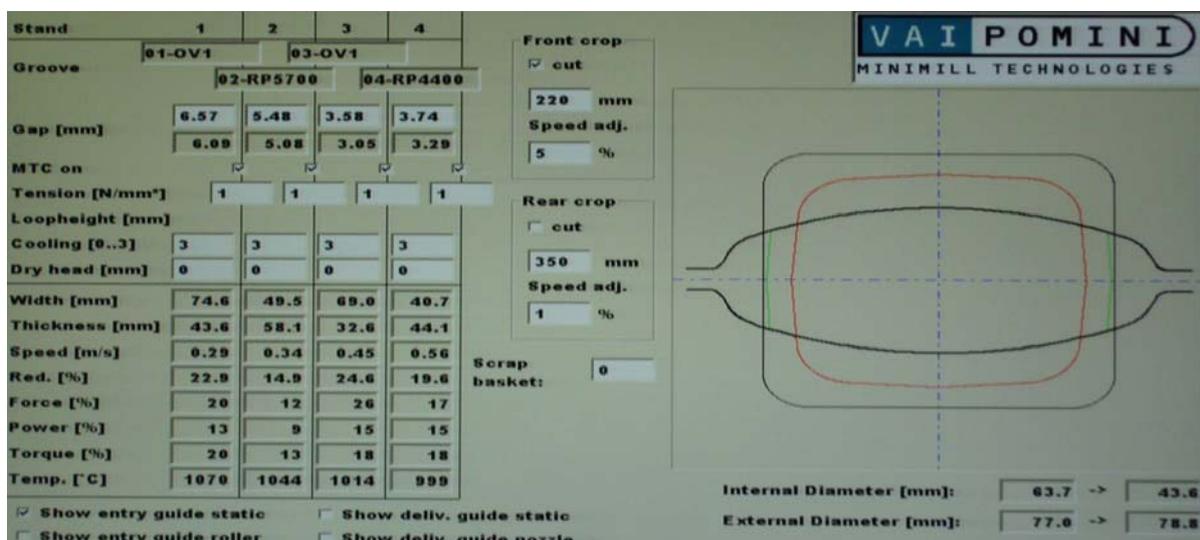


Figura 7. Tela do Roll Master.

Integrado ao *Roll Master* existe um sistema de automação nível 2 que controla o desgaste dos cilindros conforme apresentado na Figura 8. Esse sistema permite que os *gaps* sejam compensados automaticamente de forma proporcional ao desgaste dos cilindros, mantendo assim as reduções previstas pelo *Roll Master*.

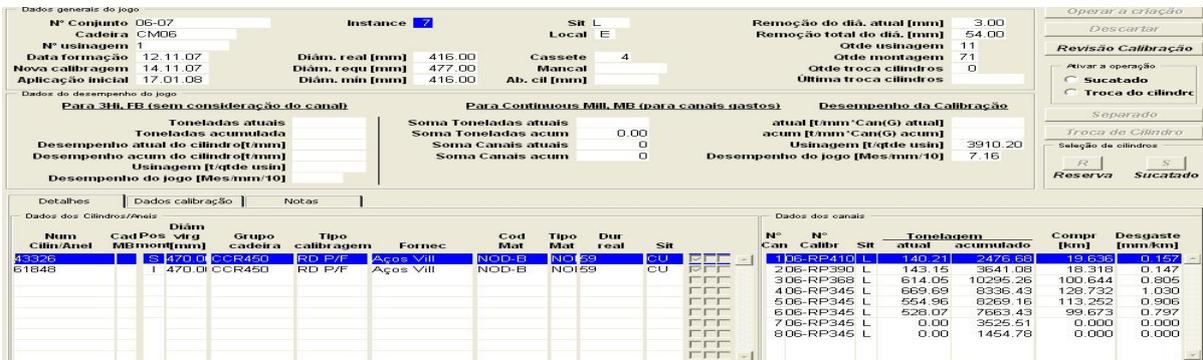


Figura 8. Tela do sistema GAMED – controle de desgastes dos cilindros.

O sistema de automação é responsável por assegurar o controle de tensão entre cadeiras de laminação. Isso é feito por meio do *minimum tension control* ou pela formação de laço entre cadeiras. Conforme descrito por Carvalho, Daré e Santos⁽⁶⁾ essas duas técnicas são responsáveis por compensar possíveis imperfeições nos modelos utilizados na definição dos planos de passes bem como o efeito da variação temperatura entre barras.

O *Minimum Tension Control*⁽⁷⁾ (MTC) irá assegurar uma tensão mínima entre as cadeiras de laminação. A Figura 9 ilustra o funcionamento deste sistema. Entre o instante t_1 e t_s , a corrente (ou torque) atual é amostrada, e muda-se o motor para controle de corrente/torque. No instante t_2 , a barra entra na cadeira subsequente, neste momento, percebe-se que a velocidade da cadeira (que se encontra em controle de corrente/torque) cai cerca de 30 rpm. Este é o erro entre a velocidade teórica para a barra e a velocidade real. Na seqüência, o sistema retorna para controle de velocidade com esta nova referência, e a nova velocidade é armazenada para a próxima barra a ser laminada.

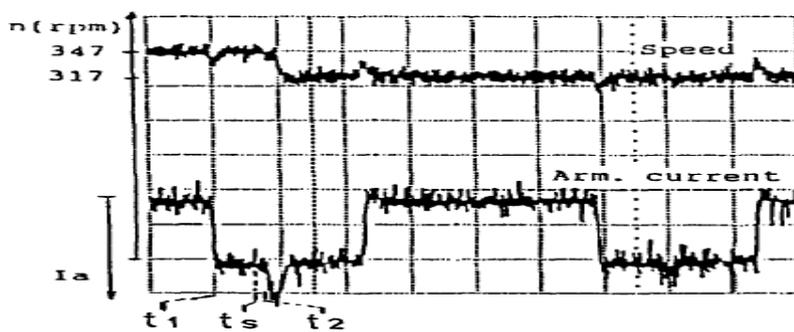


Figura 9. Sequência de eventos no MTC.⁽⁶⁾

O MTC é aplicado quando se trabalha com baixa velocidade e com grandes dimensões de material, normalmente nas primeiras cadeiras de laminação, nos outros casos utiliza-se o controle de laço conforme ilustrado Figura 10.

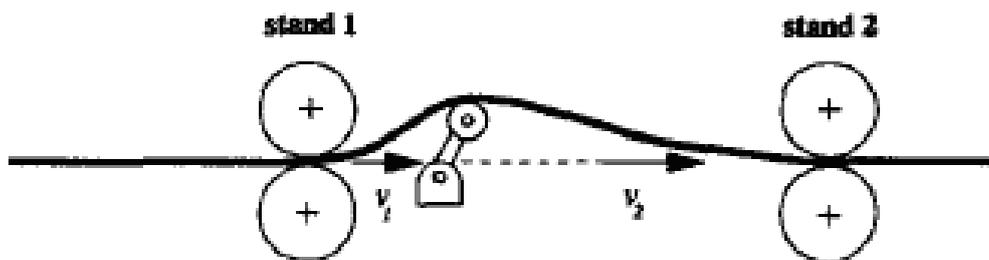


Figura 10. Desenho esquemático do formador de laço. ⁽⁵⁾

O controle do laço é feito por meio da alteração da velocidade da cadeia (Figura 10, *stand 1*), baseando-se na diferença entre a altura desejada e a altura atual. Normalmente utiliza-se um controlador linear com ação proporcional e integral (PI) para executar essa tarefa. ⁽⁸⁾

Aliado a esses sistemas, o laminador possui um acionamento via motores de corrente alternada controlados por drives de alto desempenho que possibilitam respostas mais rápidas e precisas a variações de velocidade e carga no laminador que aumentam a eficiência do MTC e do controle de laço.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o novo laminador acabador foi possível o atendimento pleno das características especificadas pelos clientes para o *Black Bar*, ⁽³⁾ eliminando a etapa de descascamento e polimento. O sucesso se deve às características inerentes ao *Multi-Line* que disponibilizou equipamentos e sistemas de automação e controle capazes de controlar e minimizar as variáveis de processos em uma laminação de barras. É importante lembrarmos que o laminador antecessor a este (Figura 11) era do tipo *cross-country* com dobradeiras e sistema de automação insuficiente para o atingimento dos requisitos aplicáveis ao produto *Black Bar*.



Figura 11. Foto das dobradeiras do antigo laminador da VMSA.

A implementação do controle de temperatura via duplo limite cruzado no forno de requecimento permitiu uniformidade na temperatura e uma atmosfera controlada, proporcionando homogeneidade no aquecimento dos tarugos e controle da descarbonetação. O controle de atmosfera é ilustrado na Figura 12, na qual se

percebe a relação constante entre ar e gás independente da variação de temperatura do forno.

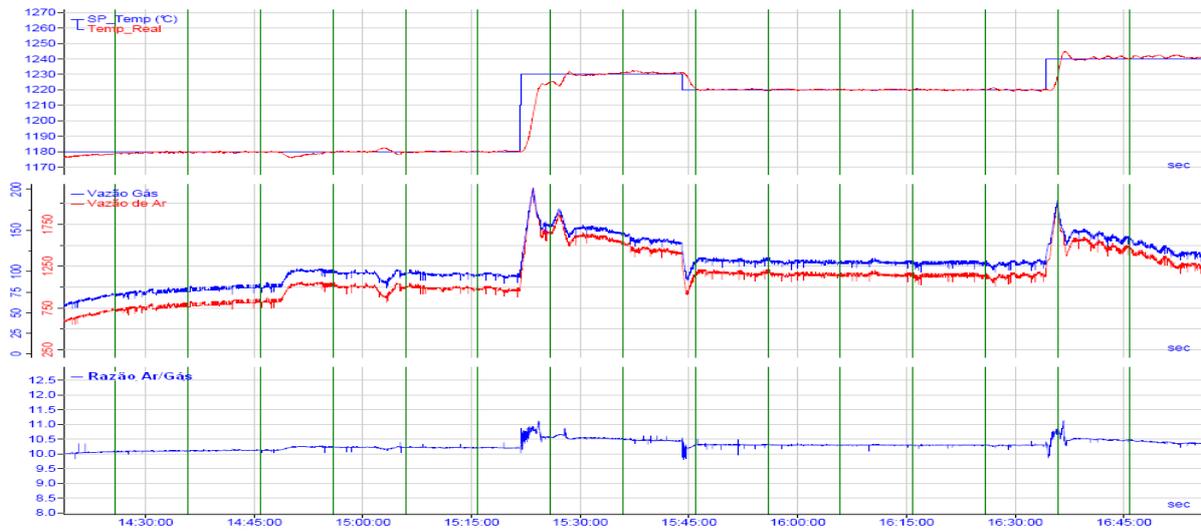
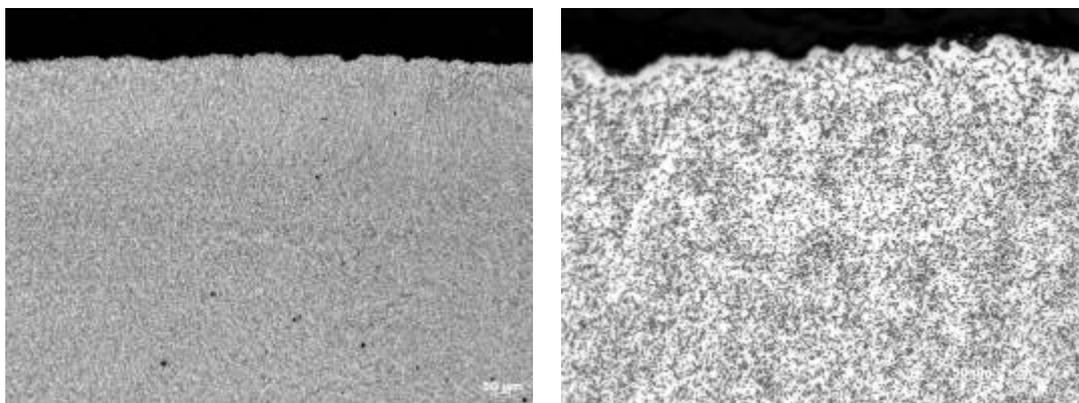


Figura 12. Controle de temperatura - Razão constante entre vazão de gás e ar.

Como consequência direta do controle de tempo e temperatura de aquecimento e da atmosfera do forno tem-se um material praticamente isento de descarbonetação e com uma qualidade superficial adequada devido a baixa formação de carepa conforme evidenciado nas micrografias mostradas na Figura 13 do aço válvula martensítico DIN 1.4718 (designação Villares VV45).

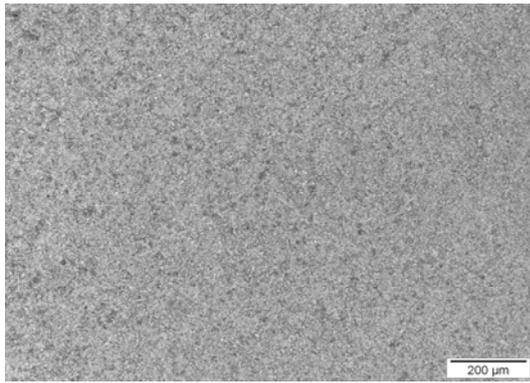


(a) Aumento de 50 x – Nital 2%

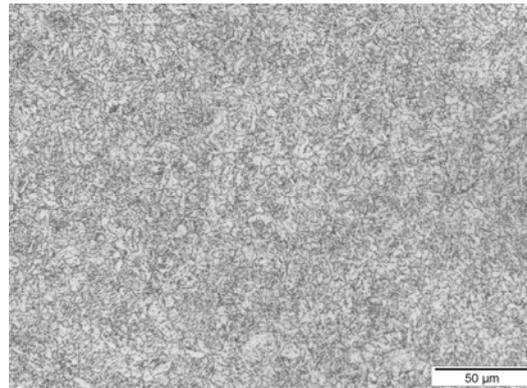
(b) Aumento de 500x - Nital 2%

Figura 13. Micrografia do Black Bar isento de descarbonetação.

Na Figura 14 são apresentadas as microestruturas desse aço na secção transversal com aumentos de 100x e 500x mostrando a estrutura típica de recozimento constituída de matriz ferrítica com carbonetos finamente distribuídos.



(a) Microestrutura a ½ raio – 100x



(b) Microestrutura a ½ raio – 500x

Figura 14. Microestrutura com corte transversal.

Como dito anteriormente, o laminador contínuo aplica as técnicas de MTC e laço como forma de controle de tensão entre cadeiras. Esse sistema melhora substancialmente a estabilidade dimensional do material laminado. O antigo trem laminador da VMSA, o qual não possuía sistema similar não atingia os valores necessários de tolerância dimensional para o produto *Black Bar*, além do que gerava defeitos superficiais além do limite máximo especificado, cujas morfologias podem ser vistas na Figura 15.

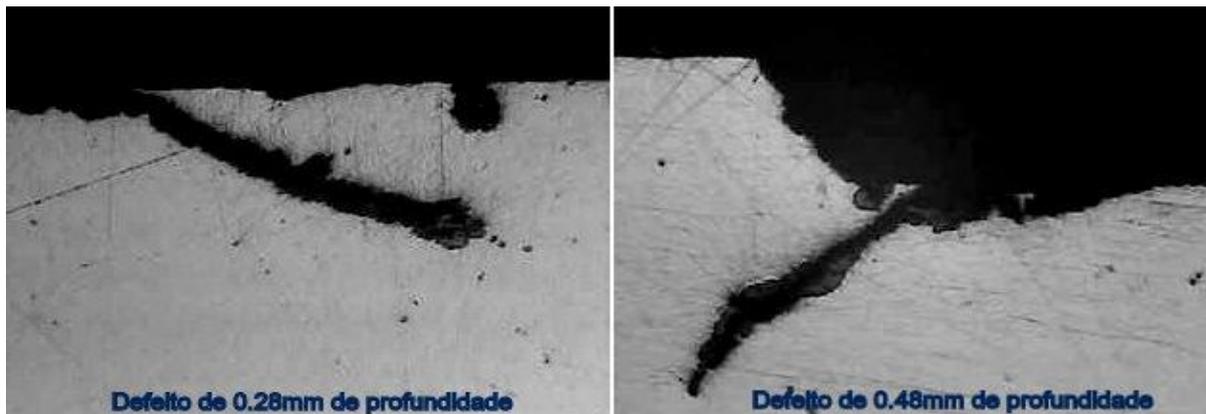


Figura 15. Defeitos superficiais típicos de laminação.

Na Figura 16 são mostradas as atuações do MTC e do laço no laminador contínuo, parametrizadas para a laminação das barras brutas de VV45, nas quais ficam claras as correções das velocidades entre cadeiras aplicadas pelos sistemas a fim de assegurar que não haverá compressão nem tensão excessiva entre cadeiras.

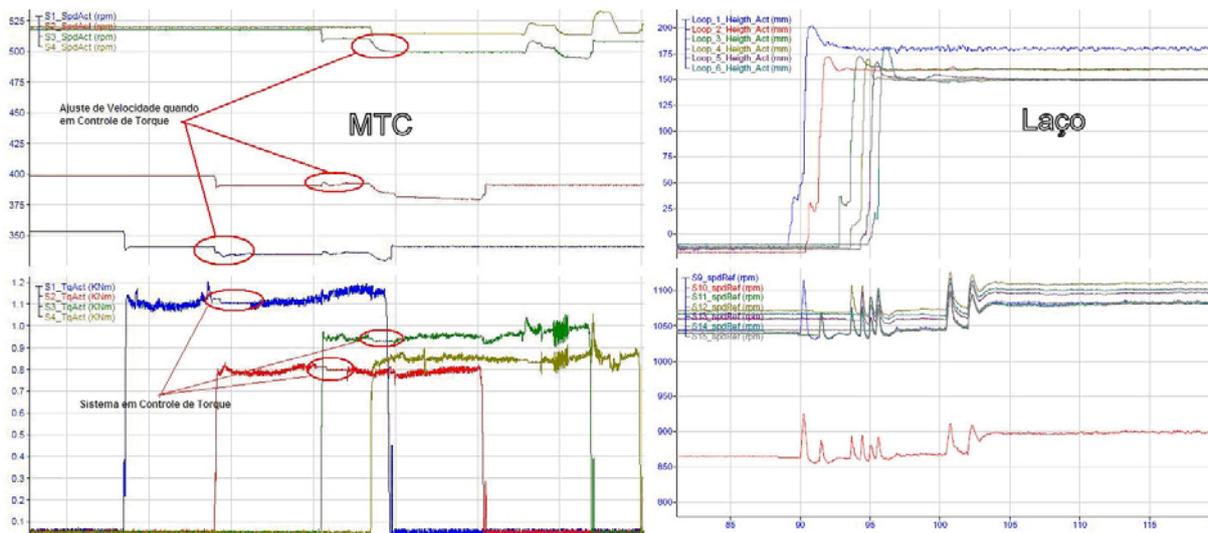


Figura 16. Atuação do MTC e do laço no controle de fluxo de massa.

Além da qualidade superficial o laminador atende as especificações dimensionais garantidas também pela atuação do MTC, dos laços e da homogeneidade de temperatura do tarugo. Na Figura 17 são mostradas cartas típicas do aço VV45 (Wnr1.4718) laminados em 19,05 mm e 15,87 mm, utilizadas para monitoramento do dimensional. Essas cartas são uma visualização *off-line* das medições *on-line* realizadas a quente pelo medidor dimensional a *laser*.

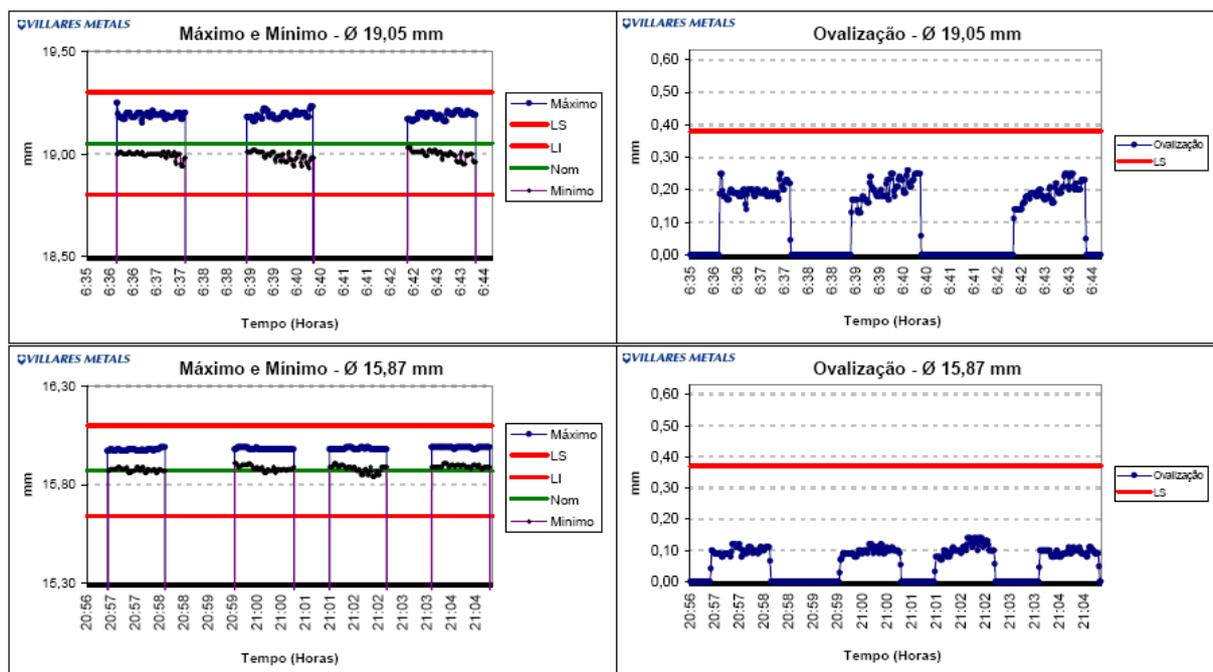


Figura 17. Carta com medições dimensionais do diâmetro mínimo, máximo e ovalização.

4 CONCLUSÕES

O antigo trem acabador da VMSA não permitia a laminação de barras brutas de acordo com as especificações desejadas pelos clientes de aço válvula, tanto na tolerância dimensional quanto na qualidade superficial.

O novo laminador acabador *multi-line* permitiu através da parametrização do seu moderno sistema de automação a laminação de *Black Bar*, atingindo os requisitos

dimensionais desejados pelos clientes de aços para válvula de motores de combustão interna.

A eliminação de dobradeiras, o controle da atmosfera do forno de reaquecimento, o controle de desgaste dos cilindros e de todos os outros ferramentais envolvidos na laminação assegurou o fornecimento de material bruto de laminação dentro qualidade superficial especificada pelo cliente.

A utilização da rota de barras brutas (*Black Bar*) para os produtos de aço válvula nos permitiu aumentar a competitividade, diminuir o *lead time* do produto e otimizar a capacidade produtiva da VMSA neste segmento automobilístico.

REFERÊNCIAS

- 1 Garcia Jr, Luiz Carlos; Berger, Karl; Gahleitner, Josef; **New finishing rolling mill for high alloy steel-grades at Villares Metals - Brazil.** In: 44º SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS, 2007, Campos do Jordão-SP: ABM, 2007.
- 2 Garcia Jr, Luiz Carlos. **Tensão residual em aço válvula austenítico nitrogenado.** Tese de Mestrado da Escola Politécnica da USP. 2002.
- 3 Eaton Corporation. Comercial Especification, ECS 4-B.
- 4 **Non-Contact In-line Dimension Measurement in the Steel Industry.** Zumbach AG (Acessado em 15 de junho de 2011). Disponível em <http://www.zumbach.com/pdf/Prospects/>
- 5 TEIXEIRA, B. O. S., TEIXEIRA, M. H. e JOTA, F. G.: **Sobre o Controle de Fornos de Reaquecimento de Placas: Modelagem, Controle e Otimização do Processo.** SBA *Controle e Automação*;
- 6 Carvalho, J. L. P.; Daré G.; Santos C. **Sistema de Automação do Novo Laminador Acabador da Villares Metals.** In: XI SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO, 2007, Porto Alegre – RS: ABM, 2007.
- 7 A. P. Pollmann. **Control Strategies for Rolling Mills.** Pescantine – VR, Italy;
- 8 ÅSTRÖM, K. e HÄGGLUND, T. (1995): **PID Controllers: Theory Design and Tuning.** 2nd Edition. Ed. ISA