

DESENVOLVIMENTO E EVOLUÇÃO DO AÇO PARA MOLA NA AÇOS VILLARES ¹

*Denise Corrêa de Oliveira ²
César Leandro ³
Alberto Imoto ⁴
Luiz Roberto Moraes Junior ⁵*

Resumo

Os aços para mola dinâmica possuem requisitos de qualidade diferenciados, devido à sua aplicação, componentes automotivos de alta solicitação em fadiga. Para atingi-los, a Aços Villares vem desenvolvendo uma rota exclusiva de fabricação, que envolve desde o processo de Aciaria até o acabamento na dimensão final do cliente. O processo tem sido aprimorado continuamente, avaliando-se a qualidade do aço e a resposta em fadiga do arame final. As melhorias de processo introduzidas em cada etapa do desenvolvimento traduziram-se na melhoria da qualidade do aço para mola de válvula.

Palavras-chave: Aço; Mola; Válvula; Limpeza.

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF VALVE SPRING STEEL AT AÇOS VILLARES

Abstract

Valve spring steel requires special quality condition, due to critical use in automotive industry. To achieve this high quality, Aços Villares has been developing an exclusive production process, from steelmaking to final product. Process has been improved continuously, and tested through steel cleanliness and fatigue wire properties. Process improvements resulted in better cleanliness of steel for valve spring.

Key-words: Steel; Spring; Valve; Cleanliness.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Coordenadora de Desenvolvimento – Departamento Técnico – Construção Mecânica – Aços Villares.*

³ *Supervisor de Processos de Aciaria – Departamento de Aciaria – Construção Mecânica – Aços Villares.*

⁴ *Supervisor de Processos de Aciaria – Departamento Técnico – Construção Mecânica – Aços Villares.*

⁵ *Engº de Processos de Laminação e Tratamentos Térmicos) – Departamento Técnico – Aços Villares*

INTRODUÇÃO

Com a tendência da indústria automobilística em produzir motores com maior potência e menor consumo de combustível, a redução em peso dos componentes tem sido cada vez mais exigida. Isto tem desafiado a ciência dos materiais, em desenvolver novos produtos que apresentam alta resistência mecânica. Assim, os aços para mola dinâmica têm sido cada vez mais estudados, seguindo esta tendência.

Os aços inicialmente destinados a aplicação de mola dinâmica eram aços carbono submetidos a extrema redução a frio, para incremento do limite de resistência. Posteriormente utilizou-se aços CrV, CrSi e CrSi+V, na condição beneficiada (Figura 1).

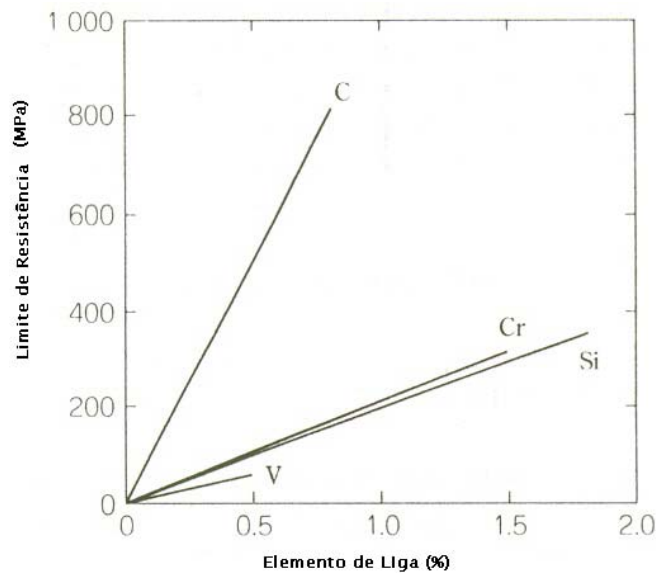


Figura 1. Efeito dos elementos de liga no limite de resistência dos aços.⁽¹⁾

Este aprimoramento na composição química visava principalmente aumentar a resistência à relaxação (*sag resistance*) e o limite de resistência, propriedades fundamentais para os crescentes níveis de sollicitação das molas. A resistência à fadiga aumenta linearmente com o aumento de resistência até cerca de 1800MPa.⁽²⁾ Para valores de resistência mais elevados o limite de fadiga apresenta valores dispersos, configurando um comportamento não mais regular. Isto ocorre pois além do balanceamento químico, são importantes também fatores como acabamento superficial e limpeza do aço, que passam a ser mais significativos. Para este tipo de aço desenvolveu-se o conceito de *superclean*, que implica na ausência de inclusões não deformáveis (possíveis pontos de nucleação de trincas na fadiga).

O processo de elaboração é portanto fundamental para a obtenção de inclusões modificadas, evitando a formação de óxidos não deformáveis. E quanto menores forem as dimensões obtidas, maior a vida em fadiga. A Figura 2 mostra o efeito da espessura das inclusões na resistência a fadiga.

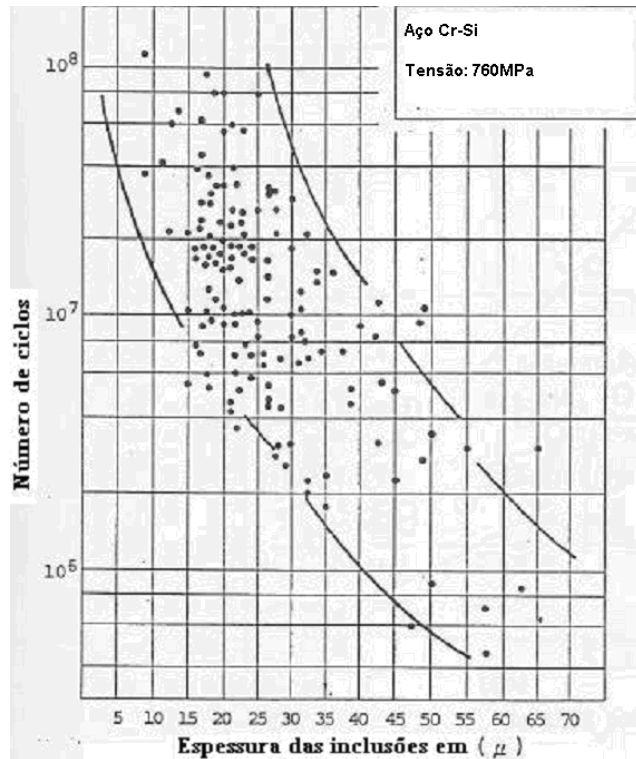


Figura 2. Influência da espessura das inclusões em relação a quantidade de ciclos em um teste de fadiga, utilizando 760 MPa de tensão.⁽³⁾

As inclusões, se deformáveis, têm suas dimensões reduzidas durante processamento a quente (laminação). A deformabilidade pode ser relacionada com a temperatura de fusão e com a composição química da inclusão obtida durante a elaboração do aço na Aciaria (Figura 3).

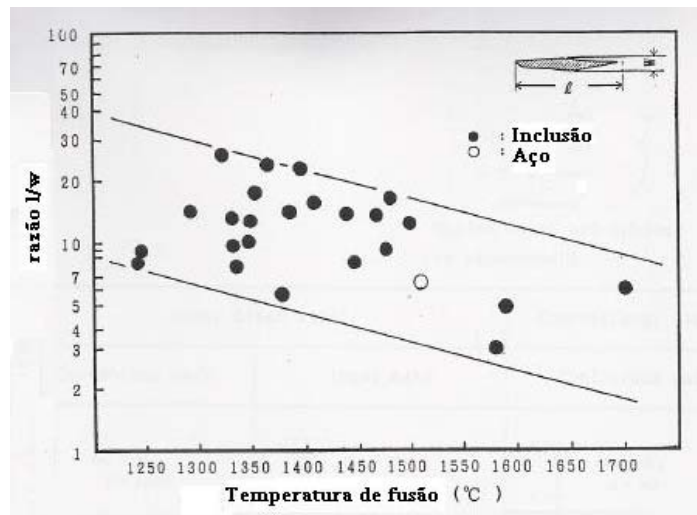


Figura 3. Temperatura de fusão das inclusões em função de sua deformabilidade.⁽⁴⁾

O ponto de fusão das inclusões é determinado segundo o diagrama $Al_2O_3-CaO-SiO_2$ (Figura 4). A diminuição do ponto de fusão é obtida através do controle da composição

das inclusões entre a anortita, a pseudo wollastonita e a gehlenita, uma região entre 1200°C e 1300°C. A $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (anortita) e a $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ (gehlenita), têm pontos de fusão inferiores, da ordem de 1300°C e têm efeito diferenciado em relação ao da alumina.

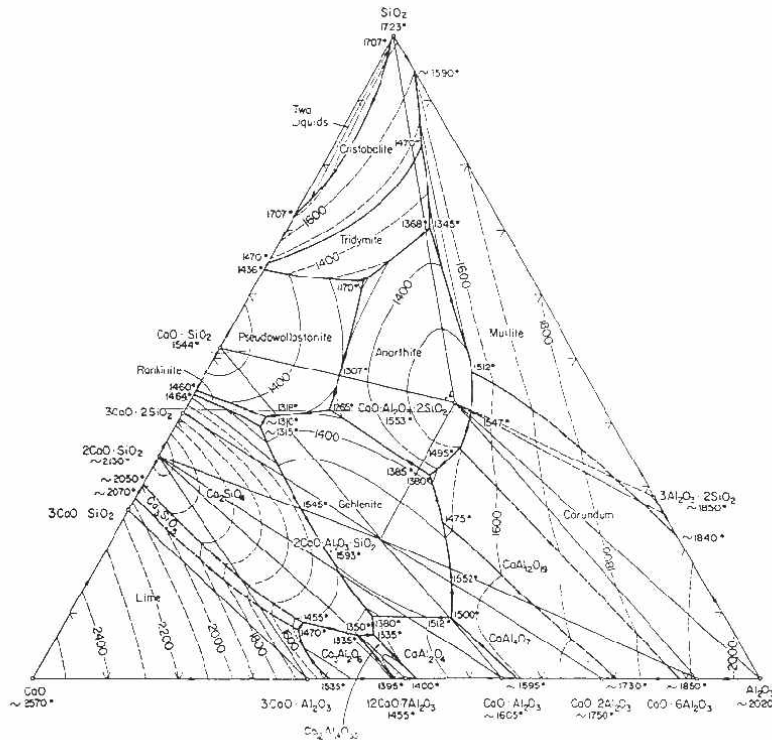


Figura 4. Diagrama ternário $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ (projeção das *liquidus*).⁽²⁾

Dois ensaios utilizados para avaliação da qualidade do aço para molas são o método MAX-T (avaliação da espessura e quantidade de inclusões) e o teste Nakamura (vida em fadiga).

- Método MAX-T ou SS 11 11 16: inspeciona-se por metalografia as bobinas do fio-máquina, verificando-se as inclusões e classificando-as quanto à quantidade e espessura: $\leq 10\mu\text{m}$, de 10 a $15\mu\text{m}$ e $> 15\mu\text{m}$ (Tabela 1).

Tabela 1. Critérios utilizado para classificação de inclusões

TAMANHO DA INCLUSÃO	ESPECIFICAÇÃO SS11116	ESPECIFICAÇÃO MAX-T
$< 10 \mu\text{m}$	50 máx.	80% min.
$< 15 \mu\text{m}$	7 máx.	20% máx
$> 15 \mu\text{m}$	0	0%

A análise é realizada em 1000mm^2 de área por corrida, conforme a Figura 5.

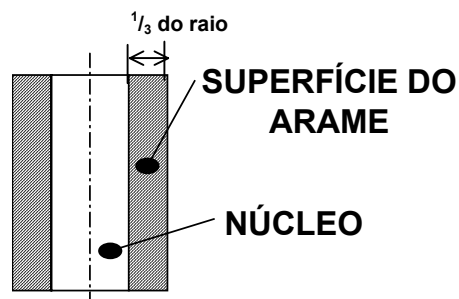


Figura 5. Inspeção metalográfica: área de avaliação de inclusões nas bobinas.

- Teste Nakamura: trata-se de um ensaio de fadiga por flexão rotativa, que simula condições reais de utilização da mola, e permite complementar a avaliação da limpeza interna do aço, segundo critérios pré-definidos. Nesse teste, são aplicadas diferentes cargas no arame, identificando-se o número de ciclos até ocorrer a quebra. O resultado desse teste traduz-se em uma curva chamada “S-N”, ou curva de Woehler, como o exemplo indicado na Figura 6 de teste realizado na Aços Villares. O desempenho em fadiga é bastante influenciado pela condição superficial da amostra e pela qualidade do material.

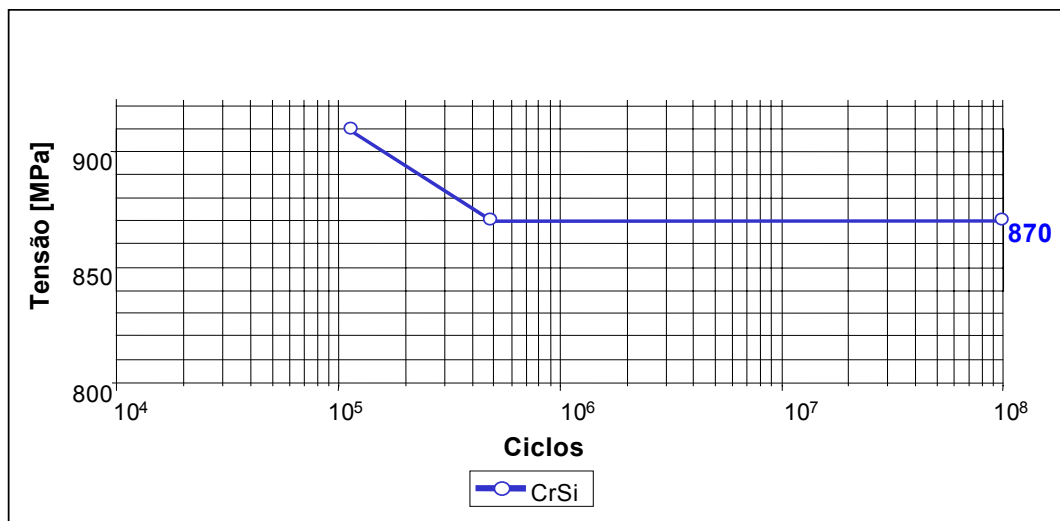


Figura 6. Exemplo de curva S-N para o CrSi (teste realizado na Aços Villares)

METODOLOGIA

Os aços atualmente mais utilizados pelo mercado em mola de válvula são os CrSi. Tem-se verificado a tendência à utilização do aço CrSi+V, em função do excelente desempenho em fadiga que apresenta. Ambos são produzidos pela Aços Villares. Este trabalho apresenta os dados do desenvolvimento do CrSi, que tem maior volume de produção. A produção do aço CrSi é realizada conforme processo de Aciaria desenvolvido especialmente para a obtenção de qualidade diferenciada. A composição química nominal é indicada na **Tabela 2**.

Tabela 2. Composição química nominal do aço Cr-Si

C	Mn	Si	Cr	S	P
0,54	0,65	1,40	0,70	0,015	0,010

O produto é elaborado em forno elétrico a arco e forno panela, utilizando-se matéria-prima selecionada. As principais etapas do processo são mostradas na **Figura 7**.

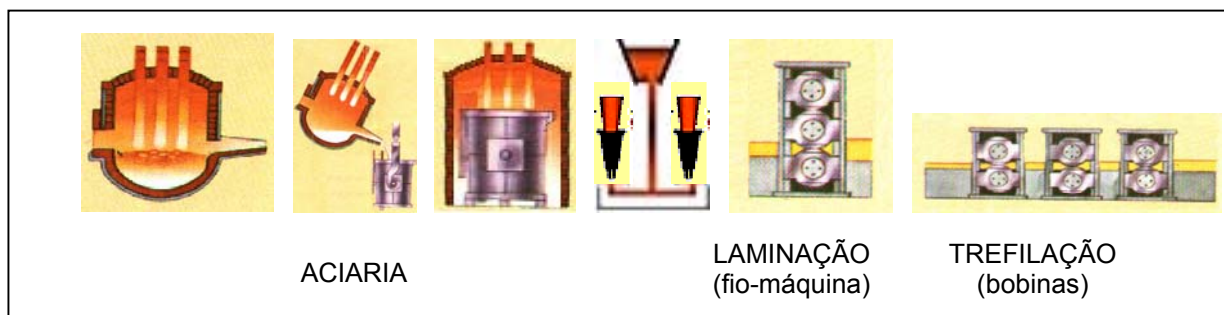


Figura 7. Principais etapas do processo

Os principais parâmetros de processo focados neste estudo e controlados na Aciaria para minimizar a quantidade de alumina foram:

- matéria-prima: sucata com baixos teores de residuais;
- desoxidação: minimizar a quantidade de alumínio;
- refratários de panela (evitar contaminação de alumínio);
- controle da composição química da escória de acordo com as inclusões desejadas (basicidade em torno de 1); e
- controle da agitação do aço líquido.

RESULTADOS

Resultados do início do estudo⁵ mostraram redução significativa da quantidade de inclusões no material. A continuação do desenvolvimento através de melhorias nos parâmetros de aciaria visou reduzir o tamanho das inclusões no produto final.

O critério utilizado para avaliação da qualidade do material para aplicação em mola de válvula foi o índice do teste MAX-T (critério “80/20”: quando o resultado é 80% de inclusões de 5 a 10 μm no mínimo e no máximo 20% de inclusões de 10 a 15 μm).

Com o desenvolvimento, cerca de 82% das corridas de CrSi obtiveram índice maior ou igual a 80/20.

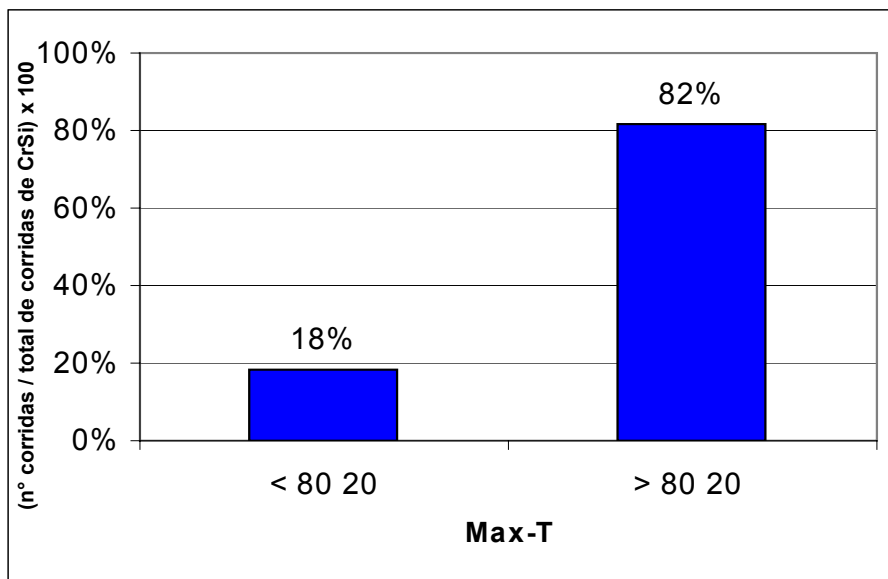


Figura 8. Resultado MAX-T (2006)

O estudo levou à obtenção de inclusões finas, indicado por um resultado MAX-T que chegou a 100/0, ou seja, 100% de inclusões finas (<10 μ m). De todas as corridas com resultado maior ou igual a 80/20, cerca de 29% apresentaram este resultado 100/0 (Figura 9).

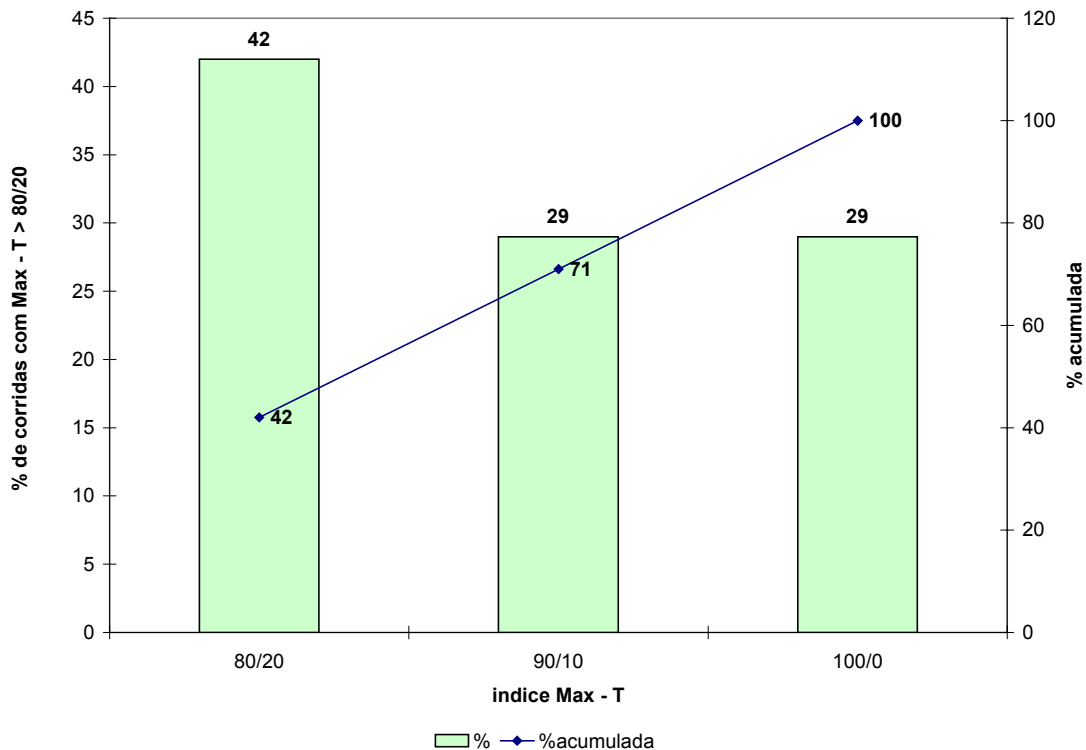


Figura 9. Resultado MAX-T para as corridas aprovadas (2006)

Verificou-se ainda que o índice de aprovação das corridas aumentou significativamente em relação a 2004, conforme Figura 10. O índice de sucesso é o percentual de corridas com resultado MAX T iguais ou superiores a 80/20. É considerado em relação a 2004.

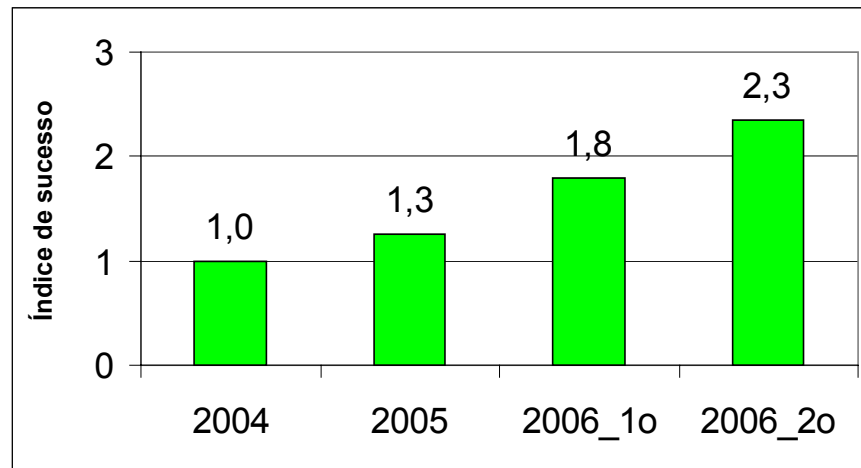


Figura 10. Índice de sucesso das corridas em relação a 2004

O resultado foi ratificado utilizando-se o teste Nakamura. Após 100 milhões de ciclos com carga de 870MPa o ensaio foi parado, sem quebra. A Figura 11 apresenta uma curva obtida no teste Nakamura (cada ponto representa média de 10 ensaios).

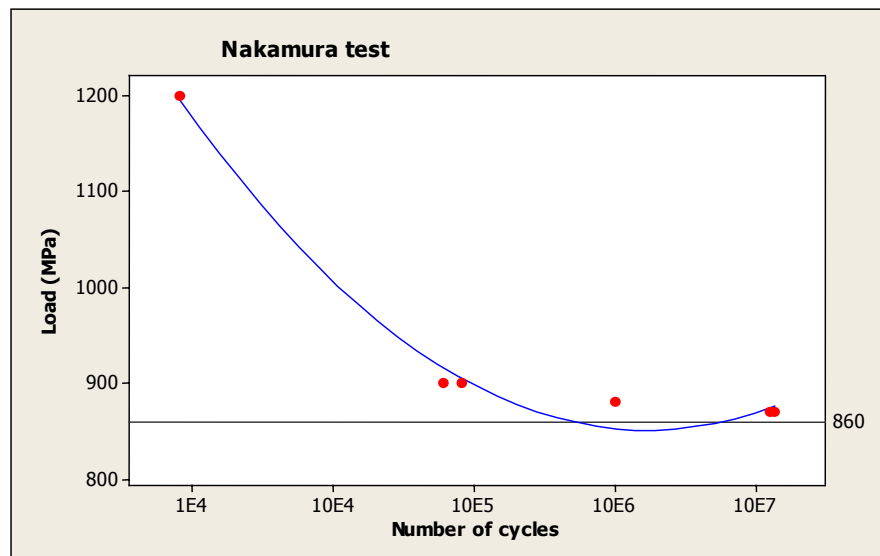


Figura 11. Resultado do ensaio Nakamura para uma das corridas avaliadas

CONCLUSÕES

Este trabalho mostrou que a qualidade do aço para mola dinâmica na Aços Villares obteve significativa melhoria através do controle de parâmetros de Aciaria. O estudo será estendido para o CrSi+V.

Agradecimentos

Agradecemos às equipes de Aciaria, de Arames e dos Laboratórios da Aços Villares.

REFERÊNCIAS

- 1 OKI, Y.;IBARAKI, N.; YOSHIHARA, N. High strength valve spring with excellent fatigue life. Kobelco Technology Review, n. 25, p. 30-38; Apr 2002.
- 2 OHSHIRO, T.; IKEDA, T. ; MATSUYAMA, H; OKUSHIMA, S.; OKI, Y; IBARAKI, N. Improvement of fatigue life of valve spring wire by morphology of non metallic inclusion. Kobelco, p. 36, Aug 1987.
- 3 SUITO, H. , INOUE, R. Thermodynamics on control of inclusions composition in ultra-clean steels. ISIJ International, v. 36, n. 5, p. 528-536, 1996.
- 4 MALKIEWICZ, T.; RUDNICK, S. Deformation of non-metallic inclusions during rolling of steel. JISI, n.194, p. 33–38, 1963.
- 5 OLIVEIRA, D.C.; IMOTO, A.; CAETANO, F.; HAYAKAWA, M.O.; SILVA, A.; BARCELOS, E.J.; MIYADA, K. Fabricação de aço para mola dinâmica na Villares qualidade superclean. In: Congresso da ABM, 58, 2003, Rio de Janeiro, RJ.