

REDUÇÃO OU SUBSTITUIÇÃO DOS CICLOS DE CEMENTAÇÃO USANDO O PROCESSO DE TÊMPERA INTENSIVA¹

*Lauralice de Campos Franceschini Canale²
João Carmo Vendramim³
George E. Totten⁴
Eduardo Wingeter Merheb⁵*

Resumo

A têmpera intensiva (Intensive Quenching - IQ) é um processo, que embora seja pouco conhecido no Brasil, já é usado em outros países e traz ganhos substanciais em termos de propriedades mecânicas, de economia de energia e é considerado um processo “limpo”. Proveniente do processo há a formação de máximas tensões compressivas na superfície, com formação de uma “casca” de martensita, gerando aumento da dureza e com vida à fadiga melhorada. Pelas suas características, tem sido cogitada como substituta aos processos de cementação e têmpera por indução. Neste trabalho, o mecanismo da têmpera intensiva será brevemente discutido. Também será apresentado uma descrição de um processo IQ bem sucedido que reduziu significativamente os tempos de cementação com melhora substancial das propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Tratamento térmico; Têmpera; Têmpera intensiva; Tensões residuais

¹ 60º CONGRESSO ANUAL DA ABM - Internacional de 25 a 28 de julho de 2005, em Belo Horizonte - MG, Brasil.

² Depto de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística da EESC-USP, Av. Trabalhador São Carlense, 400, São Carlos - SP, Brasil - CEP 13566-590. Email : lfcanale@sc.usp.br

³ Engenharia e Qualidade - Combustol Industria e Comércio Ltda

⁴ Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Portland State University, Portland, OR, 97207, USA. Email: GETotten@aol.com

⁵ Graduando em Engenharia Mecânica da EESC- USP. Email: dumerheb@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

No processo de têmpera convencional o aumento das taxas de resfriamento leva a uma maior probabilidade no aparecimento de trincas [1]. Estudos mostram que existe um ponto crítico, no qual embora a taxa de resfriamento continue a aumentar, a probabilidade de surgirem trincas diminui, conforme observado na Figura 1. Sob tais condições, as tensões compressivas superficiais continuam a crescer, com o correspondente aumento da resistência à fadiga e ao impacto. Este fenômeno foi descoberto pelo Dr. Nikolai Kobasco na Ucrânia há cerca de 35 anos e agora é explorado num processo patenteado, conhecido como “Têmpera Intensiva” (em inglês: Intensive Quenching, também chamado IQ) [2, 3, 4, 5].

Essa técnica já é de uso rotineiro em muitas plantas de tratamento térmico de países como a China, a Bulgária e países da extinta União Soviética.

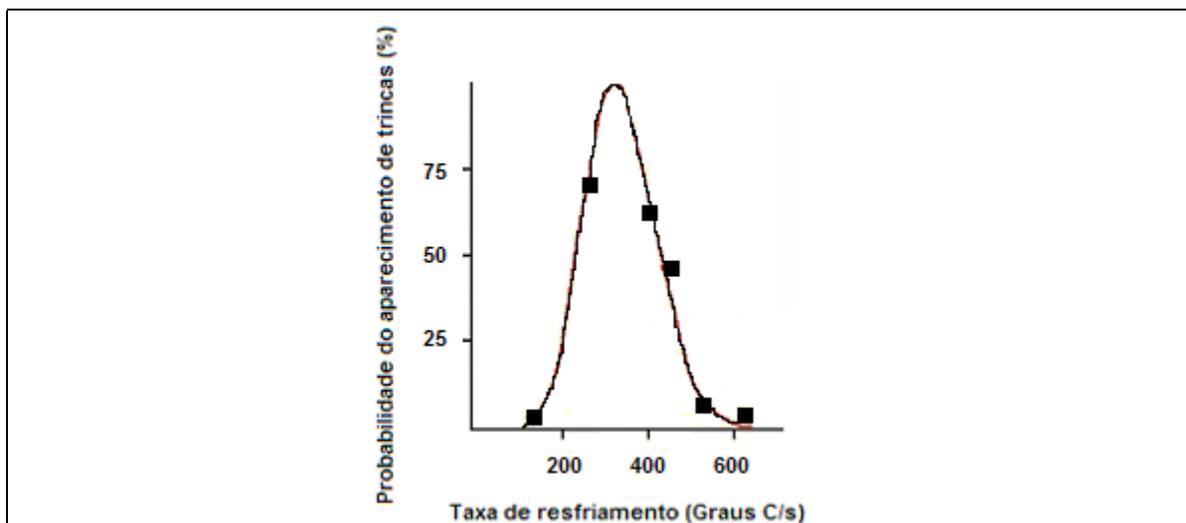


Figura 1. Variação da taxa de resfriamento com probabilidade de aparecimento de trincas. [1-3, 5]

A têmpera intensiva consiste no resfriamento a taxas muitas vezes maior que a taxa “normal” ou convencional de têmpera, normalmente utilizando água ou soluções de polímeros ou ainda soluções salinas de baixas concentrações (salmoura) sob severa agitação.

Diferentemente das práticas convencionais de tratamento térmico de têmpera, na têmpera intensiva são utilizadas altíssimas taxas de resfriamento, promovendo a formação martensítica. Foi verificado que essas taxas de resfriamento excessivamente altas e uniformes terminam por reduzir os fenômenos de distorção e trincas do componente (Figura 1), enquanto simultaneamente melhora a dureza da superfície e durabilidade dos componentes de aço [1, 2, 3, 4 ,5].

É importante notar que o termo “Têmpera Intensiva” não significa simplesmente um resfriamento rápido numa taxa de resfriamento arbitrária. Há alguns critérios específicos que foram publicados definindo as condições de têmpera intensiva. Esses critérios incluem:

- Aquelas condições que proporcionam máximas tensões compressivas na superfície [8].
- Taxa de agitação deveria ser suficiente para promover um valor de Grossman (H) >6,0 [9].
- O número de Biot para máxima tensão superficial compressiva $Bi \rightarrow \infty$ [10].
- Para as máximas tensões compressivas superficiais é suficiente atender a seguinte condição: $0.8 \leq Kn \leq 1$. (Kn é o número de Kondratyev) [10].

A seguir, uma breve discussão do processo de têmpera intensiva com a apresentação de um processo onde se conseguiu redução substancial dos tempos de cementação com melhorias em propriedades mecânicas a partir da utilização de têmpera intensiva (IQ). Apresenta-se, também, uma descrição de um processo IQ bem sucedido que reduziu significativamente os tempos de cementação com melhora substancial das propriedades mecânicas.

Discussão

A. Mecanismo de Formação Uniforme de Máxima Tensão Compressiva

Na têmpera convencional, à medida que a seção da peça de menor espessura resfria, ela endurece e cria tensões antes do que na parte mais espessa, e essa não uniformidade é uma das causas mais importantes para o aparecimento das distorções. Na têmpera intensiva toda a superfície da peça resfria simultaneamente, garantindo a uniformidade do resfriamento (Figura 2) formando uma “casca” de martensita, gerando as máximas tensões compressivas na superfície.

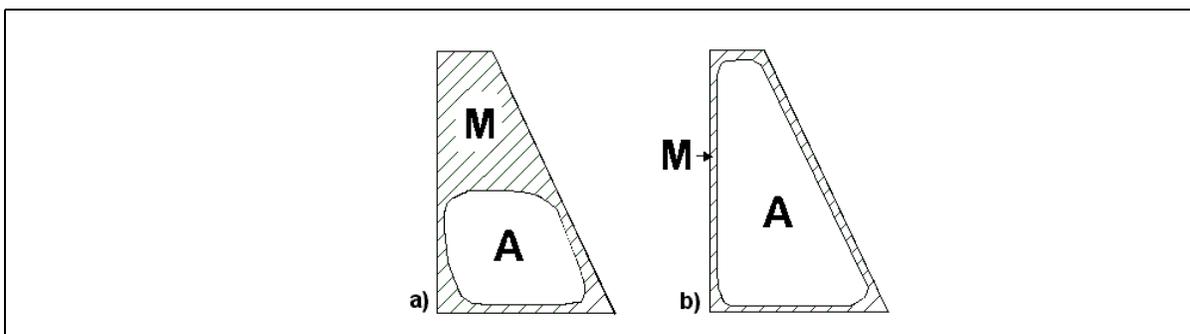


Figura 2. Formação da martensita durante a têmpera: a) Convencional e b) Intensiva [1 , 3].

A tensão compressiva superficial atinge o seu máximo exatamente antes de iniciar a formação de martensita no núcleo. O elemento chave do processo IQ é “interromper” o rápido resfriamento uniforme da peça quando as tensões compressivas superficiais atingem o seu máximo. A “interrupção” é feita simplesmente removendo a peça do resfriamento intensivo e a partir disso haverá

um resfriamento lento da parte superficial e também do núcleo, sendo que a transformação para martensita avançará agora mais lentamente ou cessará se a peça for de maior espessura, formando-se então microestruturas intermediárias como bainita, ferrita, perlita, etc. O tempo preciso de interrupção é previsto por modelos computacionais desenvolvidos pela IQ Technologies [8]. Usualmente há uma “janela” de alguns segundos para mover o componente. Quanto mais espesso o componente, “maior a janela”.

A Figura 3 mostra uma simulação feita das tensões superficiais obtidas num processo de têmpera intensiva de uma pista de rolamento de aço AISI 52100.

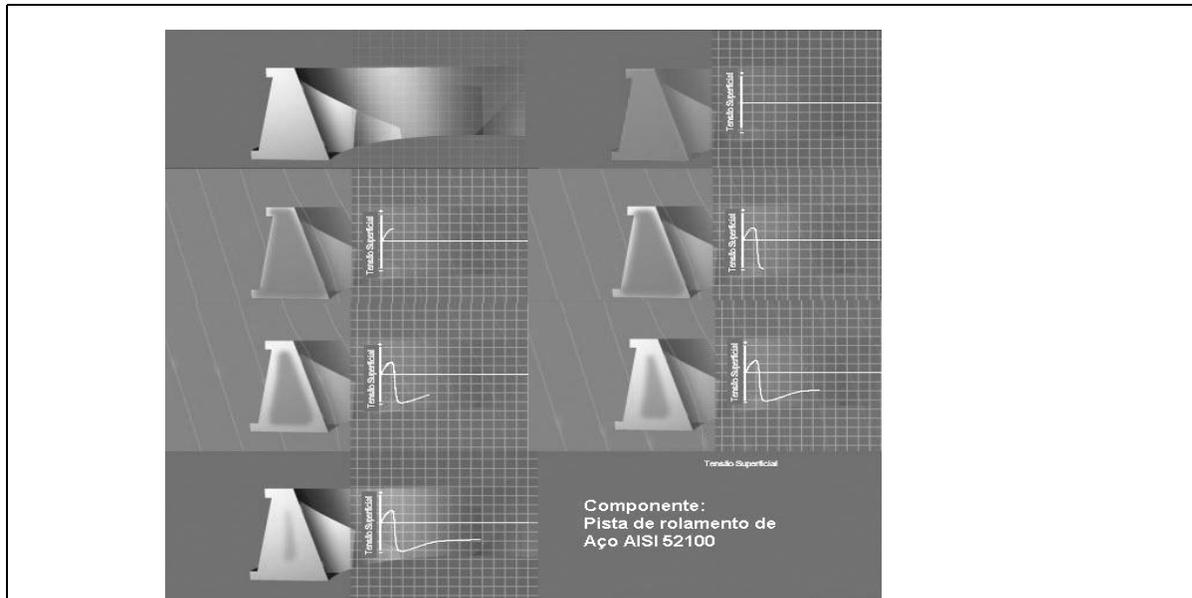


Figura 3. Simulação do processo de resfriamento durante a têmpera intensiva [2].

B. Diminuição ou eliminação do ciclo de cementação

A diminuição ou a eliminação do ciclo de cementação pode ser obtida através do processo da têmpera intensiva, resultando num perfil de dureza igual ou até melhor.

Na camada, se realizado um processo de cementação e têmpera usuais (utilizando água destilada, óleo e solução aquosa de polímero), iremos obter uma alta dureza na secção da peça através do longo ciclo de cementação. Esses resultados de perfil de dureza na camada cementada do aço 20H (5120) podem ser vistos na Figura 4 [11].

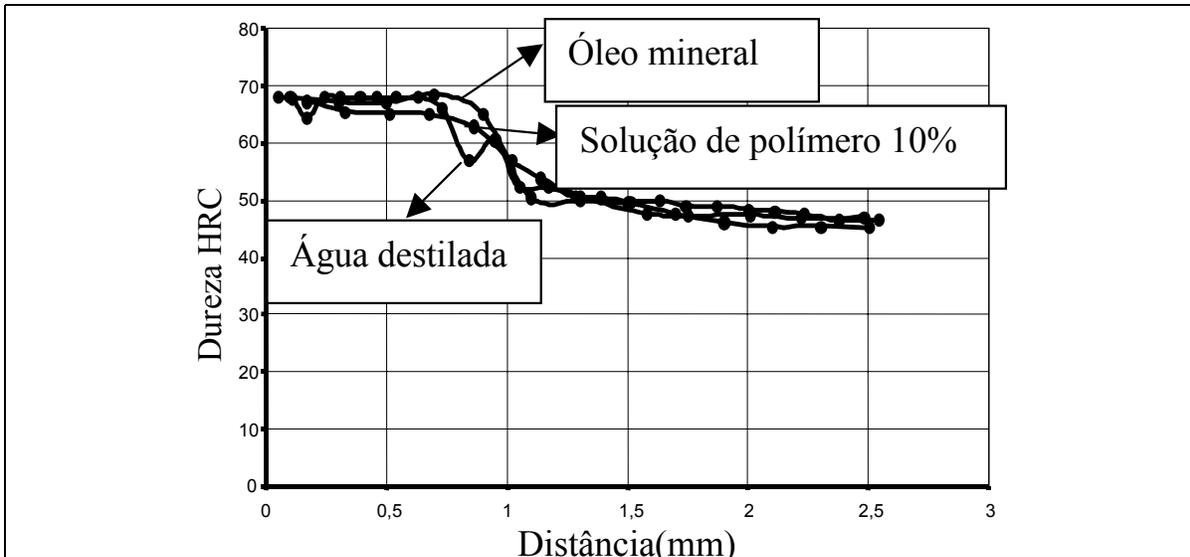


Figura 4. Perfil de dureza de aço 20H (5120) cementado e temperado convencionalmente.

Quando usado, a têmpera intensiva pode reduzir ou até mesmo eliminar o ciclo de cementação, como mostra a Figura 5.

A Figura 5 mostra o perfil de dureza de uma gaiola de rolamento com parede de 4 mm de espessura e camada efetiva de 1,2 a 1,5 mm de aço 8617. Quando cementadas em ciclos reduzidos em 50% do total e temperadas intensivamente, essas gaiolas apresentam melhor perfil de dureza que quando cementadas 100% e temperadas em óleo.

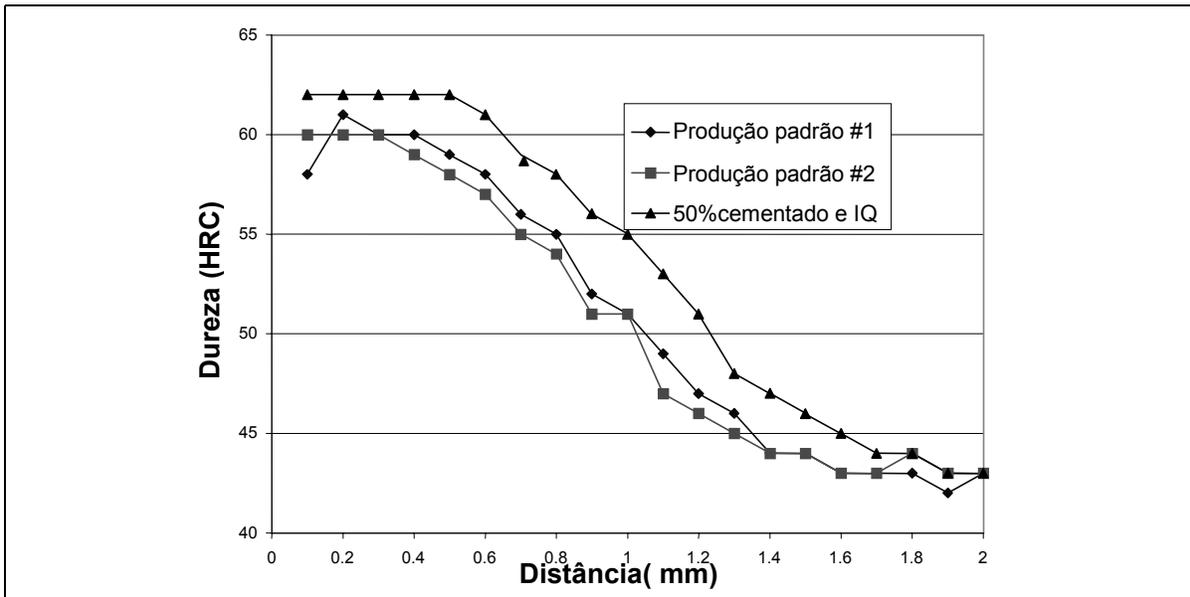


Figura 5. Perfil de dureza de gaiola de rolamento de aço 8617 com parede de espessura de 4 mm e camada efetiva de 1.2-1.5 mm.

A Figura 6 mostra o perfil de dureza (em grande profundidade) de uma sapata forjada de aço 4137 de dimensões 110x116 mm e camada efetiva de 1,5 a 2,0 mm. Após a têmpera intensiva, o gráfico mostra que não há necessidade de cementar a peça, uma vez que a têmpera sozinha providencia uma dureza suficiente utilizando o mesmo aço.

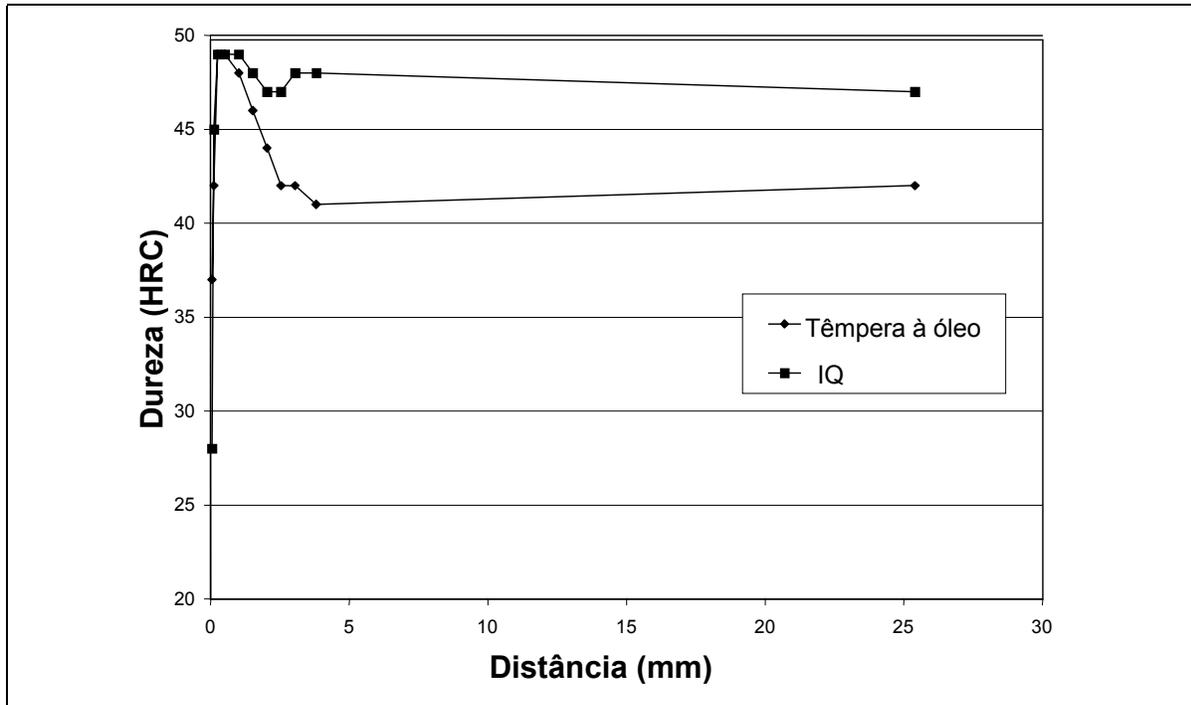


Figura 6. Perfil de dureza de aço 4137 sapata forjada de secção de 110x116mm e camada efetiva de 1.5-2.0mm

Diversos componentes são submetidos ao processo de cementação, com grande demanda de energia, envolvendo ciclos com tempos que podem atingir 10 horas ou mais de duração. Assim, o estudo de processos alternativos, que possam oferecer as mesmas ou ainda melhores propriedades mecânicas utilizando tempos menores e menor demanda de energia se torna de grande importância [6]. Associado a isso há ainda o fato de que a Têmpera Intensiva utiliza meios de resfriamento ambientalmente amigáveis como água e soluções de polímeros, enquanto que nos processos de têmpera convencionais de peças cementadas, óleos minerais são os meios de resfriamento mais utilizados.

Com base nesses resultados apresentados, a Combustol em parceria com a EESC-USP e com a IQ Technologies (OHIO EUA), está iniciando um projeto de pesquisa visando o estudo da redução ou substituição de ciclos de cementação em alguns componentes automotivos de aço SAE 8620. O trabalho se encontra atualmente em andamento e serão feitos estudos comparativos de amostras submetidas a diferentes ciclos reduzidos de cementação seguidos de têmpera intensiva. Esse estudo conta também com o financiamento da FAPESP através de uma bolsa de estudos.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado uma breve descrição do processo de têmpera intensiva que inclui uma definição quantitativa da severidade de têmpera necessária para fornecer a máxima tensão compressiva superficial. Foi também mostrado que a aplicação de um processo de têmpera intensiva poderá fornecer um substancial encurtamento do ciclo de cementação ou mesmo a sua eliminação. Os resultados confirmam que o processo IQ poderá trazer uma diminuição do consumo de energia, diminuindo também o risco de prejuízos relacionados a incêndio e também a eliminação de óleos minerais, correntemente em uso, que são potencialmente tóxicos. A soma desses efeitos com certeza representa enorme potencial de melhora na indústria de tratamento térmico. Um trabalho de pesquisa está atualmente em progresso envolvendo a Combustol, EESC-USP e FAPESP, com o intuito de gerar resultados que possam encorajar a implementação de processos alternativos que promovam a diminuição de custos e reduzindo a energia gasta nos processos de tratamentos térmicos e termoquímicos. Os resultados dessa pesquisa serão reportados posteriormente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aronov, M. A., Kobasko, N. I. e Powell, J. A., "Basic Principals, Properties and Metallurgy of Intensive Quenching", SAE Technical Paper Series, Paper Number 2002-01-1338, Las Vegas, Nevada, 2002.
2. Totten, G. E., Canale, L. C. F., Kobasko, N. I., Powell, J. A., Aronov, M. A., "Têmpera Intensiva: Levantamento Histórico de um Processo Usualmente Desconhecido", SAE Technical Paper Series, Paper Number 2002-01-3398, São Paulo, Brasil, 2002.
3. Kobasko., N. I., Totten, G. E., Canale, L. C. F., Powell, J. A., Aronov, M. A., "Fundamentos Metalúrgicos e Levantamento dos Processos de Têmpera Intensiva", SAE Technical Paper Series, Paper Number 2002-01-3399, São Paulo, Brasil, 2002.
4. Ferguson, B. L., Kobasko, N. I., Aronov, M. A., Powell, J., "Intensive Quenching of Steel Rings", Proceeding of the 19th Heat Treating Conference, Cincinnati, Ohio, 1999, ASM.
5. Kobasko, N. I., Aronov, M. A., Canale, L. C. F., Totten, G. E., "Metallurgy of the Intensive Quenching Process and Implications with Respect to Steel Properties", 58º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2003.
6. Chiaverini, V., "Tratamentos Térmicos das Ligas Ferrosas", ABM, São Paulo, 1985.
7. G. Beck, Mem. Etud. Sci. Rev. Metall., 1985, June, p. 269-282.
8. G.E. Totten, N.I. Kobasko, M.A. Aronov and J. Powell, "Overview of Intensive-Quenching Processes", Industrial Heating, 2002, Vol. 69, No. 4 (April), p. 31-33.

9. Mei Daming, "Intensive Quenching method for Preventing Quench Cracking", Proceedings of the 7th International Congress of Heat Treatment and Technology of Surface Coating", 1990, Vol. 2, p. 62-71
10. N.I. Kobasko, V.S. Morhunyuk, V.V. Dobrivecher, and G.E. Totten, "Intensive Quenching Creates Compressive Stresses at the Surface in Through Hardened Steel Parts", Proceedings of Heat Treatment and Surface Engineering in the Production of Automotive Components, Bangkok, Thailand, January 27-30, 2003, Published by National Metals and Materials Technology Center (MTEC), Bangkok, Thailand.
11. M.Przy³êcka, W.Gestwa, N.I.Kobasko, G.E.Totten, M.A.Aronov, J.Powell; "Intensive Quenching - Carburizing Processes", 12 th International Conference Achievements in Mechanical & Materials Engineering AMME'2003; 7 -10 December 2003; Gliwice - Zakopane; Poland, p. 749-754.

REDUCTION OR SUBSTITUTION OF THE CARBURIZING CICLE USING THE INTENSIVE QUENCHING PROCESS

*Lauralice de Campos Franceschini Canale³
João Carmo Vendramim³
George E. Totten⁴
Eduardo Wingeter Merheb⁵*

Abstract

Although intensive quenching is a relatively unknown process in Brazil, it is widely used in several countries and brings substantial gains in terms of mechanical properties, energy savings and is also considered a “clean” process. Resulting from the process, maximum compressive stresses are introduced with the formation of a martensite “shell”, which produces improved hardness and better fatigue resistance. Considering such characteristics, IQ could substitute the process of carburizing followed by conventional quenching. In this paper, the mechanisms of the intensive quenching will be presented, as well as an example of a successful IQ process that reduced significantly the carburizing cycles with considerable improvement of the mechanical properties.

Key-words: Carburizing; Intensive quenching; Surface compressive stress.

³ *Depto de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística da EESC-USP, Av. Trabalhador São Carlense, 400, São Carlos - SP, Brasil - CEP 13566-590. Email : lfcanale@sc.usp.br*

³ *Engenharia e Qualidade - Combustol Industria e Comércio Ltda*

⁴ *Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Portland State University, Portland, OR, 97207, USA. Email: GETotten@aol.com*

⁵ *Graduando em Engenharia Mecânica da EESC- USP. Email: dumerheb@yahoo.com.br*