

“Estudo comparativo entre o processo de têmpera intensiva (IQ) e o processo de têmpera convencional (resfriamento em óleo) de aço cementado SAE 8620 ¹”

Eduardo Wingeter Merheb ²

Lauralice de Campos Franceschini Canale ³

João Carmo Vendramim ⁴

Cristian Madariaga ⁵

Resumo

A têmpera intensiva (Intensive Quenching - IQ) é um processo que, embora pouco conhecido no Brasil, já é utilizado em outros países por poder trazer ganhos substanciais, em termos de propriedades mecânicas, economia de energia, risco menor de trinca e deformação, além de ser um processo ambientalmente “limpo”. Proveniente do processo há a formação de máximas tensões compressivas na superfície com formação de uma camada de martensita gerando aumento da dureza e melhorando a vida em fadiga. Dependendo do tipo de peça, aço e aplicação, a têmpera intensiva pode até ser considerada como substituta dos processos de cementação e têmpera por indução devido a suas características.

Este trabalho apresenta e discute alguns resultados obtidos com experimentos realizados em laboratório. Para tanto se utilizou da técnica da têmpera intensiva (água IQ1) e convencional (resfriamento em óleo) em aço de baixa liga com superfície enriquecida em carbono por processo de cementação.

-
- (1) Seminário “Temas de Tratamento Térmico – TTT – 2006”
 - (2) Pesquisador graduando em Eng. Mecânica EESC, USP – São Carlos
 - (3) Prof. orientadora, EESC, USP – São Carlos
 - (4) Pós-graduação, Unicamp, SP – Eng. MSc
 - (5) Combustol Indústria e Comércio – Engenharia de Produto

1 - Introdução

Regra geral sabe-se que, o crescimento das taxas de resfriamento no processo de têmpera de ligas ferrosas tem relação direta com o aumento da probabilidade de trincas e distorções. Entretanto, estudos conduzidos na Ucrânia pelo Dr. Nikolai I. Kobasko mostraram que para taxas de resfriamento acima daquelas em que formações de trincas atingem um nível máximo, o potencial do surgimento dessas trincas começa a diminuir, como mostra a Figura 1. Ao mesmo tempo, tensões residuais de compressão superficiais continuam a crescer junto com uma melhora na resistência à fadiga e ao impacto.

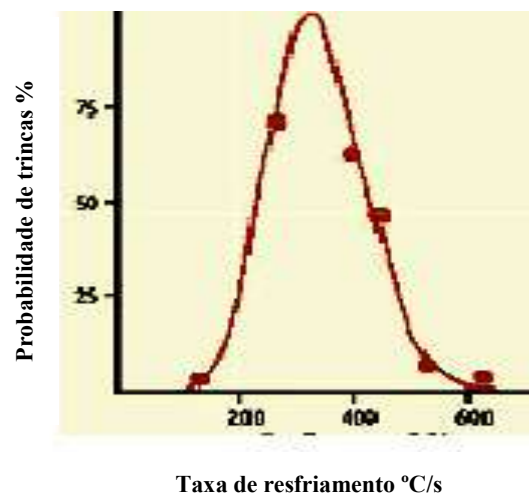


Figura 1 - Efeito da taxa de resfriamento com probabilidade de aparecimento de trincas.

Observa-se na Figura 2 que devido às altas taxas de extração de calor, a formação de martensita é uniforme, contribuindo para a não formação de trincas e distorções.

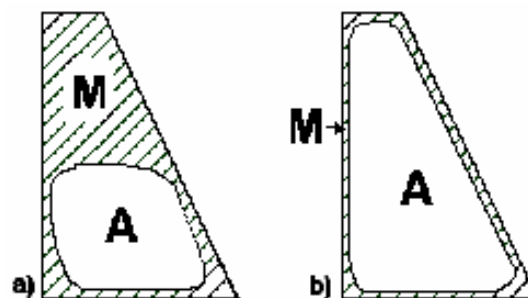


Figura 2 - Formação de martensita, a) têmpera comum, b) têmpera intensiva

Um importante benefício desse processo é a formação das altas tensões residuais compressivas na superfície. Isso se dá devido à rápida e homogênea formação de martensita na superfície, que por possuir volume específico maior que a austenita, gera uma tensão compressiva na superfície. Logo, a maneira de melhor se aproveitar a técnica, é interromper o processo antes que o núcleo se transforme em martensita, tendo como resultado uma superfície martensítica e um núcleo misto em microestrutura.

Essa técnica conhecida como têmpera intensiva vem sendo estudada de maneira a substituir, em certos casos, a têmpera convencional nos processos de cementação. Além disso, em função da alta dureza e tensões compressivas geradas pela têmpera intensiva, cogita-se seu uso como um processo que poderia diminuir o tempo total dos ciclos de cementação e, em alguns casos, até a substituí-lo.

Tem-se como principal objetivo deste trabalho conhecer o comportamento metalúrgico do aço de cementação austenitizado, cementado, e submetido às duas diferentes técnicas de resfriamento: a) têmpera intensiva; e b) convencional, por resfriamento em óleo.

2 - Materiais e Métodos

Para a confecção das amostras foi escolhido o aço SAE 8620, Figura 3, largamente utilizado na indústria automotiva – fabricação de engrenagens, eixos, bielas, etc – e freqüentemente com a superfície enriquecida em carbono e têmpera convencional em óleo.

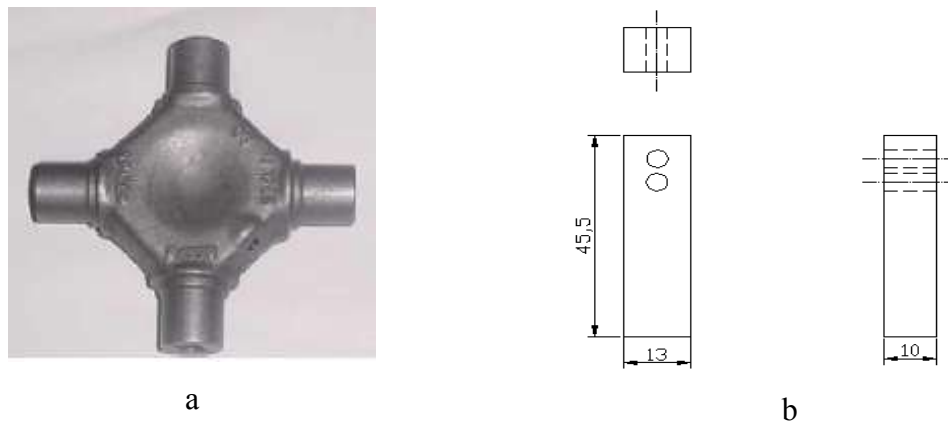


Figura 3 – a) Biela em aço SAE 8620 utilizado nas amostras; b) Corpo de prova SAE 8620 utilizado nas amostras 1 a 7.

Como pode ser visto na Tabela 1, o tratamento termoquímico de cementação com potencial de carbono 0,9%C da atmosfera do forno foi realizado à temperatura de 970°C para todas as amostras - 1 a 7 - e tempo de permanência à temperatura crescente, ou seja, de 1 h para a primeira amostra e 7 h para a 7ª amostra. O tratamento termoquímico foi realizado pela empresa Combustol, SP, em fornos de atmosfera controlada, porém sem realizar resfriamento em óleo (neste caso, apenas resfriamento lento no interior da câmara). Depois do tratamento termoquímico de cementação os corpos de prova foram divididos ao meio, denominados de “A” e “B”, e, na etapa seguinte, cada um, isoladamente, sofrer novo aquecimento à temperatura de austenitização para os diferentes resfriamentos, quais sejam:

- Têmpera intensiva em água IQ1 com agitação de 1,5m/s, na empresa IQ Technologies INC, EUA; e
- Têmpera convencional (resfriamento em óleo) na empresa Combustol, SP.

Posteriormente, cada par de corpos de prova (A e B) foi inspecionado, ensaiado e comparado entre si quanto às seguintes características metalúrgicas: perfil de dureza, porcentagem de austenita retida na camada, tamanho de grão e tensão residual. O revenimento para todas as amostras foi de 1h à temperatura de 150°C, em forno tipo câmara.

Tabela 1 – Parâmetros do processo termoquímico de cementação:

Amostra	Tempo(h)	Temperatura (°C)	Potencial C (%)
1	1	970	0,9
2	2	970	0,9
3	3	970	0,9
4	4	970	0,9
5	5	970	0,9
6	6	970	0,9
7	7	970	0,9
8 (2 etapas)	4 / 2	950 / 930	0,9 / 1,0
9 (2 etapas)	3 / 1,5	950 / 930	0,9 / 1,0

3 - Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta a profundidade da camada efetiva – profundidade de dureza 513HV1 - de todas as amostras (divididas em A e B) nas duas condições de resfriamento

consideradas neste trabalho e, também, as respectivas durezas de superfície medidas na escala Vickers, com carga 1000gf. Todas as amostras com resfriamento IQ apresentaram dureza maior de superfície, em relação às amostras com resfriamento em óleo. Em relação à profundidade de camada cementada, medida EHT, observou-se que o resfriamento IQ resultou em maior EHT para as amostras 5, 6, 7 e 8, menor EHT, surpreendentemente, para as amostras 2 e 4 e, finalmente, camadas iguais para as amostras 1 e 3. A empresa que executou o ensaio de resfriamento IQ relatou a dificuldade de manipulação das amostras com pequenas dimensões e, dessa forma, poder-se-ia atribuir à esta condição os diferentes resultados de EHT. O perfil de dureza das amostras foi elaborado em microdurômetro digital Buehler.

Tabela 2 – Dureza na superfície, Vickers HV1; e camada cementada, EHT, em mm

Amostra	A (IQ)		B (óleo)	
	EHT (mm)	Dureza Superfície (HV)	EHT (mm)	Dureza Superfície (HV)
1	0,50	813,3	0,50	692,4
2	0,70	804,8	0,80	727,1
3	0,85	834,1	0,85	747,7
4	0,90	828,8	0,97	767,6
5	1,05	821,8	0,97	734,3
6	1,17	823,6	1,07	740,2
7	1,70	848,0	1,60	755,0
8	1,10	748,0	1,00	810,0
9	1,70	780,0	Não realizado	

A Figura 4 apresenta o gradiente de dureza e de camada cementada da amostra 9A, 7A e 7B. A amostra 9A com resfriamento em IQ e amostra 7B com resfriamento em óleo, conforme mostrado na Tabela 2, apresentaram resultados de EHT distintos para tempos diferentes de cementação, ou seja, a amostra 9A foi submetida ao processo de cementação com tempo de 4h30', temperatura de 930 / 950°C; e a amostra 7B submetida à 7h00' de processo de cementação à temperatura de 970°C. A amostra 9A, com menor tempo de cementação, em relação à amostra 7B, apresentou maior camada EHT (1,70mm) e maior dureza de superfície (780 HV1). A amostra 7A apresentou maiores níveis de dureza que as outras, isso porque ela sofreu um ciclo de cementação igual a 7B (portanto maior que a 9A) e, além disso, recebeu IQ.

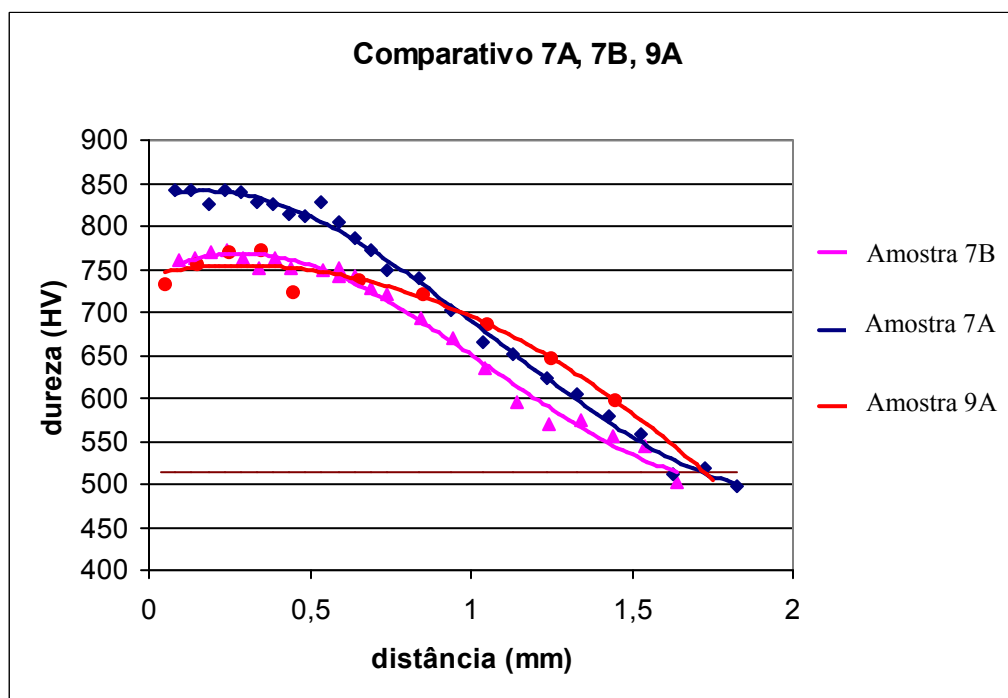


Figura. 4 – Curvas de dureza (HV) versus profundidade (mm) de camada para as amostras 9A, 7B e 7A

Em relação à profundidade de dureza entre as amostras 9A e 7B, a amostra 9A, com camada cementada produzida em um ciclo mais curto de cementação, produziu melhores resultados de dureza que a amostra 7B que tem um ciclo maior de cementação, conforme mostrado na Tabela 2. Os resultados obtidos para este estudo sugerem ser possível reduzir o tempo de cementação de uma peça quando se aplica o IQ sem comprometer a profundidade de dureza e mexer na planilha de custos desses processos de maneira vantajosa para o processo IQ.

Em relação a austenita retida, realizou-se a medida através de um analisador de imagens Buehler constatando que a presença desta nas amostras são pequenas, valores próximos em torno de 5 %, e obtidas tanto nas amostras com resfriamento IQ quanto nas amostras com resfriamento em óleo. Na amostra 10, que não sofreu cementação, não foi observado quantidades mensuráveis de austenita retida. Isso comprovaria a teoria de formação da austenita retida que se forma quando há alta concentração de carbono.

O tamanho de grão das amostras foi medido pelo método visual de acordo com norma ASTM E-112. Verificou-se que o tamanho de grão das amostras com resfriamento

IQ é da ordem de 11 ASTM, ligeiramente menor que as amostras com resfriamento em óleo, em torno de 10 ASTM.

A tensão residual das amostras também foi objeto de exame. A inspeção foi realizada na empresa EATON Transmissões, Valinhos, SP, medindo-se a tensão residual apenas na superfície de algumas amostras através da difração de raios X. Os resultados encontrados estão mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. – Tensão residual na superfície das amostras

Amostra	Tensão residual (MPa)	
	A (IQ)	B (óleo)
2	-272,7	-249,5
5	-300,5	62,5
7	-415,5	-304,3
8	-281,0	-90,0
10	-120,9	Não há

De maneira geral, a inspeção da tensão residual na superfície das amostras com resfriamento IQ mostrou ser mais compressiva que a tensão residual das amostras com resfriamento em óleo. Esses resultados confirmam Kobasko¹ de que maiores taxas de resfriamento tendem a desenvolver na superfície maior tensão residual compressiva, contribuindo para reduzir drasticamente efeitos deletérios como deformação e desenvolvimento de trincas. Para este estudo, dificuldades de manipulação das amostras na etapa de resfriamento, em função das diminutas dimensões das amostras, podem ter influenciado os resultados obtidos de tensão residual na superfície, pois seriam esperados mais resultados como o apresentado pela amostras 5A e 5B, ou seja, tensões compressivas e tensões trativas. Vale ainda salientar que para este estudo foi utilizado o método IQ menos severo denominado IQ1 pelo fabricante, aplicado justamente devido às diminutas dimensões das amostras.

4 - Conclusões

De acordo com os resultados obtidos neste estudo comparativo para as técnicas de resfriamento em “Intensive Quenching” (IQ) e resfriamento convencional em Óleo, as seguintes conclusões podem ser relatadas:

- O resfriamento IQ resultou em maior dureza na superfície
- Para camadas cementadas maiores, tendência de maior EHT nas amostras com resfriamento IQ
- Incremento da tensão residual compressiva na superfície para as amostras com IQ
- Não se observou variação de tamanho de grão nas amostras com resfriamento IQ e Óleo
- Austenita retida sem alteração para as duas condições de resfriamento estudada

Abstract

Despite being relatively unknown in Brasil, the intensive quenching (IQ) process is widely used in other countries as a means of bringing substantial gain in terms of mechanical properties and energy savings, as well as being considered as a “clean” process. As a result of the process, it is important to mention the formation of maximum compressive stresses at the surface due to the formation of a martensite shell, increasing surface and core hardness and improving fatigue strength. Due to its characteristics, IQ has been considered as a substitute of the carburization process, witch costs more, demands more time and is more hazardous to the environment. In this paper, the IQ process will be presented and discussed along with the experiments made demonstrating its advantages.

.....

Bibliografia:

- AMERICAN SOCIETY FOR METALS - ASM (1988) Metals Handbook - Metallography and Microstructures. Ohio, v.9
- AMERICAN SOCIETY FOR METALS - ASM (1995) Metals Handbook - Heat Treating. Ohio, v.4
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM E3 (1991).
Standard methods of preparation of metallographic specimens. Philadelphia, ASTM
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM E112 (1991).
Standard test methods for determining average grain size. Philadelphia, ASTM..
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM E384 (1991).
Standard methods for microhardness of materials. Philadelphia, ASTM
- ARONOV, M. A., KOBASKO, N. I, POWELL, J. A., “Basic Principals, Properties and Metallurgy of Intensive Quenching”, SAE Technical Paper Series, Paper Number 2002-01-1338, Las Vegas, Nevada, 2002.
- ARONOV, M. A., KOBASKO, N. I, POWELL, J. A., “Basic Principals and Metallurgy of Intensive Quenching Methods”, Proceedings from the 1st International Surface Engineering Congress and the 13th IFHTSE Congress, 7-10 October 2002, Columbus, Ohio.
- ARONOV, M. A., KOBASKO, N. I, POWELL, J. A., Freborg, A. M., Ferguson, B. L., “Intensive Quenching Theory and Application for Imparting High Residual Surface Compressive Stresses in Pressure Vessel Components”, Journal of Pressure Vessel Technology, May 2003, Vol. 125
- ARONOV, M. A., KOBASKO, N. I, POWELL, J. A., “Review of Practical Applications of Intensive Quenching Methods for Steel Parts”, Proceedings from the 1st International Surface Engineering Congress, Ohio, Oct 2002.
- ARONOV, M. A., KOBASKO, N. I, POWELL, J. A., “Application of Intensive Quenching Processes for Carburized Parts”, Proceedings of the 22nd Heat Treating Society Conference, Indiana, Sep, 2003.
- CHIAVERINI, V., “Aços e ferros fundidos”. Ed. 5 da ABM – Associação Brasileira de Metais, (1982).
- GROSCH, J., “Fundamentals of carburising and toughness of carburised components”. In: QUENCHING AND CARBURISING, Melbourne, 1991. Proceedings. London, The institute of materials. p. 227-249, (1993).
- KRAUSS, G., “Microstructure and performance of carburized steel, part II: austenite”. Advanced Materials & Processes, v.148, n.1, p.48U-48Y, Jul., (1995).
- KRAUSS, G., “Microstructure, residual stresses and fatigue of carburized steel”. In: QUENCHING AND CARBURISING, Melbourne, 1991. Proceedings. London, The institute of materials. p.205-225, (1993).
- PARRISH, G., “ The influence of microstructure on the properties of case carburised components”. Ohio, ASM, (1980).
- SHAW, B.A., ABUDAIA F.B., EVANS J.T., “Characterization of retained austenite in case carburized gears and its influence on fatigue performance”. 20th ASM Heat Treating Society Conference Proceedings, 9-12 October 2000, St. Luis, MO, (2000).