



O MONITORAMENTO DE RESFRIAMENTO DE UM BLOCO DE AÇO H13 SOB PRESSÃO 9 BAR DE GÁS NITROGÊNIO

João Carmo Vendramim ¹
Janusz Kowalewski ²

RESUMO

O tratamento térmico de ferramentas construídas em aço para trabalho a quente como o H13, requer experiência e compreensão das mudanças de fase e tensões associadas que ocorrem durante o aquecimento e resfriamento.

Este estudo apresenta os resultados do monitoramento de resfriamento de um bloco de aço AISI H13 de dimensões 406x406x406 mm entre as temperaturas de 1030 e 540°C através de termopares localizados na superfície e no núcleo. O resfriamento foi realizado sob pressão de 9 bar de gás nitrogênio em um forno a vácuo Seco/Warwick.

O monitoramento do resfriamento do bloco de aço H13 mostrou taxas de resfriamento nesse intervalo de temperaturas superior ao mínimo recomendado de 28°C/min. pelas normas NADCA e GM 9999-1. Com taxas de resfriamento acima da recomendada por essas normas previne-se do início da transformação perlítica, de precipitação de carbonetos em contorno de grão e da formação bainítica (ou pelo menos inibir a sua precipitação).

Palavras-Chaves: resfriamento; aço; vácuo

(1) – Engenharia e Vendas - Isoflama Ind. e Com.de Equip. Ltda – Indaiatuba, SP, Brasil.

(2) – High Pressure Quench Product Manager – Seco/Warwick, Meadville, PA, USA

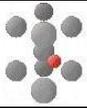


INTRODUÇÃO

Os aços ao cromo da classe trabalho a quente têm excelentes resistência a impacto em altas temperaturas, resistência ao amolecimento durante exposição a altas temperaturas e resistência a fadiga térmica. Essas propriedades são atendidas pelo uso de aço médio carbono e relativa alta concentração de cromo e outros fortes elementos formadores de carbonetos. O médio carbono promove tenacidade, proporciona boa resistência em alta temperatura pelo revenimento que precipita fina e estável dispersão de carbonetos de cromo e vanádio os quais se tornam grosseira lentamente em serviço. Os altos teores em elementos de liga contidos nesses aços proporcionam excelente temperabilidade e permitem endurecimento de grandes seções com a utilização de adequadas taxas de resfriamento. Muitas ferramentas são construídas em aço H13 em função da significativa temperabilidade, da boa ductilidade, da resistência à conformação (amolecimento), oxidação e, em particular, resistência a fadiga térmica.

O tratamento térmico final de ferramentas construídas em aço para trabalho a quente como o H13 contendo, normalmente 5% de Cr e significativa quantidade de outros elementos, requer experiência e compreensão das mudanças de fase e tensões associadas que ocorrem durante o aquecimento e resfriamento. Isso é necessário para a realização de completa estrutura martensítica, ou bainítica, ou pelo menos evitar esta, através da peça sem formação excessiva de tensões no endurecimento. No tratamento térmico do aço H13, a prática industrial para a temperatura e tempo à temperatura de austenitização é bem conhecida.

O resfriamento, por outro lado, é uma operação difícil e largamente responsável pela qualidade dos resultados e custos de acabamento de uma ferramenta. Um equipamento como o forno a vácuo para esse tratamento térmico deve ser programável e capaz de controlar o resfriamento depois da austenitização. Os modernos fornos a vácuo monitoram a temperatura de superfície e núcleo de uma peça durante o resfriamento para, em função, de uma prévia programação para a diferença entre estas deter o resfriamento numa temperatura anterior á temperatura Ms de início de formação martensítica. A utilização de um mecanismo tipo "isoterma de resfriamento" que controla o resfriamento minimiza



distorções, e ou deformações, e elimina os riscos de desenvolvimento de trincas nos casos de resfriamento sob elevada pressão de gás ⁽¹⁾. Os fornos a vácuo Seco/Warwick estão dotados dessa tecnologia de controle do resfriamento que se chama “Isothermal Quench”, conforme ilustra a Figura 1.

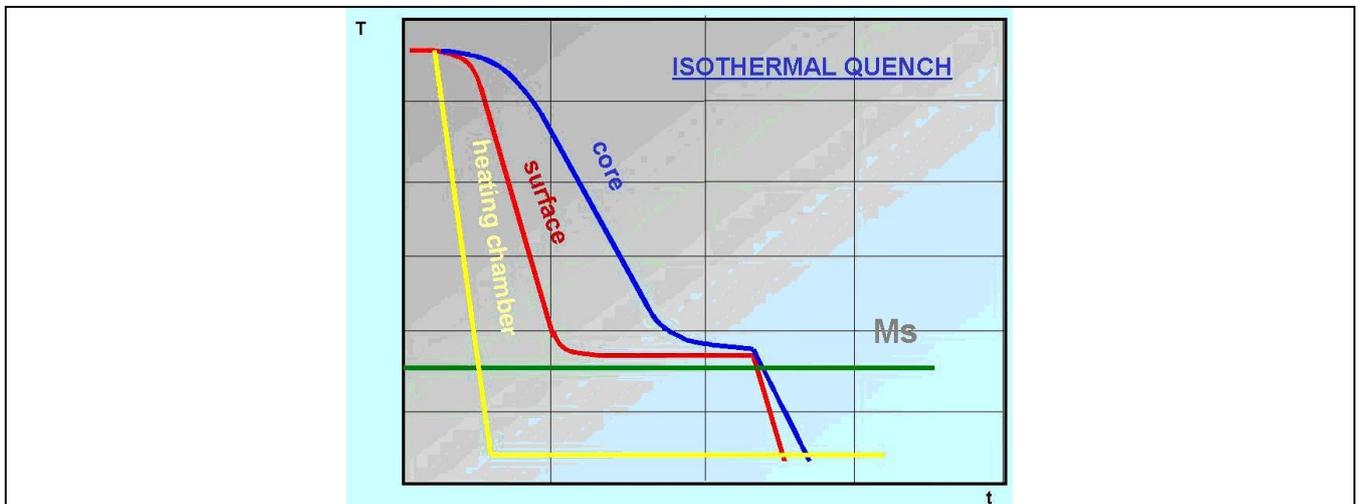


Figura 1 – “Isothermal quenching” do forno a vácuo SW 12 bar para controlar o resfriamento. F. SW

O fluxo de gás durante resfriamento tem uma influencia critica da taxa de resfriamento do forno. O sistema de bocal é arranjado 360° em torno da carga e da porta. O gás de saída pela porta traseira do forno reduz a distancia entre a zona quente e a zona de troca de calor, desenvolvendo simultaneamente o volume máximo de gás. O sistema de bocal 360° dirige o fluxo de gás de resfriamento através da carga assegurando a mais alta taxa de resfriamento ^[1]. Isso também proporciona mais uniformidade de resfriamento comparada à câmara de aquecimento retangular com fluxo reverso de gases posicionados, por exemplo, acima e abaixo ou nas laterais da carga.

A Figura 2 apresenta um típico forno a vácuo Seco/Warwick de pressão 12 bar de gás nitrogênio para o resfriamento. O resfriamento pode ser monitorado com até nove (9) termopares e o PLC – tela de controle – permite a operação via “web”.

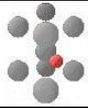


Figura 2 – Forno a vácuo Seco/Warwick de 12 bar de pressão de gás nitrogênio no resfriamento. F. SW

METODOLOGIA

Os parâmetros de tratamento térmico são recomendados pelos fabricantes do aço, assim como também por normas tais como a NADCA ⁽²⁾, General Motors (GM DC-9999-1) ⁽³⁾ e Ford Motor (Ford AMTD-DC2010) ⁽⁴⁾. Essas normas informam os parâmetros de tratamento térmico como a temperatura de austenitização, taxas de aquecimento e resfriamento, as diferenças permissíveis entre a superfície e núcleo no aquecimento e resfriamento, métodos de colocação de termopares na peça e métodos para ensaios mecânicos.

Este trabalho utilizou as normas GM 9999-1 e NADCA como referências para realizar o monitoramento do resfriamento de um bloco de aço AISI H13 de dimensões 406x406x406 mm com tratamento térmico em forno a vácuo Seco/Warwick nas condições abaixo:

- Faixa de temperatura monitorada no resfriamento: 1030 a 540°C.
- Pressão de gás nitrogênio no resfriamento: 9 bar

Os termopares utilizados para monitorar e registrar o resfriamento foram localizados nas superfícies e núcleo do bloco de aço H13. A Figura 3 apresenta o

bloco de aço H13 e respectivos termopares dispostos no bloco de aço que está dentro da câmara do forno a vácuo SW de dimensões 600x600x900 mm.

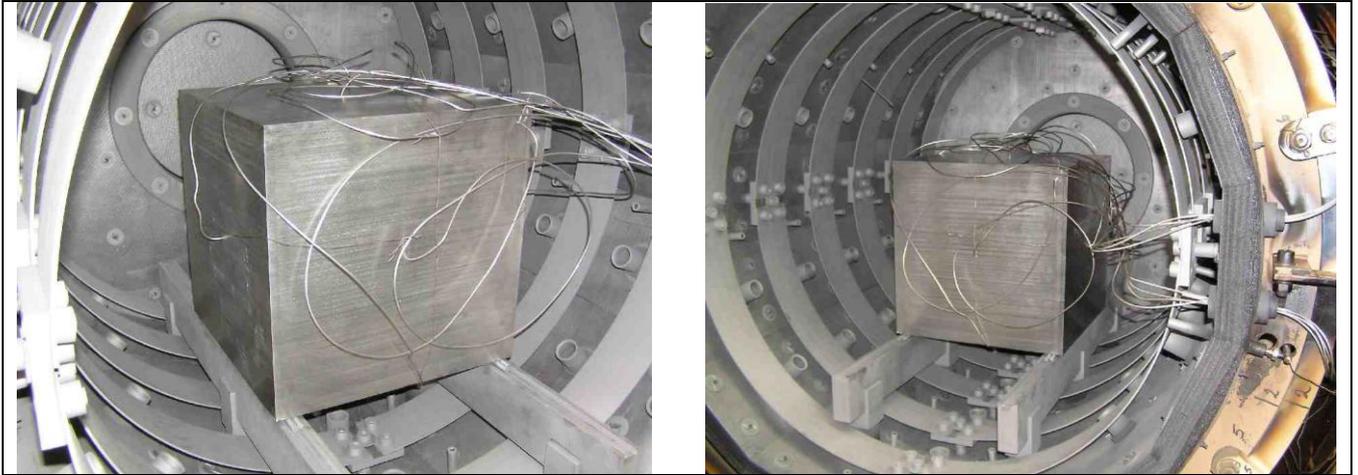


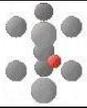
Figura 3 – Fotos do bloco de aço H13 e termopares localizados nas superfícies e núcleo no interior da câmara do forno a vácuo. F. SW.

RESULTADOS

O tratamento térmico satisfatório do aço-ferramenta H13 exige controle estrito de todas as etapas: aquecimento, austenitização e resfriamento. O resfriamento, tecnicamente, é a mais difícil operação por exigir taxa de resfriamento maior do que 28°C/min, segundo norma NADCA.

Para atender a essa exigência, a Seco/Warwick considera interessante uma câmara cilíndrica para o forno a vácuo com aquecimento de zona quente por convecção, programável, e sistema e controle da taxa de resfriamento para atender às exigências da norma GM-DC-9999-1 e NADCA com taxas de resfriamento superiores a 120°C/min.

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos com a monitoração do resfriamento do bloco de aço H13 na faixa de temperatura descrita acima e desenvolvido em forno a vácuo com câmara de resfriamento de dimensões 600 x 600 x 900 mm. O resfriamento na superfície indicada pelo termopar 4, face inferior do bloco, apresentou curva de resfriamento com a mais elevada taxa de resfriamento (~190°C/min), enquanto o núcleo (termopar 1) desse bloco resultou



numa curva de resfriamento com a menor taxa de resfriamento de $\sim 40^{\circ}\text{C}/\text{min}$. para a faixa de temperatura considerada.

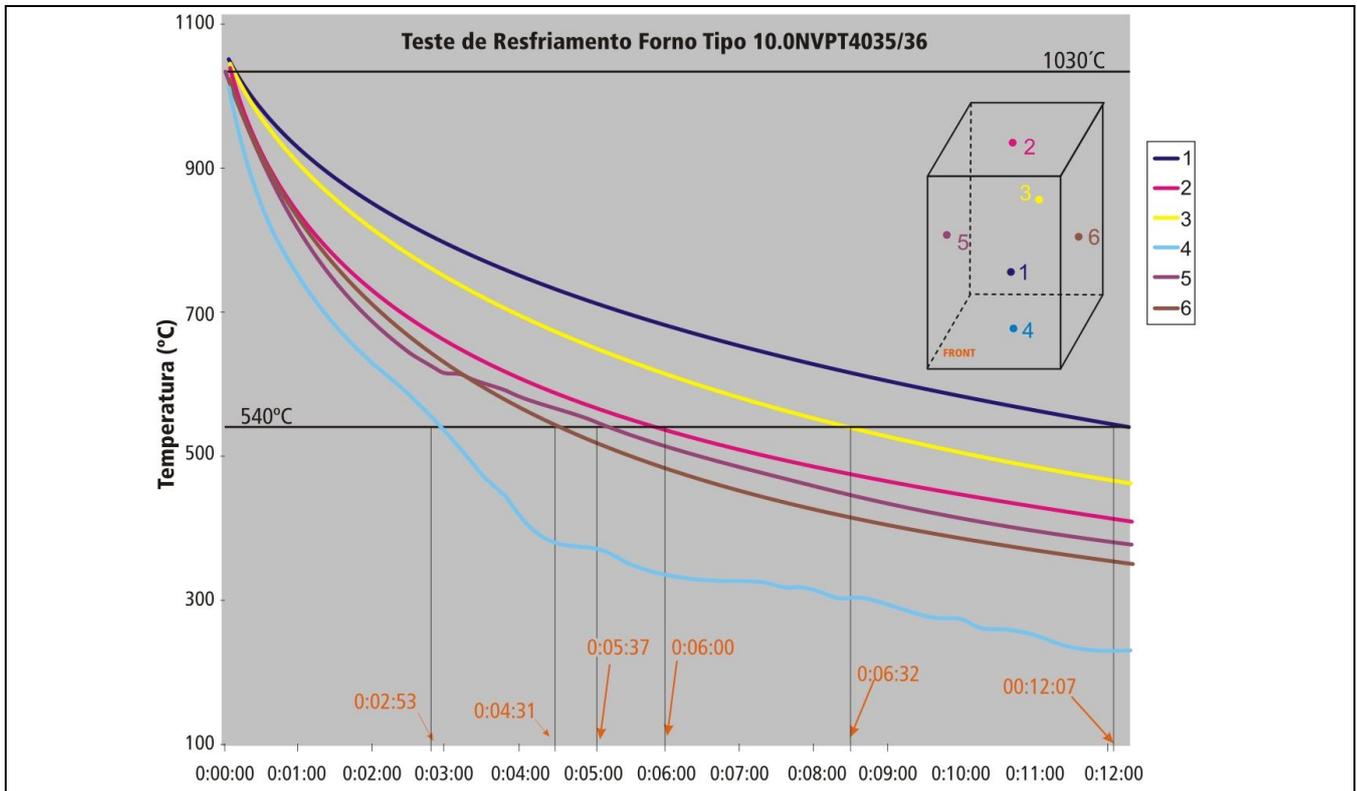


Figura 4 – Curvas de resfriamento do bloco de aço para as superfícies e núcleo em forno a vácuo SW de dimensões 600x600x900 mm. F. SW

Esses resultados do monitoramento de resfriamento do bloco de aço na faixa de temperatura de 1030 a 550°C mostram que o resfriamento sob pressão de 9 bar de gás nitrogênio tem taxas de resfriamento, para quaisquer pontos do bloco de aço, superiores ao mínimo recomendados pelas normas GM9999-1 e NADCA. O resfriamento do bloco nessas condições evita a transformação perlítica, a precipitação de carbonetos em contornos de grãos e a formação bainítica.

A Figura 5 apresenta as curvas de resfriamento desse mesmo bloco de aço H13 realizadas em três diferentes tamanhos de câmara de forno a vácuo Seco/Warwick. Essas curvas foram sobrepostas ao diagrama TRC – transformação em resfriamento contínuo – do aço H13 e comparadas com a curva de resfriamento com taxa mínima de resfriamento recomendada pela norma NADCA. Observa-se que, nesse caso, todos os tamanhos de câmara de forno a vácuo apresentam curva de resfriamento com taxas superiores ao recomendado pela norma NADCA.

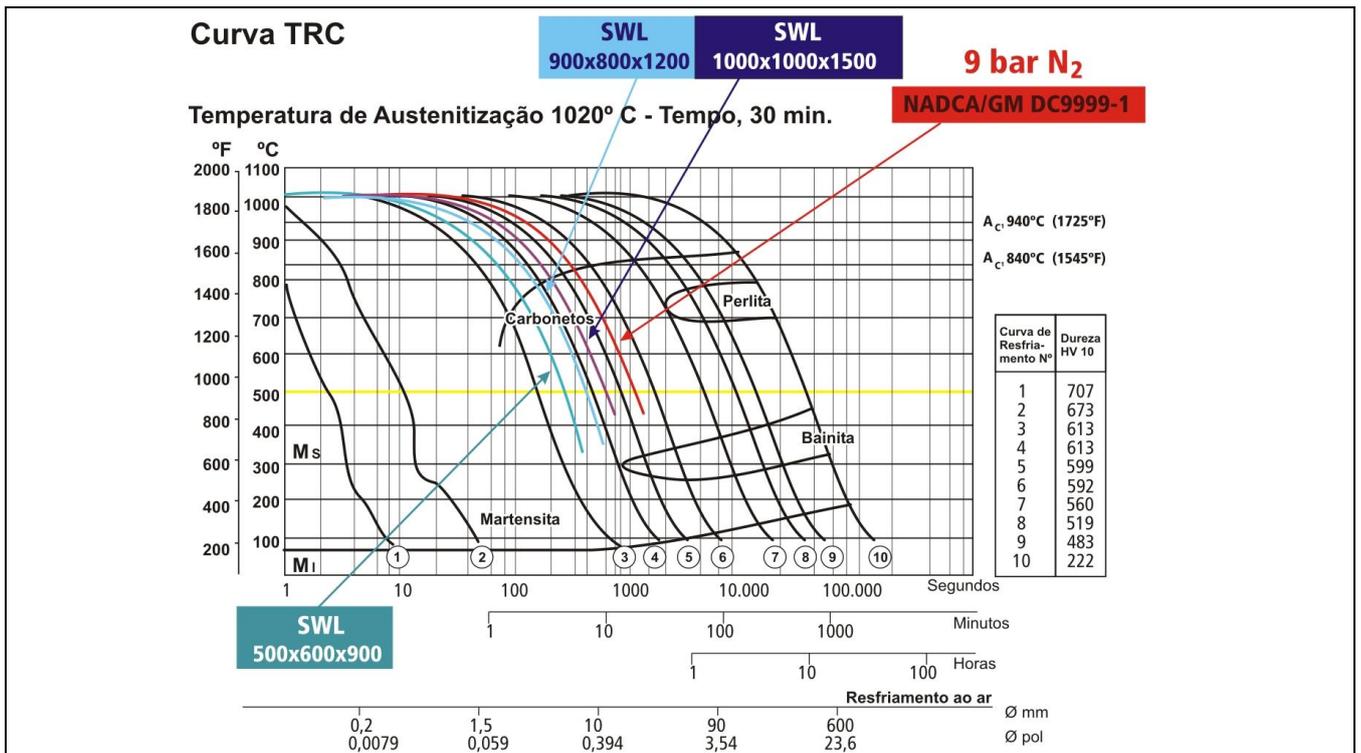
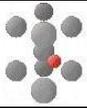


Figura 5 – Curvas de resfriamento para bloco de aço com resfriamento em câmeras de forno de tamanhos diferentes. F. SW

CONCLUSÃO

O monitoramento de resfriamento do bloco de aço H13 na faixa de temperatura considerada permite concluir:

- Resfriamento do bloco H13 – superfície e núcleo – com taxas superiores ao mínimo recomendado pelas normas NADCA e GM 9999-1;
- Transformação martensítica completa em toda a seção desse bloco de aço H13

REFERÊNCIAS

- (1) – Precision Cooling of Vacuum Heat Treated Hot Work Tool Steel is Critical; J.Kowaleswki; Industrial Heating, p.93-95, September, 2004
- (2) – Norma NADCA – Recommended Procedures for H13 Tool Steel; 207-1997
- (3)– Norma GM 9999-1 – Heat treatment specification; Rev. 18, March 2005
- (4) – Norma FORD AMTD-DC2010) – Heat treatment performance requirements; Rev.J, June 200



THE COOLING CONTROL OF H13 BLOCK STEEL UNDER 9 BAR NITROGEN GAS PRESSURE

João Carmo Vendramim ¹
Janusz Kowalewski ²

Abstract

The heat treatment of tools built in H13 steel require experience and understanding of the phase transformation and associated tensions that happen during the heating and cooling.

This study presents the results of the cooling control of a block of AISI H13 steel of dimensions 406x406x406 mm between 1030 and 540°C temperatures of through thermocouples located in the surfaces and core. The cooling was accomplished under pressure of 9 bar of nitrogen gas in an oven Seco/Warwick vacuum.

The cooling control of the H13 steel block showed cooling rates in that interval of temperatures above to the minimum recommended of 28°C/min. by NADCA and GM 9999-1 procedures. With cooling rates above recommended by those norms prevent the onset pearlite transformation, grain boundary carbide precipitation and the formation of bainitic (or at least must inhibit its precipitation).

Key-words: steel; cooling; vacuum

(3) – Engenharia e Vendas - Isoflama Ind. e Com.de Equip. Ltda – Indaiatuba, SP, Brasil.

(4) – High Pressure Quench Product Manager – Seco/Warwick, Meadville, PA, USA